

Promovendo adaptação a contextos em DTNs*

Etienne C. R. de Oliveira, Edelberto F. Silva e Célio V. N. de Albuquerque

¹Instituto de Computação - Universidade Federal Fluminense (UFF)

{eoliveira, esilva, celio}@ic.uff.br

Abstract. *DTN (Delay-Tolerant Networks) scenarios present, mostly, contrasting traits that cause significant variation in the performance of routing protocols. The evaluation of protocols MaxProp, PROPHET and Spray and Wait on three scenarios with contrasting characteristics enabled the quantification of these fluctuations in performance and the verification that parameterizable protocols are able to boost substantially the performance. Moreover, simulations performed with PROPHET and a version with a simplified layer of adaptation showed that the ability to adapt to characteristics of the scenarios (context) enhanced the performance by up to 19.96 % when compared to the standard configuration.*

Resumo. *Os cenários característicos de DTNs (Delay-Tolerant Networks) apresentam peculiaridades contrastantes que ocasionam uma variação significativa no desempenho dos principais protocolos de roteamento. A avaliação dos protocolos MaxProp, PROPHET e Spray and Wait em três cenários com características próprias possibilitou a quantificação dessas oscilações e a constatação que protocolos parametrizáveis são capazes de alavancar substancialmente o desempenho. Além disso, simulações realizadas com o protocolo PROPHET e uma versão com uma camada simplificada de adaptação comprovaram que a habilidade de se adaptar a características dos cenários (contexto) possibilitou o incremento do desempenho em até 19,96% em relação à configuração padrão.*

1. Introdução

Inúmeros cenários como as redes construídas provisoriamente em áreas de desastres ou em campos de batalha, redes interplanetárias, redes dinâmicas de pedestres etc. apresentam características e necessidades próprias como a ubiquidade, a ocorrência frequente de particionamentos, o caminho fim-a-fim entre origem e destino pode jamais existir, entre outras. Para lidar com essas características desafiadoras foi proposta uma arquitetura para redes tolerantes a atrasos e desconexões intitulada arquitetura DTN (*Delay-Tolerant Networking*) [Cerf et al. 2007], assim como diversos protocolos de roteamento.

As propostas de protocolos de roteamento para DTNs ostentam resultados satisfatórios quando avaliadas em cenários para as quais foram elaboradas, no entanto, quando comparadas com outras propostas em cenários distintos dos originais, o desempenho demonstrado normalmente fica aquém do esperado ou exhibe resultados que oscilam drasticamente. Para corroborar essa afirmativa, apenas como um exemplo, podemos contrastar o desempenho dos protocolos *Epidemic* [Vahdat and Becker 2000] e PROPHET [Lindgren et al. 2003] em três trabalhos com cenários distintos.

*Esta pesquisa é parcialmente financiada pelo IBGE, Capes, CNPq, FAPERJ e TBE.

O protocolo de roteamento *Epidemic* [Vahdat and Becker 2000] foi proposto e avaliado em um cenário artificial com 50 nós dispostos de forma aleatória. Cada nó selecionava aleatoriamente uma coordenada no cenário de simulação e se deslocava com uma velocidade uniforme entre (0,20] metros por segundos. Ao chegar ao ponto de destino, cada nó escolhia uma nova coordenada, repetindo todo o processo. Os resultados obtidos demonstraram um desempenho bastante satisfatório, pois em quatro dos cinco conjuntos de simulações efetivadas a taxa de mensagens entregues ao destinatário foi de cem por cento e, no quinto, de 89,9 por cento.

No segundo trabalho, [Lindgren et al. 2003] propuseram o protocolo de roteamento PROPHET e estabeleceram dois cenários distintos para comparar o desempenho com o protocolo *Epidemic*. Os autores reproduziram o cenário empregado em [Vahdat and Becker 2000] e, em um segundo cenário, modelaram a movimentação em vilas remotas ou aplicações de monitoramento de animais. No primeiro cenário o protocolo PROPHET apresentou resultados melhores que o protocolo *Epidemic* em algumas simulações, já no segundo cenário, sob determinadas circunstâncias, a taxa de mensagens entregues foi equivalente ao dobro da taxa obtida pelo protocolo *Epidemic*.

No terceiro trabalho, em um cenário de rede veicular de 40 ônibus, [Balasubramanian et al. 2007] propuseram e avaliaram o protocolo de roteamento RAPID, confrontando-o com os protocolos PROPHET, MaxProp [Burgess et al. 2006] e *Spray and Wait* [Spyropoulos et al. 2005]. Nesse cenário, o PROPHET apresentou o pior desempenho entre os protocolos avaliados, a ponto dos resultados terem sido suprimidos.

Embora a oscilação no desempenho dos protocolos de roteamento para DTNs em cenários com características contrastantes seja esperada, a literatura ainda não dispõe de trabalhos que tenham mensurado a dimensão dessa oscilação, nem o quanto protocolos parametrizáveis podem apresentar um desempenho superior à configuração padrão se dispuserem de um mecanismo que possibilite a adaptação dinâmica de seus parâmetros às mudanças de características dos cenários. O presente trabalho visa preencher essa lacuna, avaliando três protocolos parametrizáveis, em três cenários com características distintas, e destacando o quão melhor poderia ser o desempenho se uma configuração diferente da padrão fosse utilizada. Os protocolos MaxProp, PROPHET e *Spray and Wait* foram selecionados por estarem entre os mais citados na literatura e em função do aspecto favorável à variação de suas configurações.

Além disso, adicionamos ao protocolo PROPHET a habilidade de se adaptar ao contexto¹ com base em duas dimensões (densidade local e percentual de ocupação da área de armazenamento). Esse procedimento visa, exclusivamente, comprovar que a inserção de uma camada de adaptação, ainda que simplificada e limitada, é capaz de incrementar o desempenho do protocolo PROPHET, em comparação com o desempenho da configuração padrão. Deve-se ressaltar que o intuito desse artigo não é propor um novo protocolo, nem uma versão adaptativa para o protocolo PROPHET.

Este trabalho encontra-se organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta alguns trabalhos relacionados; na Seção 3 os protocolos avaliados são brevemente descri-

¹O termo contexto será utilizado nesse trabalho como referência à variação de características de uma DTN, tais como densidade, velocidade de deslocamento dos nós, tempo de contato etc., que ocorrem em um mesmo cenário.

tos; a Seção 4 expõe os cenários selecionados para avaliação e analisa os resultados das simulações com os protocolos MaxProp, PROPHET e *Spray and Wait*; a Seção 5 retrata as modificações acrescentadas ao protocolo PROPHET e compara o desempenho à versão padrão; e, por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Em relação à análise do desempenho de protocolos de roteamento para DTNs, além dos trabalhos comentados [Lindgren et al. 2003, Balasubramanian et al. 2007], existem várias propostas de protocolos de roteamento que, como forma de validação, comparam o desempenho do protocolo proposto com alguns dos principais protocolos, porém respeitando-se as respectivas configurações padrão [Nunes et al. 2010, Nelson et al. 2009]. Em [Karvo and Ott 2008] encontramos o único trabalho similar à proposta deste artigo. Os autores avaliam, porém limitados a um único cenário, os protocolos PROPHET, MaxProp e uma versão adaptada de cada protocolo, variando a escala de tempo e, resumidamente, parâmetros dos referidos protocolos. No entanto, o objetivo dos autores é analisar o impacto da escala de tempo e não mensurar o quanto protocolos parametrizáveis podem oscilar em relação à configuração padrão.

A literatura dispõe de algumas propostas de protocolos de roteamento para DTNs que intencionam incrementar o desempenho através de algum mecanismo adaptativo. Em [Oliveira and Albuquerque 2009] os autores refinaram o protocolo NECTAR, que mescla o modelo de disseminação epidêmica com o modelo probabilístico. Durante a fase epidêmica, o NECTAR é capaz de se adaptar às características da rede e aumentar ou reduzir a permanência na referida fase. Huang *et al.* [Huang et al. 2010] adicionaram ao protocolo PROPHET quatro novas métricas (capacidade de armazenamento, energia restante, taxa de transmissão e popularidade) e demonstraram que a ponderação dessas métricas é capaz de incrementar a taxa de mensagens entregues e reduzir a latência. Em [Lakkakorpi et al. 2010] foi demonstrado que, em função da densidade da rede, da velocidade dos nós e do tamanho da mensagem, a seleção dinâmica de um protocolo de roteamento (*AODV*, *Epidemic* ou *Spray and Wait*) é capaz de incrementar o desempenho de diversas métricas. Deve-se ressaltar que nenhuma das propostas visa a criação de uma camada adaptativa que analise o contexto e altere dinamicamente parâmetros de configuração sem alterar as características originais dos protocolos de roteamento.

3. Protocolos Avaliados

Os protocolos MaxProp, PROPHET e *Spray and Wait* encontram-se brevemente descritos nas subseções a seguir e foram selecionados por estarem entre os protocolos parametrizáveis mais citados na literatura, além de apresentarem modos de operação distintos.

3.1. MaxProp

O protocolo MaxProp [Burgess et al. 2006] faz uso do conhecimento adquirido de encontros anteriores entre nós da rede para otimizar o encaminhamento de mensagens. Cada nó mantém um vetor denominado *delivery likelihood* que armazena um custo para alcançar cada destinatário conhecido. Quando dois nós se encontram, ocorre a troca do vetor *delivery likelihood* de forma que seja possível calcular o menor caminho para cada destinatário. O algoritmo de cálculo do custo de cada destino baseia-se nas seguintes regras:

- cada nó tem um vetor $F^i = (f_0^i, \dots, f_{j-1}^i)$, que é normalizado, de forma que a soma dos elementos seja igual a 1;
- quando um nó x encontra um nó y , o elemento do vetor correspondente ao nó y é incrementado de uma unidade, e todos os elementos do vetor são divididos por 2, mantendo o vetor sempre normalizado;

Dessa forma, o nó encontrado pela última vez apresenta sempre o maior valor, o encontrado pela penúltima vez a metade do valor, e assim sucessivamente, ordenando os nós sempre em função dos encontros. De posse dos valores para os outros nós, um nó j pode calcular o custo, $c(i, i + 1, \dots, d)$ de cada caminho possível para um destino d , até o limite de n saltos. Logo, o custo de um caminho usando os nós $(j, j + 1, \dots, d)$ será a soma das probabilidades de cada conexão ao longo do percurso não ocorrer, representada por um menos a probabilidade de cada conexão ocorrer, conforme a Equação 1.

$$c(j, j + 1, \dots, d) = \sum_{x=j}^{d-1} [1 - (f_{x+1}^x)] \quad (1)$$

3.2. PROPHET

O protocolo PROPHET (*Probabilistic Routing using History of Encounters and Transitivity*) [Lindgren et al. 2003] baseia-se no histórico de encontros para estimar a probabilidade de entrega. Uma métrica denominada *Delivery Predictability*, $P_{(a,b)} \in [0, 1]$, é calculada em todo nó a para cada destino conhecido b , conforme a Equação 2. Quando ocorre um contato entre dois nós a e b , o nó a efetua o encaminhamento da mensagem m se b apresentar uma maior probabilidade de entrega para o destino d , ou seja, se $P_{(a,d)} < P_{(b,d)}$.

O valor de $P_{(a,b)}$ aumenta a cada novo encontro entre a e b . No entanto, se a e b deixam de se encontrar frequentemente, $P_{(a,b)}$ tem o valor reduzido à proporção que o tempo decorre. Essa redução é controlada por uma constante de envelhecimento, identificada por γ , elevada à potência de k , que corresponde à quantidade de unidades de tempo decorridas desde a última vez que a e b se encontraram, conforme Equação 3. Já a propriedade de transitividade, apresentada pela Equação 4, é aplicada caso um nó a encontre frequentemente um nó b , e o nó b encontre frequentemente um nó c . Desta forma, o nó c apresenta-se como uma boa escolha para encaminhar mensagens para o nó a e vice-versa.

$$P_{(a,b)} = P_{(a,b)old} + (1 - P_{(a,b)old}) \times P_{init}, \quad (2)$$

onde P_{init} é uma constante de inicialização;

$$P_{(a,b)} = P_{(a,b)old} \times \gamma^k, \quad (3)$$

onde γ é uma constante de envelhecimento, e k a quantidade unidades de tempo decorridas desde a última atualização da métrica *Delivery Predictability*;

$$P_{(a,c)} = P_{(a,c)old} + (1 - P_{(a,c)old}) \times P_{(a,b)} \times P_{(b,c)} \times \beta, \quad (4)$$

onde β é a constante que determina o impacto da transitividade sobre a métrica *Delivery Predictability*.

3.3. Spray and Wait

O protocolo *Spray and Wait* [Spyropoulos et al. 2005] baseia-se em uma abordagem oportunista para estimar a quantidade de nós na rede e determinar a quantidade ótima de réplicas das mensagens, combinando a velocidade na disseminação de mensagens do protocolo *Epidemic* com a simplicidade de um encaminhamento de mensagens diretamente para o destinatário. Por conseguinte, o mecanismo de encaminhamento de mensagens requer duas fases distintas, denominadas *spray* e *wait*, descritas a seguir:

1. na fase *spray*, para cada mensagem gerada pelo nó de origem, uma quantidade máxima de L cópias dessa mensagem é propagada pela rede, de forma que as mensagens são transportadas pelo nó de origem e por outros $L - 1$ nós da rede;
2. na fase *wait*, se o destinatário não tiver sido alcançado na fase *spray*, cada um dos L nós que contém uma cópia da mensagem somente poderá efetuar a entrega diretamente para o destinatário.

No modo de operação *binary*, o nó de origem inicializa cada mensagem com L cópias. Caso o nó A , que tem $n > 1$ cópias da mensagem M , encontre-se com o nó B , que não tem uma única cópia da referida mensagem, caberá ao nó A transferir $\lfloor n/2 \rfloor$ cópias para B , permanecendo com $\lceil n/2 \rceil$ cópias. Esse processo se repetirá até que n seja igual a 1, quando a mensagem M somente poderá ser transmitida para o destinatário.

4. Cenários e Resultados Preliminares

Como um dos objetivos desse trabalho é demonstrar que as particularidades dos cenários podem interferir no desempenho dos protocolos de roteamento para DTNs, selecionamos três cenários com características contrastantes, sendo que dois cenários foram reproduzidos a partir de registros de movimento reais e o terceiro cenário criado artificialmente.

O primeiro cenário, referenciado nesse trabalho como DieselNet [Banerjee et al. 2008], descreve conexões entre ônibus (IEEE 802.11b), e entre ônibus e estações fixas (rádios de longo alcance). Entretanto, para limitar as conexões no cenário, extraímos apenas os registros de conexões entre ônibus por um período de aproximadamente uma semana. O segundo cenário, identificado por ZebraNet [Wang et al. 2007], distingui-se por descrever os movimentos reais de zebras equipadas com colares contendo um rádio para transmissão das informações em uma reserva no Quênia. Já o terceiro cenário foi criado artificialmente e retrata, baseado no modelo WDM [Ekman et al. 2008], o deslocamento de nós de acordo com um mapa da área central da cidade de Helsinque, na Finlândia. O padrão de mobilidade dos nós representa o comportamento de pedestres, carros e ônibus, com uma distribuição quantitativa na proporção de, respectivamente, 50%, 30% e 20%. A Tabela 1 exibe informações acerca das características dos cenários e dos contextos utilizados nas simulações.

Esse trabalho também objetiva provar e mensurar que a adequação da configuração de alguns protocolos de roteamento pode exibir resultados significativamente melhores que os apresentados pelas respectivas configurações padrão. Dessa forma, relacionamos os protocolos MaxProp, PROPHET e *Spray and Wait* em função da perspectiva que os referidos protocolos oferecem para variação de suas configurações. Para cada um dos cenários descritos na Tabela 1 foram gerados cinco arquivos distintos de tráfego com transmissões de mensagens de 10 KBytes e taxa de transmissão fixada em 1 Mbps. O

simulador ONE [Keränen et al. 2009] foi utilizado para avaliar o desempenho dos protocolos MaxProp, PROPHET e *Spray and Wait* nos cenários DieselNet, WDM e ZebraNet, com objetivo de observar o comportamento de diversas métricas.

Tabela 1. Características dos cenários e dos contextos

Cenário	Características dos cenários			Características dos contextos		
	Quantidade de Nós	Duração	Dimensão (Km^2)	Raio de Alcance (m)	Quantidade de Mensagens	Capacidade de Armazenamento
DieselNet	15 e 31	7 dias e 20 horas	241,40	100	50, 250,	500 KB, 2.5 MB,
WDM	75 e 150	6 horas	15.300	50 e 150	500 e	5 MB e
ZebraNet	10, 20, 30 e 40	45 minutos	1.000	50, 150 e 250	1.000	10 MB

A Tabela 2 relaciona os parâmetros selecionados, descritos nas Subseções 3.1, 3.2 e 3.3, seus respectivos valores padrão e o intervalo dos valores utilizados nas simulações. Deve-se ressaltar que a implementação do protocolo MaxProp no simulador ONE foi baseada em [Karvo and Ott 2008], possibilitando que o incremento utilizado para atualização do vetor *delivery likelihood* não ficasse restrito a uma unidade. Essa implementação permitiu a avaliação do impacto causada pela variação desse incremento, identificado pelo parâmetro α , porém respeitando-se a normalização da proposta original. Já o parâmetro *MaxSize* limita a quantidade de informações armazenadas no vetor *delivery likelihood* e, como não há na literatura um valor padrão para a referido parâmetro, assumimos neste trabalho o valor sugerido na implementação do simulador ONE. O parâmetro P_{init} do protocolo PROPHET foi excluído em função da influência limitada. Já o *Spray and Wait* é o único que prevê a alteração da configuração padrão, porém de forma estática. O valor de L associado à configuração padrão depende da quantidade de nós da rede e foi calculado utilizando o *Lema 4.3* [Spyropoulos et al. 2005]. Em função da limitação de espaço, os valores de L para cada cenário avaliado foram suprimidos da Tabela 2.

Tabela 2. Intervalo de valores dos parâmetros

Protocolo	Parâmetro	Conf. Padrão	Intervalo de Valores
MaxProp	α	1	0,01, 0,1, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 50, 100, 250, 500 e 1.000
	MaxSize	50	10, 25, 50, 75, 100, 250, 500 e 1.000
PROPHET	β	0,25	de 0,05 até 0,95, com incrementos de 0,05
	γ	0,98	de 0,05 até 0,95, com incrementos de 0,05, 0,98 e 0,999
<i>Spray and Wait</i>	<i>binary</i>	<i>true</i>	<i>true e false</i>
	L	*	de 1 até 15, 20, 25, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 500 e 1.000

Os resultados extraídos das simulações foram discretizados e tabulados em função de duas dimensões: densidade e percentual de ocupação. Caso o somatório da área de alcance de todos os nós de um determinado cenário seja igual ou menor que o dobro da área de simulação, a densidade será igual a 1. Caso seja maior ou igual ao dobro, porém menor que o triplo da área de simulação, a densidade será igual a 2. Se o valor do percentual de ocupação da área de armazenamento for menor ou igual a 100 (de B0005 até B0100), os nós apresentam capacidade de armazenar todas as mensagens geradas. Já o valor de 200 (B0200) indica que os nós deveriam ter o dobro da capacidade de armazenamento para suportar todas as mensagens geradas.

Destacamos que algumas dimensões das Tabelas 3 e 4 foram suprimidas em função de não agregarem informações relevantes. Observando a primeira célula da Tabela 3, identificamos que, para o cenário ZebraNet com densidade 0 e percentual de ocupação da área de armazenamento entre 5% e 20% (de B0005 à B0020), a configuração que

Tabela 3. Percentual de mensagens entregues do PROPHET - Configuração com melhor desempenho

Percentual de Ocupação por Densidade	ZebraNet	WDM	ZebraNet	DieselNet	ZebraNet	DieselNet
	Densidade 0	Densidade 1	Densidade 2	Densidade 4	Densidade 8	Densidade 9
B0005, B0010 e B0020 (50 Mensagens)	G0,60 B0,45 10,70%	G0,999 B0,95 99,00%	G0,999 B0,05 67,00%	G0,999 B0,15 88,00%	G0,999 B0,95 100,00%	G0,999 B0,95 80,80%
B0050 (250 e 500 Mensagens)	G0,95 B0,10 7,22%	G0,60 B0,95 96,75%	G0,999 B0,10 53,60%	G0,999 B0,15 87,00%	G0,999 B0,95 100,00%	G0,999 B0,70 74,30%
B0100 (50, 250, 500 e 1.000 Mensagens)	G0,40 B0,55 7,76%	G0,90 B0,90 97,25%	G0,999 B0,10 55,28%	G0,999 B0,15 87,40%	G0,999 B0,95 100,00%	G0,999 B0,90 76,00%
B0200 (500 e 1.000 Mensagens)	G0,98 B0,05 6,43%	G0,80 B0,05 90,70%	G0,999 B0,10 49,35%	G0,999 B0,05 84,20%	G0,98 B0,05 97,90%	G0,999 B0,05 70,80%
B0500 (250 Mensagens)	G0,999 B0,10 7,65%	G0,80 B0,05 71,50%	G0,999 B0,10 52,90%	G0,999 B0,05 75,80%	G0,999 B0,05 88,20%	G0,999 B0,10 60,20%
B2000 (1.000 Mensagens)	G0,98 B0,20 6,10%	G0,85 B0,05 53,50%	G0,999 B0,20 34,70%	G0,999 B0,05 60,40%	G0,999 B0,05 70,40%	G0,999 B0,10 49,60%

obteve o melhor desempenho foi capaz de entregar 10,70% das mensagens geradas com $\gamma = 0,60$ e $\beta = 0,45$. Já a primeira célula da Tabela 4 indica que a configuração padrão deveria melhorar 4,90% para se igualar a configuração com melhor desempenho, e que a configuração com pior desempenho deveria melhorar 5,94%.

Tabela 4. Percentual de mensagens entregues do PROPHET - Configuração padrão e com pior desempenho

Percentual de Ocupação por Densidade	ZebraNet	WDM	ZebraNet	DieselNet	ZebraNet	DieselNet
	Densidade 0	Densidade 1	Densidade 2	Densidade 4	Densidade 8	Densidade 9
B0005, B0010, e B0020 (50 Mensagens)	(4,90)% (5,94)%	(2,06)% (3,12)%	(1,82)% (13,18)%	(1,38)% (22,22)%	(0,00)% (0,40)%	(0,00)% (22,42)%
B0050 (250 e 500 Mensagens)	(2,12)% (4,94)%	(0,52)% (1,31)%	(1,04)% (15,64)%	(1,40)% (17,25)%	(0,81)% (1,01)%	(0,13)% (26,15)%
B0100 (50, 250, 500 e 1.000 Mensagens)	(2,11)% (4,30)%	(0,78)% (5,63)%	(1,21)% (13,05)%	(1,27)% (18,83)%	(0,70)% (0,86)%	(0,13)% (24,29)%
B0200 (500 e 1.000 Mensagens)	(1,26)% (5,41)%	(2,78)% (5,71)%	(1,33)% (15,44)%	(3,82)% (15,82)%	(9,51)% (28,82)%	(2,16)% (18,59)%
B0500 (250 Mensagens)	(2,00)% (5,52)%	(24,78)% (28,14)%	(2,52)% (23,02)%	(3,55)% (26,33)%	(22,50)% (72,94)%	(2,73)% (24,90)%
B2000 (1.000 Mensagens)	(0,83)% (7,02)%	(29,54)% (44,59)%	(1,17)% (18,84)%	(10,22)% (36,04)%	(41,37)% (100,00)%	(5,98)% (31,22)%

A análise dos resultados das Tabelas 3 e 4 possibilitou obtermos algumas conclusões interessantes. Averiguamos que a evolução do protocolo PROPHET [Lindgren et al. 2011], alterando o valor de γ de 0,98 para 0,999, foi acertada, pois esse valor esteve presente nas configurações que apresentaram o melhor desempenho em 56,74% dos cenários avaliados, sendo que esse valor chegou a 91,67% no cenário DieselNet. Contudo, deve-se observar que quanto maior o valor de γ , mais lento será o processo de envelhecimento de rotas antigas que podem estar obsoletas. Já o incremento do valor de β , passando de 0,25% para 0,9% não nos parece adequado, pois as configurações com β igual a 0,05 foram responsáveis pelo melhor desempenho em 31,24% dos cenários. Essa constatação confirma que, como β determina o impacto da transitividade, o peso associado a rotas obtidas de forma indireta em cenários com alta mobilidade deveria ser reduzido, evitando associar valores significativos a rotas que tendem a se tornar obsoletas

rapidamente e agravado por uma constante de envelhecimento que implica em um processo de convergência lento. Por fim, a partir do instante que os nós não dispõem de capacidade para armazenar todas as mensagens presentes na rede (de B0200 à B2000), o valor de β manteve-se entre 0,20 e 0,05 e, na maioria das simulações, o valor de γ manteve-se entre 0,98 e 0,999. Cabe ressaltar que as alterações propostas em [Lindgren et al. 2011] não se limitam a alterar os valores de γ e β .

A Tabela 5 mensura a dimensão da oscilação que as diversas configurações dos protocolos avaliados apresentaram durante as simulações, exibindo, por cenário, os piores resultados da configuração padrão e da configuração que obteve o pior desempenho. Os valores representam, em termos percentual, o quanto as respectivas configurações deveriam melhorar para se igualar à configuração de cada protocolo que obteve o melhor desempenho. Optamos por expor apenas a taxa de mensagens entregues e a latência média, já que os resultados das demais métricas não acrescentaram informações significativas.

Tabela 5. Percentual de deficiência dos protocolos

Protocolo	Configuração	Percentual de Mensagens Entregues			Latência Média		
		DieselNet	WDM	ZebraNet	DieselNet	WDM	ZebraNet
MaxProp	Padrão	(5,14%)	(25,00%)	(8,88%)	(5,93%)	(67,17%)	(27,36%)
	Pior Desempenho	(9,61%)	(66,67%)	(37,50%)	(10,68%)	(68,40%)	(39,61%)
PROPHET	Padrão	(10,82%)	(66,19%)	(41,37%)	(33,55%)	(94,78%)	(83,74%)
	Pior Desempenho	(36,04%)	(73,94%)	(100,00%)	(41,42%)	(181,64%)	(257,57%)
<i>Spray and Wait</i>	Padrão	(4,10%)	(3,12%)	(24,59%)	(8,09%)	(851,01%)	(468,64%)
	Pior Desempenho	(177,04%)	(66,67%)	(506,58%)	(116,11%)	(3.161,28%)	(3.411,42%)

A análise das informações presentes na Tabela 5 nos permite concluir que o protocolo MaxProp apresentou a menor oscilação entre os protocolos avaliados e, embora não seja objetivo desse trabalho comparar o desempenho dos referidos protocolos, identificamos que o protocolo MaxProp ostentou, em média, um desempenho superior. O algoritmo de cálculo de custo do protocolo MaxProp mostrou a habilidade de priorizar o envio de mensagens através de nós contactados mais recentemente e de envelhecer rapidamente as demais rotas, reduzindo o tempo de convergência da tabela de roteamento. A eficiência do MaxProp possibilitou um melhor aproveitamento dos contatos, implicando, na prática, uma maior quantidade de mensagens entregues e uma menor latência.

A maior oscilação do protocolo *Spray and Wait* está relacionada a simulações cujas configurações o parâmetro L tenha assumido o valor 1. Nesses casos, independente do valor associado ao parâmetro *binary*, o *Spray and Wait* comporta-se como o protocolo DD (*Direct Delivery*), ou seja, a estação de origem produz uma única cópia da mensagem que somente será encaminhada quando e se a estação de destino for encontrada. Essa observação ratifica que as características das DTNs requerem o envio de mais de uma cópia da mesma mensagem, de forma a otimizar todas as métricas. Podemos, ainda, destacar que os valores de latência média expressivos dos cenários WDM e ZebraNet, informados na Tabela 5, foram extraídos de um conjunto reduzido de simulações, cuja característica principal do contexto avaliado era a alta densidade (densidade igual a, respectivamente, 15 e 8) e uma taxa de ocupação da área de armazenamento menor ou igual a 100%. Nesse cenário com restrições mínimas, configurações com L reduzido obtiveram uma latência média significativamente superior em função da quantidade reduzida de cópias das mensagens na rede. Como praticamente inexitem restrições, quanto maior o valor de L menor a latência, entretanto esse resultado implica em um comportamento

similar ao do protocolo Epidemic [Vahdat and Becker 2000], que pôde ser comprovado ao analisarmos a relação entre mensagens entregues e mensagens transmitidas.

Não obstante o protocolo PROPHET ter apresentado, em média, oscilações inferiores ao protocolo *Spray and Wait*, coube a ele um desempenho inferior em termos do percentual de mensagens entregues, entre outras métricas. O algoritmo que efetua cálculo da métrica *Delivery Predictability* tem se mostrado ineficiente quando comparado com outros protocolos [Balasubramanian et al. 2007, Oliveira and Albuquerque 2009, Nelson et al. 2009], apresentando resultados muitas vezes inexpressivos. Podemos observar que o algoritmo do protocolo PROPHET se baseia na quantidade de unidades de tempo para efetuar o envelhecimento de rotas, enquanto que o protocolo MaxProp efetua o envelhecimento à medida que estabelece novos contatos. Logo, em cenários com grande mobilidade, o protocolo MaxProp é capaz de manter suas rotas atualizadas, evitando o uso de rotas obsoletas. [Oliveira and Albuquerque 2009] afirmam que, em alguns cenários de grande mobilidade, o PROPHET mostra-se incapaz de lidar com o dinamismo da rede, o que implica em uma convergência lenta da tabela de rotas e, em redes veiculares, à medida que a quantidade de nós e a quantidade de mensagens aumenta, a eficiência é reduzida [Nelson et al. 2009]. Em função dos resultados do protocolo PROPHET, resolvemos analisar o comportamento dos parâmetros γ e β e implementar uma versão do protocolo PROPHET, que será referenciada no texto como PROPHET-ADPT, capaz de se adaptar dinamicamente à densidade e ao percentual de ocupação da área de armazenamento.

Tabela 6. Percentual da configuração padrão com melhor desempenho

Protocolo	Percentual de Ocupação	DieselNet	WDM	ZebraNet	Média Parcial	Média Global
MaxProp	≤ 100%	100,00%	88,89%	66,67%	85,19%	65,14%
	> 100%	40,00%	86,67%	8,57%	45,08%	
Prophet	≤ 100%	25,00%	11,11%	7,14%	14,42%	7,21%
	> 100%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
SprayAndWait	≤ 100%	50,00%	46,67%	0,00%	32,23%	26,69%
	> 100%	0,00%	52,00%	11,43%	21,14%	

A Tabela 6 exibe o percentual de vezes que a configuração padrão de cada um dos protocolos avaliados apresentou o melhor desempenho. Os dados demonstram a inabilidade dos protocolos, principalmente do PROPHET e do *Spray and Wait*, para lidar com os diversos contextos que se formaram ao longo dos cenários selecionados. Coube à configuração padrão do protocolo MaxProp um desempenho superior, mas ainda assim no cenário ZebraNet, com o percentual de ocupação acima de 100,0%, a média foi de apenas 8,57%. Já as configurações padrão do PROPHET e do *Spray and Wait* exibiram resultados irrisórios, corroborando a necessidade de se promover o desenvolvimento de mecanismos adaptativos a contextos para protocolos parametrizáveis.

Na Figura 1 podemos observar a média do percentual de mensagens entregues dos protocolos avaliados com a configuração padrão, cujos valores foram agrupados por percentual de ocupação da área de armazenamento menor ou igual 100% e maior que 100%, e identificados por $PercOcup \leq 100\%$ e por $PercOcup > 100\%$. Com intuito de suprimir resultados similares, selecionamos somente alguns cenários com densidade igual a 1 (WDM), 4 (ZebraNet) e 9 (DieselNet), que encontram-se identificados, respectivamente, por D=1, D=4 e D=9. Conforme mencionado, os protocolos MaxProp e *Spray and Wait* apresentaram resultados estatisticamente similares, com o protocolo MaxProp se destacando em alguns cenário. Já o protocolo PROPHET demonstrou um desempenho

inferior. As barras verticais representam o intervalo de confiança de 95%.

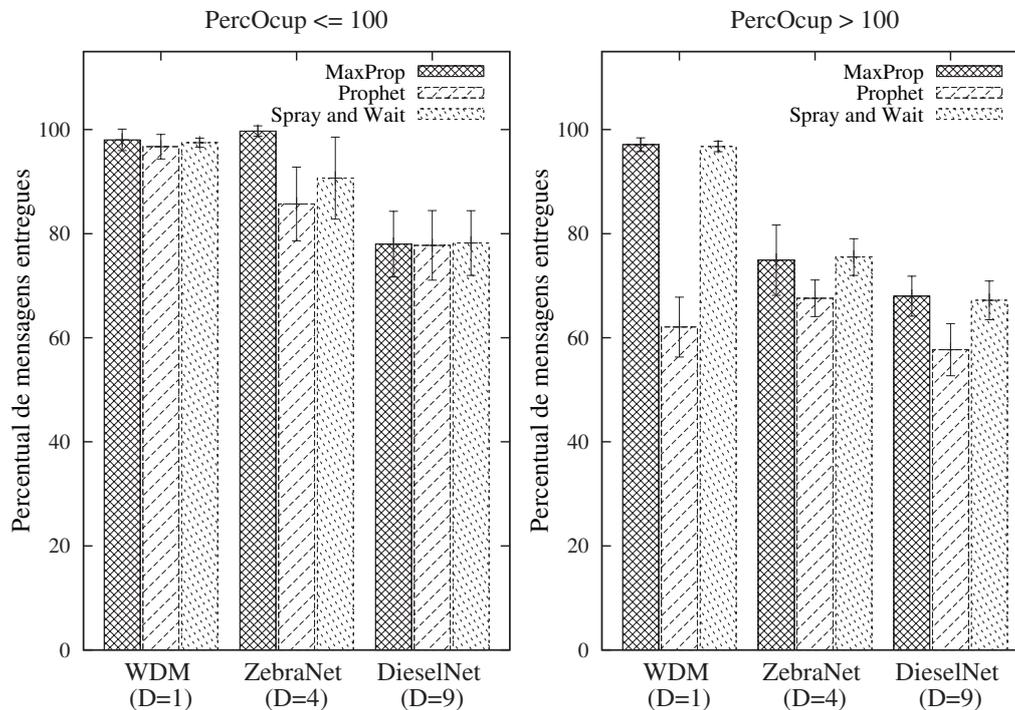


Figura 1. Percentual de mensagens entregues

5. PROPHET Adaptativo

As configurações que apresentaram melhor desempenho dos protocolos avaliados em cada um dos cenários foram tabuladas com objetivo de identificar a existência de algum padrão na variação das configurações. Dessa forma, observando os dados do protocolo PROPHET que foram intencionalmente resumidos na Tabela 3, podemos, por exemplo, concluir que os parâmetros γ e β demonstram uma tendência quando a capacidade de armazenamento dos nós é incapaz de suprir a necessidade da rede (B0200, B0500 e B2000), não obstante os cenários DieselNet, WDM e ZebraNet apresentarem características diferenciadas. Nesse contexto, γ tende a se aproximar do seu limite superior (0,999), enquanto β é conduzido ao seu limite inferior (0,05). Esse trabalho de análise foi realizado com os resultados de todas as simulações do protocolo PROPHET visando a elaboração de uma tabela de correlação entre as dimensões avaliadas (densidade e percentual de ocupação) e a configuração que obteve o melhor desempenho, representada pelos parâmetros γ e β . A Tabela 7 reflete o resultado dessa análise e foi utilizada pelo protocolo PROPHET-ADPT para modificar os valores da configuração padrão.

Adicionamos à versão padrão do protocolo PROPHET a capacidade de se adaptar em função de informações obtidas localmente. Deve-se ressaltar que a camada de adaptação simplificada que foi inserida atua sobre o protocolo PROPHET, alterando os parâmetros γ e β individualmente em cada nó de acordo com características instantâneas do contexto de qualquer cenário, porém sem modificar o comportamento padrão do referido protocolo. Logo, o desempenho da versão adaptativa não está limitado ao desempenho da melhor configuração conforme pode ser observado na Figura 2 (2,5% e 5%) e,

como cada nó analisa a densidade e o percentual de ocupação de forma independente, dois nós, ainda que vizinhos diretos, podem apresentar valores distintos de γ e β . Não existe, entretanto, intenção desse trabalho de propor modificações à versão original do protocolo PROPHET, nem um novo protocolo adaptativo.

Para o cálculo da densidade local realizado por todos os nós foi estabelecido que, se o somatório da área de alcance de todos os nós que encontram-se até dois saltos do nó em questão for menor que a área de simulação, a densidade será igual a 0. Para que a densidade seja igual a 1, o somatório da área de alcance de todos os nós com até dois saltos deve ser maior ou igual à área de simulação, porém menor que o dobro, e assim sucessivamente. Com intuito de evitar a circulação de mensagens de controle e alterações significativas no protocolo PROPHET, os nós são iniciados com a configuração padrão e, quando o processo de atualização da métrica *delivery predictability* ocorre, a camada de adaptação contabiliza os nós que encontram-se até dois saltos e determina a densidade local. Como simplificação, os nós têm ciência da dimensão da área de simulação e do raio de alcance do rádio. Já o percentual de ocupação é estimado a partir do somatório de todas as mensagens descartadas nos últimos 300 segundos com as mensagens presentes na área de armazenamento e dividido pela capacidade de armazenamento.

Tabela 7. Relação entre (γ e β) X (densidade local e percentual de ocupação)

Percentual de Ocupação	Densidade 0		Densidade 1		Densidade 2	
	γ	β	γ	β	γ	β
[0,100)%	0,40	0,90	0,60	0,95	0,999	0,95
[100,200)%	0,999	0,75	0,999	0,90	0,999	0,90
[200,300)%	0,999	0,15	0,999	0,10	0,999	0,05
[300,400)%	0,999	0,10	0,999	0,05	0,999	0,05

Para efeito de avaliação do comportamento dos protocolos PROPHET e PROPHET-ADPT definimos um novo cenário, intitulado *Dartmouth*, a partir de um fragmento de 24 horas e limitado a 500 nós de um arquivo de movimento de usuários reais extraído de [Kotz et al. 2005], e definimos cinco arquivos distintos de tráfego com 2.000 mensagens criadas aleatoriamente nas primeiras oito horas de simulação. Além das restrições impostas pelo cenário, a capacidade de armazenamento dos nós foi limitada a 50, 100, 200, 500, 1.000 e 2.000 mensagens, o que representa, respectivamente, 2,5%, 5%, 10%, 25%, 50% e 100% do total de mensagens na rede, já a quantidade máxima de nós ativos alcançou 61,4% e a média de nós ativos manteve-se em apenas 14,5%.

Como o simulador ONE não suporta a alteração dinâmica de parâmetros de configuração dos protocolos, implementamos o protocolo PROPHET-ADPT no simulador utilizado em [Oliveira and Albuquerque 2009]. A Figura 2 ilustra o desempenho da configuração do protocolo PROPHET que obteve o melhor desempenho, da configuração padrão do protocolo PROPHET e do protocolo PROPHET-ADPT para o cenário *Dartmouth* em relação à quantidade de mensagens entregues. Deve-se ressaltar que o cenário em questão apresenta características bem distintas dos cenários DieselNet, WDM e ZebraNet. A principal característica está relacionada ao fato que os registros de movimento de usuários da rede sem fio do *campus* de *Dartmouth* são associados a um ponto de acesso, de forma que as estações não estabelecem comunicações *ad hoc*. A escolha desse cenário foi intencional, de forma que pudéssemos avaliar o comportamento do protocolo PROPHET-ADPT em um cenário cujas características fossem significativamente contrastantes com

as características dos cenários DieselNet, WDM e ZebraNet.

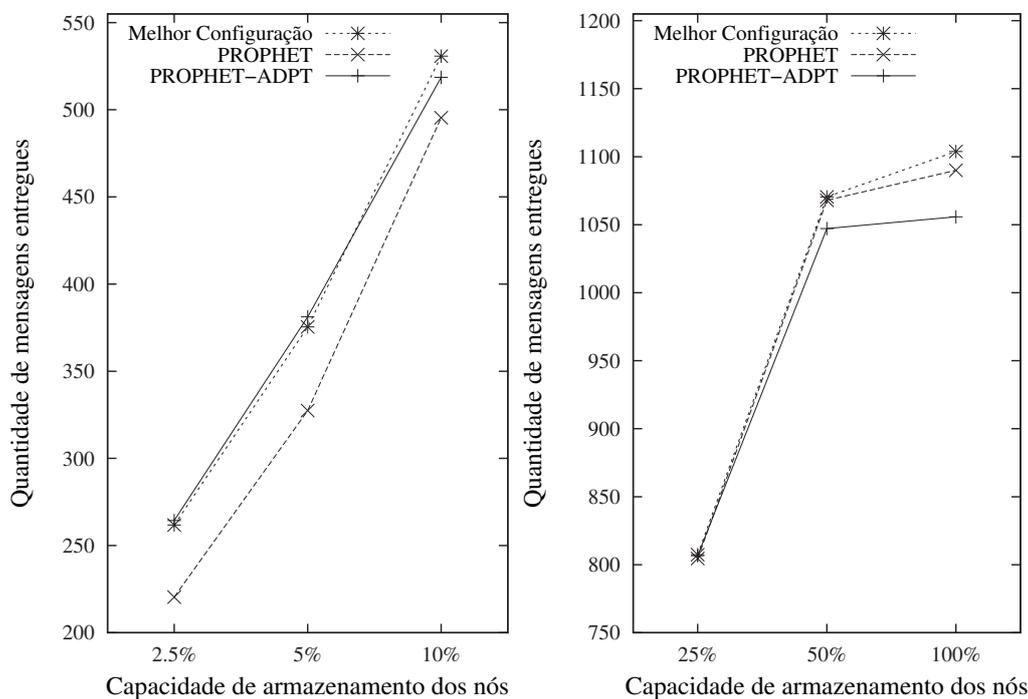


Figura 2. Quantidade de mensagens entregues - Cenário Dartmouth

A configuração padrão do protocolo PROPHET começou a se destacar à medida que o cenário se tornava menos restrito, ou seja, uma maior capacidade de armazenamento favoreceu a redução da quantidade de descartes de mensagens e a um desempenho similar ao da melhor configuração. A configuração padrão explorou convenientemente o tempo médio de contato do cenário *Dartmouth*, que é suficiente para realizar a troca da maioria das mensagens, até no cenário com a maior capacidade de armazenamento.

Já o protocolo PROPHET-ADPT demonstrou que a aplicação de um mecanismo adaptativo é capaz de superar até mesmo a configuração com o melhor desempenho do protocolo PROPHET. Nos cenários mais restritos, onde a capacidade da área de armazenamento foi limitada em 2,5%, 5%, 10% e 25% do total de mensagens na rede, o protocolo PROPHET-ADPT conseguiu se adaptar satisfatoriamente e alcançou um desempenho superior ao desempenho da configuração padrão de, respectivamente, 19,96%, 16,37%, 4,56% e 0,25%. O PROPHET-ADPT foi ainda capaz de superar a configuração com melhor desempenho em 1,09% e 1,47% nos cenários onde a capacidade de armazenamento foi limitada em, respectivamente, 2,5% e 5%. O protocolo PROPHET-ADPT não conseguiu equiparar o desempenho da configuração padrão nos cenários com menos restrições em função de inexistirem conexões *ad hoc* entre os nós, o que limitou o cálculo da densidade local. Ou seja, embora a Tabela 7 relacione valores diferenciados de γ e β para contextos cuja densidade seja igual a 2 ou 3, o PROPHET-ADPT foi incapaz de alterar a configuração para alguns desses contextos, restringindo o desempenho. Ainda podemos ressaltar que, considerando-se o desempenho em todos os cenários, o protocolo PROPHET-ADPT foi, em média, 5,86% superior à configuração padrão do protocolo PROPHET e ficou 1,27% aquém da configuração com melhor desempenho. É importante

que seja esclarecido que a utilização do termo genérico 'melhor configuração' não se refere a uma configuração específica, mas a valores de γ e β variados que apresentam o melhor desempenho em um contexto específico. No caso da Figura 2, os valores de γ e β da 'Melhor Configuração' para os cenários com capacidade de armazenamento de 5%, 10%, 25%, 50% e 100% foram de, respectivamente, $\gamma = 0,80$ e $\beta = 0,40$, $\gamma = 0,80$ e $\beta = 0,55$, $\gamma = 0,90$ e $\beta = 0,40$, $\gamma = 0,80$ e $\beta = 0,05$ e, por fim, $\gamma = 0,95$ e $\beta = 0,15$.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

A comparação de alguns dos principais protocolos de roteamento parametrizáveis para DTNs em cenários com características distintas, como DieselNet, WDM e ZebraNet, permitiu o dimensionamento, em termos percentual, do quanto as respectivas configurações padrão dos protocolos MaxProp, PROPHET e *Spray and Wait* encontram-se aquém da configuração com melhor desempenho. O percentual de deficiência em relação à taxa de mensagens entregues alcançou, respectivamente, 25,00%, 66,19% e 24,59% para os protocolos MaxProp, PROPHET e *Spray and Wait* e, se considerarmos outras métricas, como a latência média, os valores são bem mais expressivos. Em função do percentual de deficiência observado, identificamos a necessidade de promover a adaptação de protocolos de roteamento parametrizáveis, possibilitando que as mudanças de características que ocorrem durante a formação de contextos distintos em um único cenário sejam analisadas, adequadamente tratadas e favoreçam um desempenho significativamente superior.

Uma camada de adaptação, baseada no cálculo da densidade local e do percentual de ocupação da área de armazenamento, foi agregada ao protocolo PROPHET. Simulações realizadas com registros de movimentos extraídos de [Kotz et al. 2005] demonstraram que a versão modificada do protocolo suplantou a configuração padrão em 4 dos 6 cenários avaliados, apresentando, em média, um desempenho superior de 5,86% e, em contextos mais limitados, de 19,96%. A versão modificada do protocolo PROPHET-ADPT ainda superou a configuração com melhor desempenho em 2 dos 6 cenários avaliados, ficando, em média, 1,27% aquém.

Como a análise do contexto realizada pela camada de adaptação simplificada do protocolo PROPHET-ADPT (baseada em apenas duas dimensões) foi suficiente para superar tanto a configuração padrão como a configuração com melhor desempenho sob circunstâncias de limitação severa de recursos e em um cenário desfavorável (sem a possibilidade de conexões *ad-hoc*), pretendemos estender esse trabalho reavaliando protocolos que sejam parametrizáveis sob a ótica de outras dimensões além da densidade e do percentual de ocupação, como velocidade de deslocamento dos nós, tempo de contato, periodicidade de contato etc. A base de conhecimento obtida será utilizada para o desenvolvimento de uma camada de adaptação mais sensível aos contextos de DTNs e avaliada em outros cenários.

Referências

- Balasubramanian, A., Levine, B., and Venkataramani, A. (2007). DTN routing as a resource allocation problem. In *Proceedings of ACM SIGCOMM*, volume 37, pages 373–384, Kyoto, Japan.
- Banerjee, N., Corner, M., Towsley, D., and Levine, B. N. (2008). CRAW-DAD trace umass/diesel/transfer/fall2007 (v. 2008-09-14). Downloaded from <http://crawdad.cs.dartmouth.edu/umass/diesel/transfer/fall2007>.

- Burgess, J., Gallagher, B., Jensen, D., and Levine, B. N. (2006). MaxProp: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks. In *Proceedings of IEEE INFOCOM*, pages 1–11.
- Cerf, V., Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Durst, B., Scott, K., Fall, K., and Weiss, H. (2007). Delay-tolerant networking architecture. RFC Draft 4878, IETF.
- Ekman, F., Keränen, A., Karvo, J., and Ott, J. (2008). Working day movement model. In *Proceeding of the 1st ACM SIGMOBILE workshop on Mobility models*, pages 33–40.
- Huang, T.-K., Lee, C.-K., and Chen, L.-J. (2010). Prophet+: An adaptive prophet-based routing protocol for opportunistic network. In *Proceedings of the 24th IEEE AINA'10*, pages 112–119.
- Karvo, J. and Ott, J. (2008). Time scales and delay-tolerant routing protocols. In *Proceedings of the 3rd ACM CHANTS*, pages 33–40.
- Keränen, A., Ott, J., and Kärkkäinen, T. (2009). The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. In *Proceedings of the 2nd SIMUTOOLS*, pages 55:1–55:10.
- Kotz, D., Henderson, T., Abyzov, I., and Yeo, J. (2005). CRAWDAD trace set dartmouth/campus/movement (v. 2005-03-08). Downloaded from <http://crawdad.cs.dartmouth.edu/dartmouth/campus/movement>.
- Lakkakorpi, J., Pitkänen, M., and Ott, J. (2010). Adaptive routing in mobile opportunistic networks. In *Proceedings of the 13th ACM International Conference on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems, MSWIM*, pages 101–109.
- Lindgren, A., Doria, A., Davies, E., and Grasic, S. (2011). Probabilistic routing protocol for intermittently connected networks. RFC Draft, versão 09, IETF.
- Lindgren, A., Doria, A., and Schelén, O. (2003). Probabilistic routing in intermittently connected networks. In *Proceedings of SIGMOBILE (MC2R)*, volume 7, pages 19–20.
- Nelson, S. C., Bakht, M., Kravets, R., and Harris, III, A. F. (2009). Encounter-based routing in DTNs. In *Proceedings of SIGMOBILE (MC2R)*, volume 13, pages 56–59.
- Nunes, C., Dotti, F., and Oliveira, J. (2010). APRP-Group: Roteamento para redes DTN com repasse baseado em agrupamento de nodos por potencial de entrega. In *SBRC*, pages 451–464.
- Oliveira, E. and Albuquerque, C. (2009). Análise do protocolo NECTAR em cenário com mobilidade e frequentes interrupções. In *SBRC*, pages 771–783.
- Spyropoulos, T., Psounis, K., and Raghavendra, C. (2005). Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In *Proceeding of the 2005 ACM SIGCOMM WDTN*, pages 252–259.
- Vahdat, A. and Becker, D. (2000). Epidemic routing for partially connected ad hoc networks. Technical Report CS-200006, Duke University.
- Wang, Y., Zhang, P., Liu, T., Sadler, C., and Martonosi, M. (2007). CRAWDAD trace set princeton/zebranet/movement (v. 2007-02-14). Downloaded from <http://crawdad.cs.dartmouth.edu/princeton/zebranet/movement>.