

Um Estudo do Impacto de Componentes Adaptativos sobre Protocolos de Roteamento para DTNs

Etienne C. R. de Oliveira¹ e Célio V. N. de Albuquerque¹

¹Instituto de Computação - Universidade Federal do Fluminense (UFF)

Abstract. *DTN particular features, together with the fluctuation in network attributes, like density, storage capacity, mobile pattern, etc., are the main issue in the variations of the performance of routing protocols. The use of adaptive components, with the ability to detect such features and extract information from them, enabling routing protocols to dynamically adapt, poses a significant advantage in network performance metrics, such as messages delivered. Simulations with two adaptive components named Contact Estimation and Epidemic Dissemination, using records from actual experiments, reported an increase of 133.67% in messages delivered, and in specific scenarios, increments of 425.06%.*

Resumo. *As particularidades dos cenários típicos de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões, associadas às variações de atributos de rede como densidade, capacidade de armazenamento, padrão de mobilidade etc. caracterizam-se como os principais responsáveis pelas oscilações no desempenho de protocolos de roteamento. O emprego de componentes adaptativos que apresentem a habilidade de detectar características dos cenários e extrair informações que permitam aos protocolos de roteamento adaptar-se dinamicamente implica uma vantagem significativa no desempenho de métricas, tais qual mensagens entregues. Simulações realizadas com os componentes adaptativos Estimativa de Contato e Modo de Disseminação Epidêmica, utilizando registros de movimento provenientes de experimentos reais, registraram um incremento no desempenho da métrica mensagens entregues, em termos globais, de 133,67%, alcançando, em cenários específicos, incrementos de 425,06%.*

1. Introdução

É factível observar um interesse crescente da comunidade acadêmica em áreas de pesquisa emergentes, tais como Redes *Ad hoc* com Conectividade Intermitente, Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (*Delay and Disruption Tolerant Networking - DTN*), entre outras. Em relação às DTNs, a questão do protocolo de roteamento ainda é avaliada como um ponto de suma importância, pois a escolha do protocolo de roteamento mais adequado depende, fundamentalmente, de características próprias do cenário. Essa constatação pode ser comprovada em função da quantidade de protocolos de roteamento propostos nos últimos anos, entre os quais é razoável citar APRP [Nunes et al. 2010], CAR [Musolesi and Mascolo 2009], NECTAR [Oliveira and Albuquerque 2009], PREP [Ramanathan et al. 2007], PROPHET [Lindgren et al. 2011], PROPHET+ [Huang et al. 2010], RAPID [Balasubramanian et al. 2010], entre tantos outros. A quantidade significativa de propostas advém, principalmente, da falta de habilidade

dos protocolos para lidar com as variações dos atributos de rede, tais como densidade, características do contato¹ (tipo, duração e periodicidade), capacidade de armazenamento dos nós, padrão de mobilidade etc.

Em [Oliveira et al. 2011], os autores compararam o desempenho dos protocolos MaxProp, PROPHET e *Spray and Wait* em três cenários com características distintas, modificando, intencionalmente, os atributos densidade e capacidade de armazenamento com o objetivo de identificar o quão significativas poderiam ser as oscilações dos referidos atributos no desempenho de métricas como atraso médio, mensagens entregues etc. Ademais, as configurações padrão dos referidos protocolos também sofreram modificações com o intuito de mensurar o quanto a adaptação dos parâmetros de configuração às características dos cenários poderia incrementar o desempenho dos protocolos. Sob essa ótica, em relação à métrica mensagens entregues, a configuração padrão do protocolo PROPHET foi responsável pelo melhor desempenho em apenas 7,21% das simulações realizadas. Ou seja, nas demais simulações com o protocolo PROPHET (92,79%), variações dos parâmetros de configuração γ e β apresentaram o melhor desempenho. Os autores concluem que, devido às particularidades dos cenários, as oscilações observadas no desempenho dos protocolos avaliados conduzem à indispensabilidade da adoção de mecanismos que possibilitem a adaptação dinâmica para protocolos de roteamento para DTNs.

Em função dessas considerações, este trabalho apresenta uma proposta para dois componentes adaptativos com o intuito de demonstrar e quantificar as vantagens provenientes da adoção de mecanismos com a capacidade de identificar características dos contextos e de promover uma adaptação dinâmica para protocolos de roteamento para DTNs. Cabe ressaltar que, o termo contexto refere-se às variações dos atributos (densidade, tempo de contato etc.) de uma DTN que ocorrem ao longo da existência de um cenário e que retratam um momento específico. O primeiro componente, identificado por Estimativa de Contato, será responsável por estimar, a partir do histórico de contatos, quando, possivelmente, um contato será restabelecido. O segundo componente, identificado por Modo de Disseminação Epidêmica, determinará a duração da disseminação epidêmica de mensagens e selecionará as mensagens elegíveis para disseminação epidêmica.

Este trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma: a Seção 2 descreve o componente adaptativo Estimativa de Contato; já a Seção 3 apresenta o componente adaptativo Modo de Disseminação Epidêmica; a Seção 4 analisa o desempenho dos componentes adaptativos; e a Seção 5 expõe as conclusões e relaciona alguns trabalhos futuros.

2. Componente Adaptativo Estimativa de Contato

O componente adaptativo Estimativa de Contato visa prover, aos protocolos de roteamento para DTNs, a habilidade de estimar quando um próximo contato poderá ocorrer a partir de informações extraídas dos atributos quantidade de contatos e periodicidade entre contatos. No entanto, para que uma estimativa seja considerada válida, é necessária uma análise quantitativa e qualitativa das amostras dos atributos selecionados.

A determinação da quantidade de contatos é fundamental e deve ser analisada. Uma quantidade de amostras muito grande pode ser incapaz de refletir um comportamento recente, o que certamente é uma desvantagem. Já uma quantidade muito pequena de amostras pode refletir uma mudança recente de comportamento, entretanto, pode ocultar um comportamento momentâneo, o que tornaria a previsão frágil. Logo,

¹Contato pode ser entendido como uma oportunidade para que dois nós possam comunicar-se.

para precisar a quantidade de contatos, que será referenciada por $Qtde_contato$, foram realizadas simulações com os cenários extraídos de [Oliveira and Albuquerque 2009, Oliveira et al. 2011]. O conjunto de simulações descreve as seguintes propriedades: 5 cenários exibem contatos do tipo previsível e 19 cenários apresentam contatos do tipo oportunista; a quantidade de nós varia de 10 a aproximadamente 2.000 nós; o menor tempo de simulação é de 45 minutos e o maior alcança 7 dias e 20 horas (188 horas); e o raio de alcance varia de 50 metros a 250 metros.

Para cada nó da rede foi calculada a quantidade de contatos estabelecidos com cada vizinho direto dentro de uma janela de tempo limitada por $Tjanela_max_base$ e, ao final de cada janela de tempo, a quantidade de contatos entre cada par de vizinhos diretos foi armazenada e estabelecida uma nova janela de tempo, cuja marcação inicial foi deslocada em $Tjanela_ini_base$ unidades de tempo. Ao final de cada simulação foi calculada a mediana da quantidade de contatos entre pares distintos de vizinhos diretos dentro da janela de tempo firmada por $Tjanela_max_base$, e, ao final de todas as simulações, a mediana dos valores calculados a partir de cada simulação deu origem a $Qtde_contato = 3$.

A determinação das constantes $Tjanela_ini_base$ e $Tjanela_max_base$, utilizadas no processo de janela deslizante, foi baseada em simulações envolvendo os mesmos cenários. O valor de $Tjanela_ini_base$ foi obtido a partir do cálculo da mediana do intervalo de tempo entre contatos de cada par de nós. Já o valor de $Tjanela_max_base$ foi calculado pela mediana dos maiores intervalos de tempo entre contatos de cada par de nós. Para o cômputo dos valores de $Tjanela_ini_base$ e de $Tjanela_max_base$ foram descartadas as medições provenientes de pares que tenham se encontrado apenas duas vezes com a finalidade de limitar o peso de distorções na estimativa dos referidos valores, resultando em $Tjanela_ini_base = 635,5 s$ e $Tjanela_max_base = 2.221,0 s$. A opção pela mediana ao invés da média justifica-se pelo fato de a mediana ser menos sensível à presença de valores descritos como *outliers*, ou seja, valores muito grandes ou muito pequenos se comparados aos demais valores observados.

Em função da natureza adaptativa dos componentes propostos, é imperativo formular equações que possibilitem que o processo de janela deslizante reflita o dinamismo dos contextos de DTNs. Dessa forma, toda vez que um nó identifica tanto o estabelecimento quanto a perda de contato com um vizinho, o instante de ocorrência do evento e a identificação do vizinho são registrados em um repositório para armazenamento de contatos. Portanto, desde que haja um contato anterior, a duração do intervalo entre o início do contato corrente e o fim do contato anterior é calculada, possibilitando que o mais longo intervalo entre contatos de cada vizinho direto seja armazenando no campo $Tjanela_max_idx$ da tabela de roteamento.

Ademais, as variáveis $Tjanela_max$ e $Tjanela_ini$, calculadas através das Equações 1 e 2, passam a refletir, de forma dinâmica, as constantes $Tjanela_ini_base$ e $Tjanela_max_base$. Para o cálculo das referidas equações, considera-se que a variável $M_d_Tjanela_max$ exibe a mediana dos valores do campo $Tjanela_max_idx$ de todas as entradas na tabela de roteamento, e que a variável $M_d_Tjanela_ini$ denota a mediana do intervalo entre contatos de cada par de nós obtida a partir de informações do repositório para armazenamento de contatos. Cabe evidenciar que as variáveis $Tjanela_max$ e $Tjanela_ini$ são inicializadas, respectivamente, com o valor das constantes $Tjanela_max_base$ e $Tjanela_ini_base$, e que, durante o processo de cálculo da

variável $Tjanela_ini$, os registros presentes no repositório para armazenamento de contatos, cujo contato inicial seja anterior a $(TS - Tjanela_max)$, são excluídos. Cabe ainda destacar que TS representa o tempo atual.

$$Tjanela_max = \left(\frac{Tjanela_max + M_d Tjanela_max}{2} \right) \quad (1)$$

$$Tjanela_ini = \left(\frac{Tjanela_ini + M_d Tjanela_ini}{2} \right) \quad (2)$$

A partir do momento em que n_a identifica que o contato com n_b é considerado perdido, entra em ação o processo de estimativa de contato com o objetivo de computar $Qcontato_{(a,b)}$, que representa a quantidade de contatos entre n_a e n_b dentro da janela de tempo estabelecida por $Tjanela_max$, e de verificar se a expressão $Qcontato_{(a,b)} \geq Qtde_contato$ é verdadeira. Caso a expressão seja verdadeira, a quantidade de amostras é considerada válida, possibilitando uma análise qualitativa das amostras através do cálculo da média ($\bar{x}_{int_contato_{(a,b)}}$) e do desvio padrão ($\sigma_{int_contato_{(a,b)}}$) dos intervalos entre contatos. O terceiro e último passo para o cálculo da estimativa de contato requer que $\sigma_{int_contato_{(a,b)}} < \frac{\bar{x}_{int_contato_{(a,b)}}}{2}$, proporcionando o cálculo dos valores para $Incrementa_idx_{(a,b)}$ e $Estima_Contato_{(a,b)}$ conforme ilustram, respectivamente, as Equações 3 e 4.

$$Incrementa_idx_{(a,b)} = TS + \left(\frac{\bar{x}_{int_contato_{(a,b)}}}{2} \right) \sigma_{int_contato_{(a,b)}} \quad (3)$$

$$Estima_contato_{(a,b)} = TS + \bar{x}_{int_contato_{(a,b)}} \quad (4)$$

Caso todos os requisitos para o processo de estimativa de contato tenham sido contemplados, o índice de roteamento de n_a para n_b será envelhecido/incrementado conforme o algoritmo do próprio protocolo de roteamento e baseado nas seguintes condições:

- de TS até $Incrementa_idx_{(a,b)}$ - o índice de roteamento será envelhecido;
- de $Incrementa_idx_{(a,b)}$ até $Estima_contato_{(a,b)}$ - o índice de roteamento será incrementado;

Quando o contato entre os nós n_a e n_b for restabelecido, o índice de roteamento voltará a ser incrementado. Entretanto, caso o contato não seja restabelecido até o instante previsto por $Estima_contato_{(a,b)}$, o índice de roteamento voltará ser envelhecido. É importante salientar que, se a expressão $Qcontato_{(a,b)} \geq Qtde_contato$ for falsa ou se a expressão $\sigma_{int_contato_{(a,b)}} < \frac{\bar{x}_{int_contato_{(a,b)}}}{2}$ for falsa, as amostras serão consideradas inapropriadas para a execução do processo de estimativa de contatos. A Figura 1 ilustra um cenário hipotético, que retrata as seguintes informações: os contatos ocorridos entre os nós n_a e n_b , através dos retângulos hachurados; o momento em que n_a identificou a perda do contato com n_b , através de TS ; o período para a análise das amostras quantitativa e qualitativa dos contatos anteriores, delimitado por $Tjanela_Max$; o período em que a métrica de roteamento será decrementada, indicada pela área avermelhada; e o período em que a métrica de roteamento será incrementada, definida pela área azulada.

3. Componente Adaptativo Modo de Disseminação Epidêmica

Como o uso indiscriminado da disseminação epidêmica de mensagens pode impactar negativamente no desempenho de uma rede, torna-se imprescindível uma análise das particularidades do contexto visando determinar as restrições para o emprego desse modo de

disseminação. Logo, o componente Modo de Disseminação Epidêmica avalia, através dos atributos densidade e percentual de ocupação da capacidade de armazenamento, se o contexto encontra-se adequado para a disseminação epidêmica e, em caso afirmativo, calcula dinamicamente a duração máxima de permanência no modo de disseminação epidêmica e estabelece restrições ao processo de seleção de mensagens para o envio epidêmico. As Subseções 3.1, 3.2 e 3.3 descrevem, respectivamente, o cálculo do grau de densidade da rede, a estimativa do percentual de ocupação e as regras para a disseminação epidêmica.

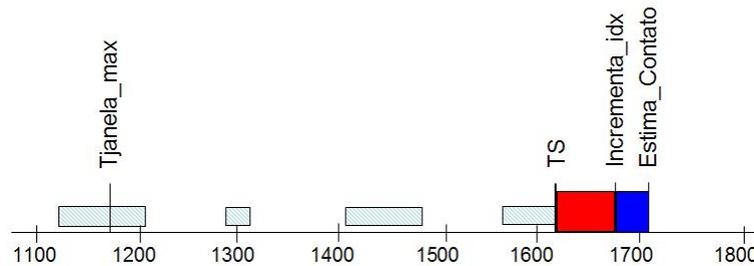


Figura 1. Aplicação do processo de estimativa de contato

3.1. Determinação do Grau de Densidade

A determinação do grau de densidade de uma rede demanda a troca de mensagens de controle por todos os nós da rede ou, pelo menos, por uma parcela significativa. Analisando sob a ótica das DTNs, o resultado seria, na maioria das vezes, incoerente, pois uma das características principais das DTNs é a ocorrência frequente de particionamentos que causa a formação de regiões desconexas. Além disso, para a manutenção do grau de densidade seria necessário o envio constante de informações de controle, o que acarretaria em um uso inadequado de recursos que tendem a ser escassos. Portanto, a adoção de uma abordagem local é a mais recomendada para DTNs.

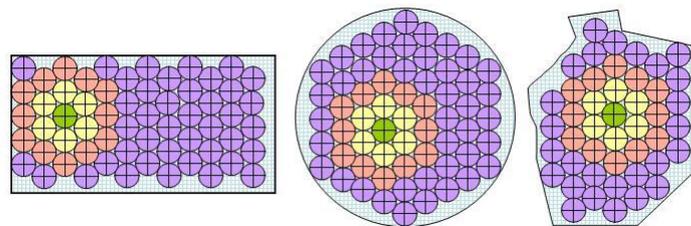


Figura 2. Vizinhos diretos e indiretos não sobrepostos e adjacentes em uma rede

Por conseguinte, é plausível tecer a seguinte ponderação: associar o valor 1,0 ao grau de densidade, considerando que a soma da área de alcance de todos os nós não sobrepostos da rede, distribuídos de forma adjacente e visando reduzir áreas sem cobertura, equivale à área total de atuação da rede, e, como método de aproximação, descartar as áreas não contempladas pelo raio de alcance dos nós, conforme ilustra a Figura 2.

A partir dessa ponderação é factível inferir uma heurística que estabeleça que o grau de densidade de uma rede pode ser estimado por um nó a partir da determinação da quantidade de vizinhos diretos e de vizinhos indiretos² com dois saltos. Ou seja, com base na Figura 2, é aceitável observar que, em uma rede com grau de densidade igual a um, o número de vizinhos diretos de um nó é igual a seis e o número de vizinhos indiretos

²Representa, sobre a ótica de um determinado nó identificado por n_a , um nó qualquer n_b que não esteja dentro do raio de alcance de n_a

com dois saltos é igual a doze. Objetivando destacar a funcionalidade dos nós no cálculo da densidade através da Figura 2, cada grupo foi colorido de forma diferenciada: o nó que efetua o cálculo foi preenchido de verde, os vizinhos diretos de amarelo, os vizinhos indiretos com dois saltos de rosa e os vizinhos indiretos com mais de dois saltos de lilás.

Logo, caso um nó apresente um total de dezoito vizinhos, considerando os vizinhos diretos e os vizinhos indiretos com dois saltos, esse nó pode deduzir que a rede ao seu redor possui grau de densidade igual a um. Caso esse total seja igual a nove, a dedução baseada na mesma heurística conduziria a um grau de densidade igual a meio. Da mesma forma, se a quantidade de vizinhos diretos e indiretos com dois saltos totalizasse quarenta e cinco, o grau de densidade seria dois e meio.

Como $Qtde_vizinho_densidade_a$ representa a quantidade de registros na tabela de roteamento que atende à restrição $Qtde_de_Saltos \leq 2$ e como $Densidade_viz_a$ representa a média da densidade apurada pelos vizinhos diretos, é possível observar, através das Equações 5, 6 e 7, o processo de cálculo de $Densidade_idx_a$.

$$Densidade_local_a = \frac{Qtde_vizinho_densidade_a}{Densidade_base}, \quad (5)$$

$$Densidade_viz_a = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^v Densidade_local_i}{v} \right\}, \quad (6)$$

$$Densidade_idx_a = \left(\frac{densidade_local_a + Densidade_viz_a}{2} \right) \quad (7)$$

onde $Densidade_base$ representa o valor base associado a uma rede teórica (18) e v representa os vizinhos diretos de n_a .

3.2. Estimativa do Percentual de Ocupação da Capacidade de Armazenamento

O conhecimento da disponibilidade da capacidade de armazenamento de nós vizinhos diretos possibilita uma melhor percepção do potencial desses nós para execução da tarefa de encaminhamento de mensagens. Ademais, considerar o histórico de descartes de um nó vizinho direto, por um determinado período de observação, pode ser fundamental para que as mensagens transmitidas sejam encaminhadas aos seus respectivos destinatários com sucesso e com a possibilidade de descarte reduzida.

Como a precisão na determinação do período de observação é imprescindível para o êxito da solução, esse valor, representado por $Tjanela_a$ para um nó n_a , será obtido de forma dinâmica, possibilitando um retrato fidedigno da realidade de cada nó. Conforme ilustra a Equação 8, $Tjanela_a$ representa a média do intervalo de tempo decorrido entre o fim do último contato e o início do contato atual de cada vizinho direto de n_a .

$$Tjanela_a = \frac{\sum_{i=1}^v Tjanela_{(a,i)}}{v}, \quad (8)$$

onde v denota a quantidade de vizinhos diretos de n_a , e $Tjanela_{(a,i)}$ representa o intervalo de tempo decorrido entre o final do último contato e o início do contato atual dos vizinhos diretos n_a e n_i .

Em função do valor apurado por $Tjanela_a$ serão computados todos os descartes ocorridos do instante de cálculo (TS) até o instante determinado por $TS - Tjanela_a$. O valor computado é armazenado na variável $Descartes_a$, possibilitando o cálculo da variável $Perc_Estima_Ocup_a$, conforme apresenta a Equação 9. Cabe ressaltar que, ao

ocorrer um contato, os nós trocam o valor da variável $Perc_Estima_Ocup_a$, visando inferir se o contexto encontra-se apropriado ou não para o envio de mensagens através do componente Modo de Disseminação Epidêmica.

$$Perc_Estima_Ocup_a = \left(\frac{Descartes_a \times 100}{TAM_ARMAZENA} \right) + Perc_Armazena_a, \quad (9)$$

onde $TAM_ARMAZENA$ representa a capacidade de armazenamento de n_a em octetos e $Perc_Armazena_a$ traduz o percentual real de ocupação da área de armazenamento.

3.3. Regras para o Modo Epidêmico

Durante o processo de análise global das restrições, a variável $fase$, utilizada com o objetivo de restringir a ação do modo de disseminação epidêmica, é computada em função da mediana dos valores do campo $Perc_Estima_Ocup$ de seus vizinhos diretos. Caso $fase \geq 100$, o componente Modo de Disseminação Epidêmica é encerrado.

Para o processo de análise local das restrições, os atributos densidade ($Densidade_idx$) e estimativa do percentual de ocupação ($Perc_Estima_Ocup$) foram selecionados com o intuito de influenciar a duração da disseminação epidêmica, representada pela variável $Tperdura_ep$, e o intervalo de tempo mínimo para que uma mensagem possa ser retransmitida de forma epidêmica, representado por $Tlimita_ep$. As Equações 10 e 11 demonstram o cálculo das variáveis $Tperdura_ep$ e $Tlimita_ep$.

$$Tperdura_ep = TS + \left(\frac{Tjanela_max}{Densidade_idx} \right) \times \left(\frac{100}{fase} \right) \quad (10)$$

$$Tlimita_ep = TS - \min\left(TS, \left(\frac{Tjanela_max}{Densidade_idx} \times \left(1 - \frac{fase}{100} \right) \right)\right) \quad (11)$$

É razoável salientar que quanto menores forem os valores associados às variáveis $Densidade_idx$ e $fase$, maior será a duração do modo de disseminação epidêmica e menor será a restrição para o reenvio de mensagens. Em outras palavras, contextos esparsos e com espaço disponível na capacidade de armazenamento favorecem o uso frequente do modo de disseminação epidêmica, ao contrário de contextos densos e com plena ocupação da capacidade de armazenamento.

Visto que durante o modo de disseminação epidêmica os nós enviam suas mensagens para todos os vizinhos diretos, sempre haverá a possibilidade de ocorrer um congestionamento na rede, tal qual uma quantidade expressiva de descartes. Logo, o processo de seleção de mensagens classifica como elegíveis as mensagens que não foram recebidas sob custódia³, as que foram disseminadas através do modo epidêmico há mais de $Tlimita_ep$ unidades de tempo e as que apresentam $Tempo_de_Vida > 1$. O processo de escalonamento para o modo de disseminação epidêmica age baseado em informações locais, ordenando as mensagens elegíveis de forma crescente em função da quantidade de réplicas efetuadas pelo nó.

Além disso, com o intuito de evitar o descarte das mensagens presentes na área de armazenamento, as mensagens encaminhadas de forma epidêmica somente serão armazenadas pelos vizinhos diretos se a estimativa do percentual de ocupação da capacidade de armazenamento ($Perc_Estima_Ocup$) estiver abaixo de 100% e se a mensagem puder ser armazenada sem a necessidade de descarte ($Perc_Armazena < 100$).

³Na transferência de custódia a mensagem é efetivamente transmitida para um vizinho direto, ficando o transmissor sem uma cópia da mensagem.

4. Avaliação dos Componentes Adaptativos

Para que o processo de avaliação possa ser considerado justo, foram selecionados quatro cenários, com contatos dos tipos previsível e oportunista, cujos registros de movimento foram extraídos de experimentos reais. Posto isto, os componentes adaptativos Estimativa de Contato e Modo de Disseminação Epidêmica foram analisados em função do desempenho das métricas mensagens entregues, atraso médio e em função das oscilações de desempenho decorrentes das mudanças de características dos contextos.

A Seção 4 encontra-se organizada da seguinte forma: a Subseção 4.1 apresenta características dos cenários; a Subseção 4.2 descreve o ambiente em que foram produzidos os resultados; a Subseção 4.3 analisa o desempenho dos componentes adaptativos Estimativa de Contato (EC) e Modo de Disseminação Epidêmica (MDE); e, por fim, a Subseção 4.4 avalia a eficiência dos componentes adaptativos.

4.1. Características dos Cenários

Os registros de movimento foram extraídos de quatro experimentos reais, provenientes dos cenários descritos a seguir.

O Dartmouth College instalou mais de 500 pontos de acesso registrando a associação e desassociação de dispositivos móveis sem fio [Kotz et al. 2004]. Os registros foram manipulados com o objetivo de simular uma rede *ad hoc* e de determinar um cenário restrito, criando-se dois cenários distintos com 50 e 100 nós.

Os registros de movimento do cenário identificado por UMass DieselNet [Banerjee et al. 2008] foram extraídos de um experimento real que descreve, basicamente, conexões *ad hoc* entre ônibus e entre ônibus e estações fixas. Com o intuito de limitar as conexões no cenário, foram extraídos apenas os registros de conexões entre ônibus, sendo descartados os registros de conexões entre ônibus e estações fixas.

Durante o congresso Infocom 2006, Scott *et al.* [Scott et al. 2009] realizaram um experimento cujo objetivo era rastrear a ocorrência de contatos entre dispositivos móveis. O experimento fez uso de dispositivos de comunicação, identificados por *iMotes*, sendo 17 dispositivos fixos, 3 dispositivos instalados em elevadores e os demais dispositivos foram distribuídos para os participantes do congresso.

O projeto Princeton ZebraNet resultou em experimentos reais [Wang et al. 2007] que foram implementados com a finalidade de monitorar o comportamento de zebras. Os animais receberam colares equipados com sensores sem fio que possibilitavam a coleta, o armazenamento e o envio de informações para outras zebras e para uma estação base.

4.2. Ambiente de Simulação

O oráculo do pleno conhecimento [Jain et al. 2004] e os componentes adaptativos Estimativa de Contato e Modo de Disseminação Epidêmica foram implementados no simulador utilizado em [Oliveira 2011, Oliveira et al. 2011, Oliveira and Albuquerque 2009]. A metodologia de avaliação adotada, normalizando-se o desempenho dos componentes implementados em função dos resultados apurados pelo oráculo do pleno conhecimento, impede que haja conclusões incoerentes e ainda permite quantificar, em termos reais, o ganho obtido em função do uso dos componentes adaptativos.

Devido à relevância e à influência do desempenho do oráculo do pleno conhecimento nos resultados apresentados, torna-se imprescindível a compreensão do seu modo de operação. A implementação do oráculo do pleno conhecimento possibilita a todos os

nós uma visão virtual da topologia atual e futura da rede, permitindo que as mensagens encaminhadas para os respectivos destinatários sejam entregues norteadas pelo menor atraso possível. Logo, o oráculo do pleno conhecimento conhece a demanda atual e futura da rede, assim como quando as mensagens serão geradas pelos nós de origem, além de outras informações. Com o objetivo de otimizar métricas como mensagens entregues, atraso etc., o oráculo do pleno conhecimento também faz uso do conhecimento da disponibilidade da capacidade de armazenamento dos nós da rede para decidir se uma determinada mensagem deve ser encaminhada ou não, evitando, dessa forma, a ocorrência de descartes e retransmissões.

Tabela 1. Desempenho do oráculo do pleno conhecimento

Cenário			Mensagens Entregues	Atraso (s)	Descartes	
Dartmouth	8 h	50 nós	Raio 100 m	125,80	70,57	0
		100 nós	Raio 100 m	206,40	47,57	0
DieselNet	14 dias	16 nós	Raio 100 m	821,00	904,96	0
		33 nós	Raio 100 m	650,80	1.143,83	0
iMotes	4 dias	50 nós	Raio 30/100 m	859,80	632,69	0
		98 nós	Raio 30/100 m	817,80	364,28	0
ZebraNet	45 min	30 nós	Raio 150 m	867,60	353,86	0
			Raio 250 m	1000,00	36,25	0
		40 nós	Raio 150 m	1000,00	214,65	0
			Raio 250 m	1000,00	3,28	0

Para cada cenário apresentado na Seção 4.1 e presente na Tabela 1, foram gerados cinco arquivos de tráfego distintos com 1.000 mensagens cada um. Já o tamanho da mensagem foi fixado em 10 Kbytes, e os endereços de origem e destino foram escolhidos de forma aleatória. A partir dos arquivos de movimento dos cenários descritos, foram realizadas simulações envolvendo os componentes adaptativos com os cinco arquivos de tráfego. Consequentemente, os valores exibidos na Subseção 4.3, assim como na Tabela 1, resultam da média dos cinco arquivos de tráfego, permitindo o cômputo do intervalo de confiança, cujo nível de confiança foi estipulado em 95%. Com o objetivo de tornar os cenários ainda mais restritos, a capacidade de armazenamento dos nós foi limitada a 10%, 25%, 50% e 100% dos arquivos de tráfego e encontram-se simbolizadas nas figuras por B10%, B25%, B50% e B100%, respectivamente. Já a velocidade de comunicação foi mantida em 1 Mbps, totalizando 240 cenários distintos. Cabe ressaltar que alguns cenários foram omitidos das figuras por não apresentarem resultados relevantes.

4.3. Avaliação dos Resultados

O desempenho do oráculo do pleno conhecimento em relação às métricas quantidade de mensagens entregues e atraso, exibido na Tabela 1, ratifica a diversidade de características e restrições dos cenários selecionados, comprovando a existência dos requisitos essenciais para que o processo de avaliação seja considerado adequado. Em relação à métrica mensagens entregues, o pior desempenho foi observado no cenário Dartmouth, com uma média de 150,80 mensagens entregues, e o melhor desempenho no cenário ZebraNet, com uma média de 1.000 mensagens, ou seja, todas as mensagens foram entregues. Em relação à métrica atraso é possível observar oscilações semelhantes, corroborando a diversidade das características dos cenários utilizados nas simulações. É factível afirmar que a formação de regiões desconexas foi responsável pela impossibilidade de alcançar o destinatário para todas as mensagens não entregues em função da inexistência de descartes.

As Subseções 4.3.1 e 4.3.2 analisam o desempenho dos componentes adaptativos Estimativa de Contato (EC) e Modo de Disseminação Epidêmica (MDE).

4.3.1. Componente Adaptativo Estimativa de Contato (EC)

Os protocolos PROPHET [Lindgren et al. 2011] e CARTOON [Oliveira 2011] foram selecionados para a avaliação do componente Estimativa de Contato (EC). O protocolo PROPHET foi selecionado em função do desempenho apresentado em [Oliveira et al. 2011] e pelo fato do referido protocolo apresentar um desempenho sistematicamente inferior aos principais protocolos de roteamento para DTNs [Balasubramanian et al. 2010, Oliveira and Albuquerque 2009, Musolesi and Mascolo 2009]. Portanto, uma versão do protocolo PROPHET, acrescida do componente Estimativa de Contato (EC) e intitulada PROPHET+EC, foi implementada no simulador. Já o protocolo CARTOON foi selecionado em função de ter sido proposto como um protocolo de roteamento adaptativo. De forma similar, foram implementadas no simulador duas versões do protocolo CARTOON: na versão referenciada como PURE, todos os componentes adaptativos foram retirados; e, na versão referenciada por PURE+EC, foi acrescentado à versão PURE o componente EC.

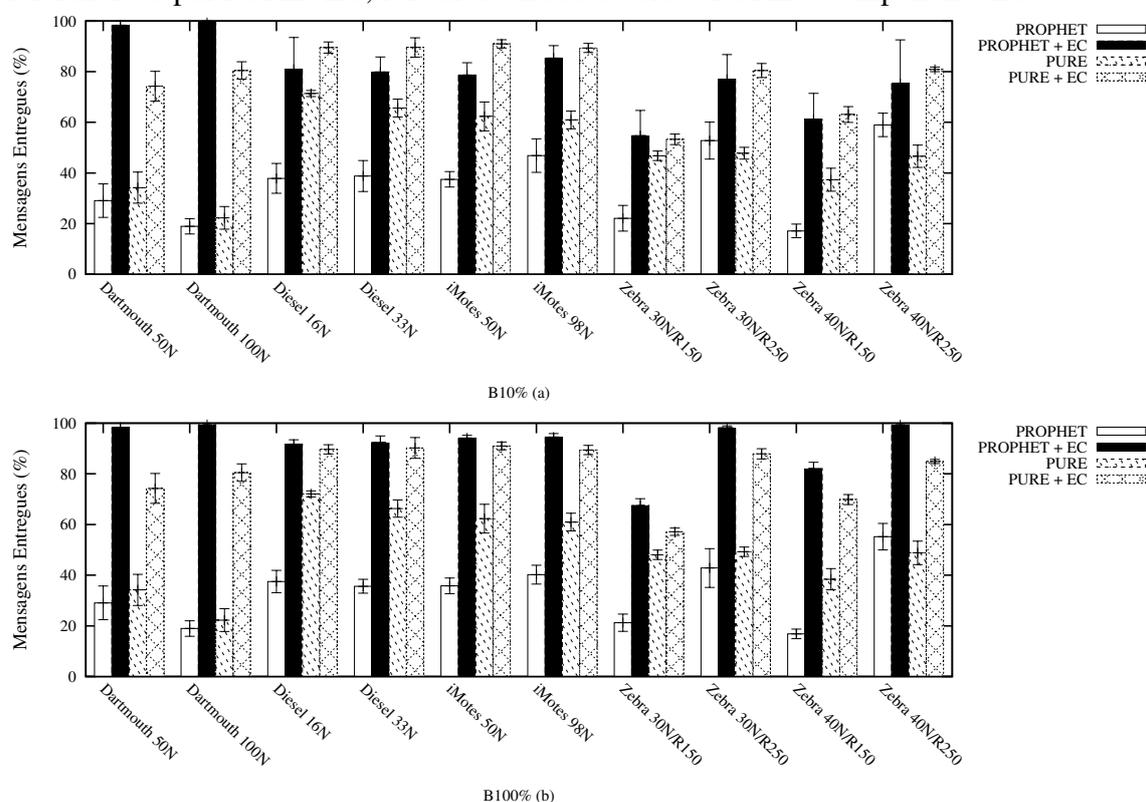


Figura 3. Componente Estimativa de Contato (EC) - mensagens entregues

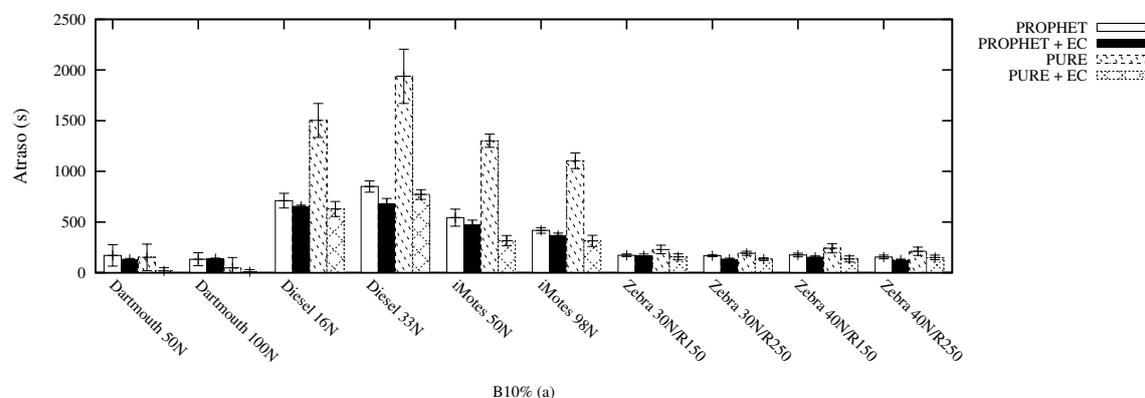
A Figura 3 evidencia o desempenho expressivo do componente EC em relação à métrica mensagens entregues, representado pela diferença entre o protocolo PROPHET e a versão PROPHET+EC e também pela diferença entre as versões PURE e PURE+EC do protocolo CARTOON.

A Tabela 2 apresenta, em termos percentuais, o menor e o maior incremento obtidos em função da adoção do componente EC para a métrica mensagens entregues. No caso do cenário Dartmouth, a adição do componente EC ao protocolo PROPHET (PROPHET+EC) registrou um desempenho superior ao protocolo PROPHET em até 425,06%. No caso do protocolo CARTOON, o desempenho máximo obtido pela versão com o componente EC (PURE+EC) alcançou 261,64%.

Tabela 2. Componente Estimativa de Contato (EC) - mensagens entregues

	Dartmouth		DieselNet		iMotes		ZebraNet	
	Menor	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior
PROPHET+EC	238,44%	425,06%	106,06%	159,58%	82,27%	162,90%	27,60%	387,53%
PURE+EC	117,12%	261,64%	24,34%	36,43%	45,94%	46,69%	13,88%	81,92%

A vantagem do emprego do componente EC também pode ser confirmada através Figura 4, que ilustra a métrica atraso médio. Mesmo tendo as versões PROPHET+EC e PURE+EC apresentado, em relação à métrica mensagens entregues, um desempenho médio superior equivalente a 189,50% e 133,67%, respectivamente, o atraso médio registrado pelas versões com o componente EC foi, em termos globais, 33,29% inferior. No caso da versão PROPHET+EC, o atraso médio foi 11,80% inferior e, no caso da versão PURE+EC, o atraso médio foi 54,79% inferior.

**Figura 4. Componente Estimativa de Contato (EC) - atraso médio**

4.3.2. Componente Adaptativo Modo de Disseminação Epidêmica (MDE)

Como a natureza do protocolo PROPHET é o envio probabilístico, o componente adaptativo Modo de Disseminação Epidêmica (MDE) foi implementado apenas no protocolo CARTOON. Logo, o desempenho do componente MDE em função da métrica mensagens entregues encontra-se representado, na Figura 5(a), pela diferença entre o desempenho da versão CARTOON-MDE, que representa o protocolo CARTOON sem o componente MDE, e o desempenho do protocolo CARTOON.

O componente MDE promoveu um incremento médio de 17,34% em relação à métrica mensagens entregues. O melhor desempenho foi registrado no cenário ZebraNet com 40 nós e raio de alcance de 150 metros, obtendo um incremento de 37,49%. O componente MDE também foi responsável por reduzir, em termos globais, o atraso médio em 33,11%, atingindo, no cenário ZebraNet com 40 nós e raio de alcance de 250 metros, uma redução de 93,75%. A Figura 5(b) ilustra o desempenho da versão CARTOON-MDE e do protocolo CARTOON em relação à métrica atraso médio. Cabe ressaltar que a diferença no desempenho representa a ação do componente MDE.

4.4. Análise da Adaptação ao Contexto

Torna-se imprescindível realizar um estudo das oscilações do desempenho da métrica mensagens entregues objetivando verificar o grau de eficiência dos componentes EC e MDE em relação ao processo de adaptação ao contexto. A medida de variância adotada

para mensurar essas oscilações foi o desvio padrão, em função dessa medida representar a dispersão dos valores de uma distribuição normal em relação à sua média. Logo, quanto menor o desvio padrão, menor a variância, ou seja, maior a eficiência do componente adaptativo perante as oscilações. A Tabela 3 apresenta o percentual do desvio padrão em função da média da métrica mensagens entregues para os componentes EC e MDE, corroborando a eficiência dos componentes. As oscilações mínimas observadas demonstram que os componentes foram capazes de adaptar-se uniformemente ao contexto, apesar das particularidades dos diversos contextos formados ao longo de cada cenário e das variações na densidade e na capacidade de armazenamento impostas nas simulações.

Tabela 3. Percentual do desvio padrão em relação à média da métrica mensagens entregues

Componente	Global	Dartmouth	DieselNet	iMotes	ZebraNet
PROPHET+EC	7,87%	0,85%	6,23%	6,15%	18,22%
PURE+EC	6,24%	4,99%	1,67%	1,25%	17,05%
PURE+EC+MDE (CARTOON)	4,67%	1,89%	1,27%	0,32%	15,19%

Embora a eficiência dos componentes EC e MDE tenha sido comprovada, para efeito de avaliação da proposta é fundamental ainda a avaliação da acuidade dos referidos componentes. Essa avaliação, considerando os valores médios de cada cenário, encontra-se detalhada na Tabela 4. O componente EC demonstrou um desempenho significativo, pois, dentre as estimativas realizadas, o percentual de acerto em termos globais foi de 38,99%. Em relação ao total global de mensagens transmitidas pelo componente MDE, apenas 6,22% alcançaram, em algum momento, o destinatário. Essa constatação ratifica a necessidade de controlar o uso da disseminação epidêmica.

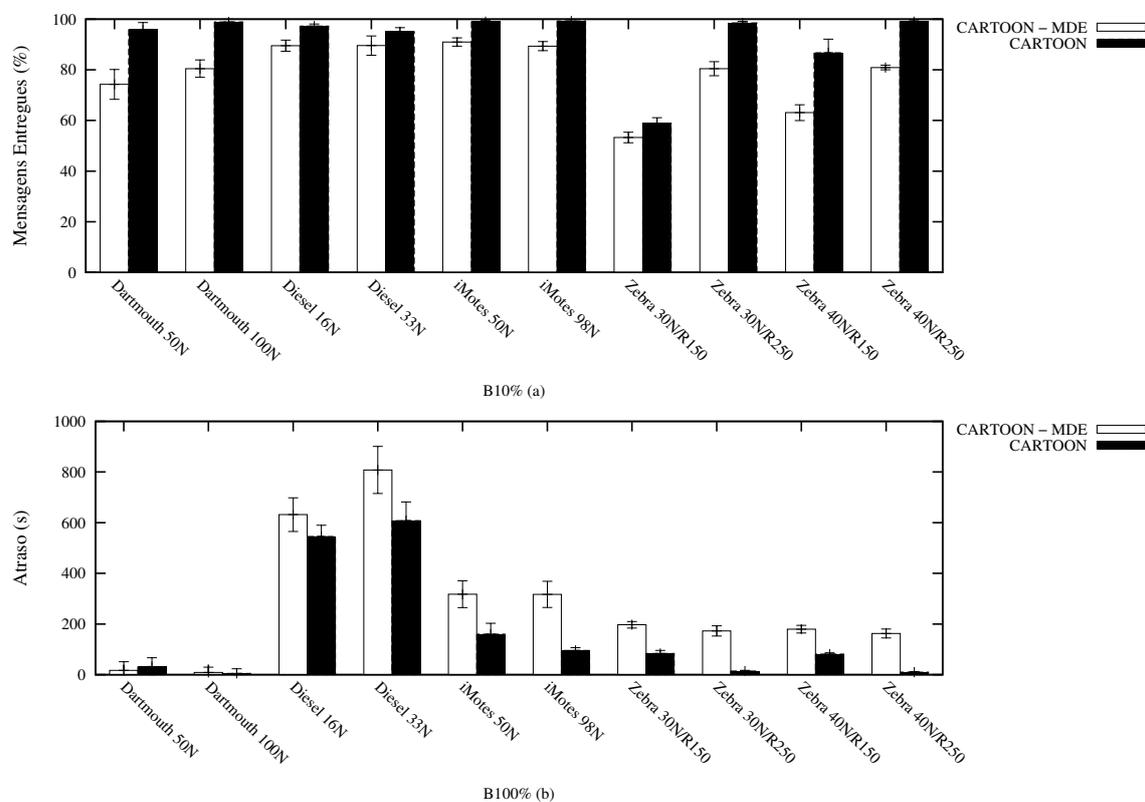
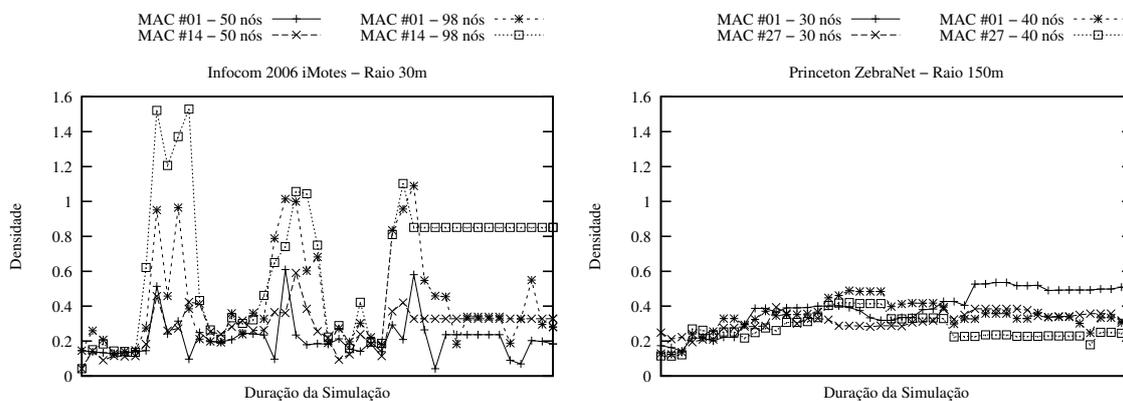


Figura 5. Componente Modo de Disseminação Epidêmica (MDE) - mensagens entregues e atraso médio

Tabela 4. Avaliação da acuidade dos componentes Estimativa de Contato (EC) e Modo de Disseminação Epidêmica (MDE)

Componente	Métrica	Global	Dartmouth	DieselNet	iMotes	ZebraNet
(EC)	Contatos Estimados	82.276,0	25.877,6	1.680,3	53.159,6	1.558,5
	Contatos Concretizados	32.081,2	13.600,8	783,5	17.264,4	432,5
	Percentual de Acerto	38,99%	52,55%	46,62%	32,47%	27,75%
(MDE)	% de Mensagens Entregues	6,22%	3,59%	14,13%	3,45%	5,23%

Os componentes adaptativos EC e MDE dependem de diversas variáveis que são atualizadas dinamicamente com o objetivo de refletir as particularidades dos contextos observados. Entre essas variáveis encontram-se a Densidade, a Estimativa de Ocupação, as Janelas Deslizantes T_{janela_max} e T_{janela_ini} , entre outras. Com o intuito de comprovar o impacto do processo de adaptação, a Figura 6 ilustra a evolução da variável Densidade, observada por dois nós selecionados de forma aleatória em alguns cenários. O valores apresentados corroboram a afirmativa que cada nó possui uma visão diferenciada da rede e que as observações devem, necessariamente, ser realizadas de forma local.

**Figura 6. Evolução da variável Densidade**

O desempenho diferenciado proveniente dos componentes adaptativos EC e MDE requer uma complexidade computacional cujo impacto foi computado através do comando *time*, presente em distribuições do sistema operacional Linux, visando mensurar o consumo de recursos do processador. Os valores apurados representaram, em média, um consumo 188,21% superior ao consumo das versões sem os referidos componentes.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresenta a proposta de dois componentes adaptativos identificados por Estimativa de Contato (EC) e Modo de Disseminação Epidêmica (MDE). O componente EC visa prever o instante em que um contato poderá ser restabelecido entre um determinado par de nós e foi implementado nos protocolos PROPHET e CARTOON. Já o componente MDE, implementado no protocolo CARTOON, objetiva determinar se o contexto encontra-se propício à disseminação epidêmica de mensagens e, em caso afirmativo, estabelece um tempo limite e seleciona mensagens para a disseminação epidêmica.

O componente EC demonstrou um excelente desempenho, sendo responsável por incrementar, em média, a métrica mensagens entregues em 133,67%, alcançando, no cenário Dartmouth com o protocolo PROPHET, o limite de 425,06%. O componente EC foi responsável, ainda, por reduzir em 33,29% a métrica atraso médio e apresentou um percentual de acerto médio de 38,99% das estimativas realizadas. Já o componente MDE promoveu um incremento médio de 17,34% na métrica mensagens entregues

e uma redução média de 33,11% no atraso médio. Ademais, a eficiência da adaptação ao contexto dos componentes foi comprovada com uma oscilação mínima, atingindo uma variação de apenas 6,26% em relação à média da métrica mensagens entregues.

A avaliação dos referidos componentes em outros protocolos, tais como o protocolo RAPID [Balasubramanian et al. 2010], assim como a proposta de novos componentes adaptativos, consistem alternativas relevantes para trabalhos futuros.

Referências

- Balasubramanian, A., Levine, B. N., and Venkataramani, A. (2010). Replication Routing in DTNs: A Resource Allocation Approach. *IEEE/ACM TON*, 18:596–609.
- 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>.
- 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 International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pages 112–119. ACM.
- Jain, S., Fall, K., and Patra, R. (2004). Routing in a Delay Tolerant Network. In *Proceedings of the 2004 SIGCOMM*, pages 145–158.
- Kotz, D., Henderson, T., and Abyzov, I. (2004). CRAW-DAD trace dartmouth/campus/syslog/01_04 (v. 2004-12-18). http://crawdad.cs.dartmouth.edu/dartmouth/campus/syslog/01_04.
- Lindgren, A., Doria, A., Davies, E., and Grasic, S. (2011). Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Networks. RFC Draft, Internet Engineering Task Force.
- Musolesi, M. and Mascolo, C. (2009). CAR: Context-aware Adaptive Routing for Delay-Tolerant Mobile Networks. In *IEEE Transactions on Mobile Computing*, volume 8, pages 246–260. IEEE Computer Society.
- Nunes, C., Dotti, F., and Oliveira, J. (2010). APRP-Group: Roteamento para Redes DTN com Repasse Baseado em Agrupamento de Nós por Potencial de Entrega. In *SBRC10*.
- Oliveira, E. (2011). Roteamento Adaptativo a Contextos para Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões. Tese de Doutorado. Universidade Federal Fluminense.
- Oliveira, E. and Albuquerque, C. (2009). Análise do Protocolo NECTAR em Cenários com Mobilidade e Frequentes Interrupções. In *SBRC09*.
- Oliveira, E., Silva, E., and Albuquerque, C. (2011). Promovendo Adaptação a Contextos em DTNs. In *SBRC11*.
- Ramanathan, R., Hansen, R., Basu, P., Rosales-Hain, R., and Krishnan, R. (2007). Prioritized Epidemic Routing for Opportunistic Networks. In *MobiOpp '07: Proceedings of the 1st international MobiSys*, pages 62–66, New York, NY, USA. ACM Press.
- Scott, J., Gass, R., Crowcroft, J., Hui, P., Diot, C., and Chaintreau, A. (2009). CRAW-DAD trace cambridge/haggle/imote/infocom2006 (v. 2009-05-29). Downloaded from <http://crawdad.cs.dartmouth.edu/cambridge/haggle/imote/infocom2006>.
- Wang, Y., Zhang, P., Liu, T., Sadler, C., and Martonosi, M. (2007). CRAW-DAD trace princeton/zebranet/movement/baseoutut1 (v. 2007-02-14). Downloaded from <http://crawdad.cs.dartmouth.edu/princeton/zebranet/movement/baseoutUTM1>.