

LPS e LRF: Políticas de Gerenciamento de *Buffer* Eficientes para Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

Juliano F. Naves, Igor M. Moraes, Célio Vinicius N. de Albuquerque

¹Laboratório MídiaCom, PGC-TCC / Instituto de Computação
Universidade Federal Fluminense

{jfisher,igor,celio}@ic.uff.br

Resumo. Em redes tolerantes a atrasos e desconexões a taxa de entrega de mensagens é influenciada pela política de gerenciamento de buffer adotada, uma vez que o transbordamento dos buffers dos nós é um fato comum. Este trabalho propõe duas novas políticas de gerenciamento de buffer. A primeira, denominada LPS (Less Probable Sprayed) utiliza a probabilidade de entrega e uma estimativa da quantidade de réplicas já disseminadas na rede para decidir qual mensagem será descartada. A última, nomeada LRF (Least Recently Forwarded), descarta a mensagem que foi encaminhada há mais tempo, pois o não encaminhamento de uma mensagem por um dado período de tempo pode indicar que ela já atingiu vários dos possíveis próximos saltos. As propostas são implementadas e comparadas com algumas das principais políticas da literatura. São utilizados cenários baseados em registros de três redes reais e verifica-se que as políticas LPS e LRF proporcionam taxas de entrega de mensagens superiores em até 75% e 37%, respectivamente, à taxa da política de segundo melhor desempenho, com uma menor sobrecarga.

Abstract. In Delay/Disruption Tolerant Networks (DTNs) the message delivery rate is influenced by the buffer management policy adopted because the overflow of nodes' buffers is common. This paper proposes two new management buffer policies. The first one, called LPS (Less Probable Sprayed) uses delivery probability and an estimate of the number of replicas already disseminated to decide which message to drop. The second one, named LRF (Least Recently Forwarded) drops the least recently forwarded message because a message left unforwarded over a certain period of time may indicate that it has reached several possible next hops. The proposals are implemented and compared with some of the main policies of the literature. Scenarios based on traces of three real networks are used and it is observed that LPS and LRF policies provide higher delivery rates up to 75% and 37% respectively, than the rate of the second best policy, with less overhead.

1. Introdução

Na arquitetura TCP/IP, para que haja comunicação entre um par de nós, assume-se que sempre existe um caminho fim-a-fim entre a origem e o destino de uma mensagem. Essa suposição, no entanto, pode não ser apropriada para modelos existentes de redes sem-fio, as quais se caracterizam pela grande variação das condições do meio de

transmissão e pela mobilidade dos nós. Essas características implicam em desconexões frequentes da rede, ou seja, um caminho fim-a-fim pode nem sempre estar disponível ou até mesmo não existir entre os nós de origem e destino. A utilização da arquitetura TCP/IP torna-se pouco eficiente para redes que sustentam essas características e, por isso, é necessário o desenvolvimento de uma nova arquitetura específica para essas redes, que são chamadas de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (*Delay/Disruption Tolerant Networks - DTN*) [Fall 2003, Oliveira et al. 2007].

As redes DTN, são baseadas no paradigma armazena-carrega-e-encaminha (*store-carry-and-forward paradigm*). Nesse paradigma os nós da rede são dotados de *buffers* e podem armazenar persistentemente uma mensagem, caso não haja um caminho fim-a-fim entre origem e destino, até que uma oportunidade de encaminhamento apropriada surja. Em muitos cenários, a movimentação futura dos nós e os contatos entre eles são conhecidos. As redes estocásticas têm comportamento aleatório ou desconhecido. Assim, cabe ao protocolo de roteamento decidir quando e para qual nó uma mensagem deve ser encaminhada quando há um contato entre dois nós. Vários protocolos de roteamento foram propostos para operarem em redes DTN. Um dos primeiros é o protocolo epidêmico [Vahdat e Becker 2000], no qual os nós enviam uma réplica da mensagem para todo nó na rede com que fazem contato. Dessa forma, muitas réplicas são disseminadas, o que pode exaurir rapidamente os recursos da rede, dependendo do número e do padrão dos contatos e da capacidade de armazenamento dos nós. Para aumentar a eficiência da rede, outros protocolos limitam a quantidade de réplicas na rede e em um caso extremo, o protocolo pode optar por manter somente uma réplica de cada mensagem na rede. De acordo com a quantidade de mensagens mantidas na rede, os protocolos de roteamento para DTNs podem ser divididos em protocolos de replicação, ou seja, para aqueles que mantêm mais de uma réplica da mensagem na rede, ou protocolos de encaminhamento, aqueles que mantêm apenas uma réplica da mensagem na rede [Balasubramanian et al. 2007].

A combinação do paradigma armazena-carrega-e-encaminha e a utilização de protocolos de replicação, pode levar em muitos cenários ao transbordamento do *buffer* dos nós. Portanto, é necessário implementar uma política de gerenciamento de *buffer*. Tais políticas definem qual mensagem deve ser descartada por um nó para que uma nova mensagem seja armazenada em seu *buffer*. Por conseguinte, no projeto de um protocolo de roteamento para redes DTN, a utilização de uma política de gerenciamento de *buffer* eficiente é necessária, visto que a política influencia no desempenho do protocolo.

Neste trabalho, duas novas políticas de gerenciamento de *buffer*, denominadas LRF (*Least Recently Forwarded*) e LPS (*Less Probable Sprayed*) são propostas. A primeira, descarta a mensagem que foi encaminhada há mais tempo, a fim de optar por mensagens amplamente disseminadas. A última, utiliza uma estimativa da quantidade de réplicas da mensagem que foram disseminadas na rede e o cálculo da probabilidade de encontro do nó de destino, efetuado pelo protocolo de roteamento, a fim de escolher mensagens com baixa probabilidade de chegarem ao destino. Para avaliar o desempenho das propostas, a taxa de entrega, a sobrecarga e o atraso de entrega das mensagens são comparados com algumas das principais políticas da literatura. Com o objetivo de analisar os resultados em cenários distintos, três diferentes registros reais de mobilidades e dois protocolos de roteamento são utilizados. Os resultados mostram que as políticas de gerenciamento de *buffer* LRF e LPS obtiveram taxas de entrega superiores em até 35%

e 75%, respectivamente, à política com segundo melhor desempenho. Além disso, em alguns casos, ambas as políticas propostas alcançaram taxas de entrega superiores com menor sobrecarga, transmitindo cerca de 90 mensagens a menos por mensagem entregue.

O restante desse trabalho é organizado como a seguir. Na Seção 2, os trabalhos relacionados são descritos. Na Seção 3, as políticas de gerenciamento de *buffer* propostas neste trabalho são apresentadas e suas características são expostas. Na Seção 4, o ambiente de avaliação das propostas é descrito, assim como os registros de mobilidade reais utilizados nas simulações. Os resultados da comparação das políticas propostas com outras políticas encontradas na literatura são discutidos na Seção 5. Por fim, as conclusões alcançadas no decorrer do trabalho e possíveis extensões são apresentadas na Seção 6.

2. Trabalhos Relacionados

Uma política de gerenciamento de *buffer* define qual mensagem descartar se o *buffer* de um nó está cheio quando uma nova mensagem deve ser armazenada. Existem várias políticas de gerenciamento de *buffer* propostas na literatura para redes DTN, que se diferenciam pelas estratégias adotadas para o descarte de mensagens.

Krifa *et al.* propõem uma política de gerenciamento de *buffer* ótima, chamada GBD (*Global Knowledge based Drop*) [Krifa et al. 2008]. Essa política utiliza informações globais sobre a rede e tem como objetivo maximizar a taxa de entrega ou minimizar a média do atraso de entrega de mensagens. Entretanto, como o conhecimento global da rede é requerido, a política GBD é difícil de ser implementada na prática, principalmente porque as redes DTNs são caracterizadas em muitos cenários pela aleatoriedade dos contatos. Um algoritmo local que utiliza informações estatísticas para tentar estimar o estado global da rede também é proposto. Porém, o cálculo dessa estimativa supera em complexidade grande parte das políticas de gerenciamento de *buffer* propostas, que possuem heurísticas mais simples.

Entre as políticas que utilizam heurísticas simples estão a FIFO (*First In First Out*) e a aleatória. Na política FIFO, a mensagem que está há mais tempo armazenada no *buffer* é a primeira a ser descartada pelo nó. Na política aleatória, um nó sorteia qual mensagem deve ser descartada, sem considerar o tempo em que ela está no *buffer* ou qualquer outra informação sobre ela. Devido à simplicidade, as políticas FIFO e aleatória são de fácil implementação, entretanto podem resultar em baixo desempenho. Tais políticas podem descartar mensagens que ainda não foram difundidas pelos nós da rede, visto que não utilizam informações sobre a replicação das mensagens.

Lindgren e Phanse propõem a política MOFO (*Most Forwarded*) que visa aumentar a eficiência da difusão das mensagens na rede [Lindgren e Phanse 2006]. A MOFO requer que o agente de roteamento mantenha o controle de quantas vezes cada mensagem foi encaminhada por um nó. Quando acionada, a política descarta a mensagem encaminhada o maior número de vezes pelo nó. O descarte das mensagens que foram encaminhadas mais vezes aumenta a probabilidade das mensagens menos encaminhadas serem difundidas, uma vez que elas são armazenadas por mais tempo por um nó. Ao optar pelo cálculo local da quantidade de réplicas, a política MOFO não captura a quantidade de réplicas difundidas na rede, podendo descartar mensagens ainda pouco difundidas. Os autores também introduzem a política LEPR (*Less Probable*) na qual um nó descarta de seu *buffer* a mensagem cujo destino é aquele para o qual possui menor probabilidade de

contato. Assim a política LEPR busca descartar as mensagens com menor probabilidade de entrega. A utilização dessa política é restrita a protocolos que fazem alguma estimativa da probabilidade de contato entre os nós. A utilização da política LEPR pode levar ao descarte de várias mensagens na fonte. Esse problema será detalhado na Seção 3.1.

Este trabalho propõe duas novas políticas de gerenciamento de *buffer* para redes DTN. Diferente da maioria dos trabalhos encontrados na literatura, são utilizados registros reais de mobilidade dos nós e diferentes protocolos de roteamento para validação e avaliação do desempenho das políticas propostas.

3. Políticas de Gerenciamento de *Buffer* Propostas

As políticas de gerenciamento de *buffer* propostas neste trabalho, chamadas de LPS (*Less Probable Sprayed*) e LRF (*Least-Recently Forwarded*), são baseadas em heurísticas simples. A política LPS explora uma característica particular dos protocolos que estimam a probabilidade de encontrar outros nós da rede. A política LRF utiliza uma informação sobre o encaminhamento das mensagens e pode ser utilizada com qualquer protocolo de roteamento para redes DTN.

3.1. *Less Probable Sprayed* - LPS

O objetivo da política LPS é descartar mensagens com menor probabilidade de entrega, desde que essas mensagens já tenham se espalhado pela rede. Com a LPS, um nó descarta de seu *buffer* a mensagem com a menor probabilidade de entrega somente se um determinado número de réplicas foi anteriormente disseminado na rede. Esse número mínimo de réplicas espalhadas é dado pelo limiar de espalhamento α , que é um parâmetro configurável de acordo com características da rede. O número de réplicas de uma mensagem é estimado através de um contador adicionado ao cabeçalho das mensagens. Esse contador é incrementado por um nó toda vez que a mensagem é replicada e é global, isto é, tem seu valor mantido a cada encaminhamento da mensagem.

O limiar de espalhamento da política LPS tem como objetivo solucionar o problema do descarte prematuro de mensagens. Esse problema é observado na política LEPR que, assim como a LPS, descarta mensagens com menor probabilidade de entrega. Verifica-se que com a LEPR, uma grande quantidade de mensagens é descartada na fonte [Lindgren e Phanse 2006]. Isso se deve ao fato de mensagens terem baixa probabilidade de entrega na região de sua geração, ou seja, um nó pode gerar uma mensagem para outro nó cuja probabilidade de encontro é baixa. A política LPS, assim como a LEPR, requer o cálculo da probabilidade de entrega de mensagens, por isso, deve ser utilizada em conjunto com protocolos de roteamento que estimam essa probabilidade.

3.2. *Least-Recently Forwarded* - LRF

A política LRF visa descartar mensagens que já foram disseminadas na rede e que já atingiram todos ou um grande número dos nós cujo nó detentor da mensagem entra em contato frequentemente. Para tanto, com a LRF, um nó descarta primeiramente de seu *buffer* a mensagem que está há mais tempo sem ser encaminhada. Para garantir o espalhamento inicial das mensagens, a LRF evita descartar mensagens que ainda não foram encaminhadas pelos nós. Porém, se nenhuma das mensagens armazenadas no *buffer* do nó foi previamente encaminhada por ele, a LRF descarta a mensagem que está há mais tempo no *buffer*, assim como faz a política FIFO.

A LRF explora o fato de que usuário reais não se movem de maneira totalmente aleatória. Eles, em geral, seguem uma trajetória previsível, de acordo com padrões de comportamento, como, por exemplo, ônibus de uma determinada linha que passam pelos mesmos pontos, alunos que frequentam diariamente o mesmo *campus*, entre outros. Nesse sentido, um nó que visitou um determinado lugar várias vezes provavelmente tornará a visitar esse lugar no futuro. Logo, quanto maior a quantidade de tempo que um nó carrega uma mensagem, maior é a probabilidade dessa mensagem ter sido encaminhada para os nós com os quais o detentor da mensagem tem contato [Sastry et al. 2011].

Para implementar a política LRF, é necessário que o agente de roteamento mantenha uma fila ordenada pela sequência de encaminhamento das mensagens. Para tanto, sempre que uma mensagem é encaminhada, ela é retirada de sua posição atual na fila e é reposicionada no fim da fila, assumindo que não há transferência de custódia da mensagem. Outra forma de implementar a LRF, é adicionando-se aos cabeçalhos das mensagens um campo com o horário do último encaminhamento. Assim, quando for necessário descartar uma mensagem, procura-se a mensagem cujo campo de horário de encaminhamento seja mais antigo. Ao contrário da LPS, a política LRF não exige o uso de protocolos de roteamento que calculam a probabilidade de entrega de mensagens. Assim, a LRF pode ser utilizada com qualquer protocolo de roteamento para redes DTN, independentemente da forma como eles disseminam as mensagens pela rede.

4. Cenários de Avaliação

4.1. Conjuntos de Dados e Roteamento

Três conjuntos diferentes de dados, mencionados neste trabalho como Rollernet, Cambridge e Infocom06, são usados para avaliar as políticas propostas e compará-las com outras políticas encontradas na literatura. Todos os três conjuntos foram coletados através da distribuição de dispositivos registradores de contatos, chamados Intel iMotes¹, para um dado número de participantes. Cada vez que um iMote descobre um novo iMote vizinho, ele armazena o tempo, a duração do encontro e a identificação do vizinho encontrado.

O conjunto de dados Rollernet [Tournoux et al. 2009] é o resultado de um experimento no qual foram distribuídos 62 iMotes para voluntários participantes de um circuito de patinação, que acontece regularmente em Paris. Os voluntários podem ser divididos em participantes do evento, membros da equipe organizadora e membros das associações de patinadores. A duração do conjunto de dados Rollernet é de aproximadamente 3 horas. O conjunto de dados Cambridge foi extraído pelo projeto Huggle na Universidade de Cambridge em 2005. Foram distribuídos dispositivos entre os estudantes de graduação e 12 foram utilizados para produzir o conjunto de dados que abrange aproximadamente 5 dias. Os dados do conjunto Infocom06 também foram coletados pelo projeto Huggle. Esse conjunto foi registrado durante a conferência Infocom em abril de 2006. Entre voluntários carregando os dispositivos e dispositivos estáticos espalhados pelo local da conferência, foram colhidas informações de contatos entre 98 dispositivos por aproximadamente 4 dias. Os três experimentos também registraram os contatos entre iMotes e outros dispositivos com rádio Bluetooth ativado, como celulares. Porém, somente os contatos entre os iMotes foram considerados nas simulações deste trabalho.

¹Os iMotes são pequenos sensores equipados com um processador ARM7 e com alguma capacidade de armazenamento e rádio Bluetooth.

As políticas de gerenciamento de *buffer*, como visto anteriormente, impactam o desempenho dos protocolos de roteamento. Por isso, as políticas propostas foram avaliadas para os protocolos epidêmico e P_{Ro}PHET, ambos baseados em replicação de mensagens. O roteamento epidêmico [Vahdat e Becker 2000] é uma das primeiras propostas de protocolos para DTNs. Nesse protocolo, dois nós trocam o maior número de mensagens que eles não têm em comum toda vez em que se encontram. O número de mensagens trocadas é dado pelo tempo de contato entre os nós. Desse modo, as mensagens são espalhadas entre os nós, o que aumenta a probabilidade dessas mensagens chegarem ao nó de destino. Com tamanho de *buffer* e capacidade de transmissão limitada, o protocolo epidêmico pode exaurir os recursos da rede, o que acarreta descarte de mensagens e retransmissões. Isso resultam em baixa eficiência da rede, em termos da taxa de entrega e sobrecarga de mensagens. Para reduzir essa sobrecarga, vários protocolos foram propostos, entre eles o protocolo P_{Ro}PHET [Lindgren et al. 2003]. Esse protocolo baseia-se no histórico dos contatos para calcular a probabilidade de um novo encontro entre dois nós. Com o P_{Ro}PHET, nós que se encontram frequentemente têm a probabilidade de encontro acrescida. Por outro lado, contatos mais antigos tem sua probabilidade reduzida com o tempo. A transitividade dos encontros também é explorada através da troca das probabilidades de encontro. Dessa forma, os nós podem avaliar a probabilidade de encontrarem o destino indiretamente. Quando dois nós fazem contato, eles trocam informações sobre as mensagens que carregam e suas respectivas probabilidades de entrega. Dessa maneira, as mensagens são encaminhadas somente para nós com maior probabilidade de entrega.

4.2. Ambiente de Simulação

As políticas de gerenciamento de *buffer* avaliadas neste trabalho, tanto as propostas quanto as encontradas na literatura, foram implementadas no The ONE (*Opportunistic Network Environment*) [Keränen et al. 2009], que é um simulador projetado para validar protocolos de roteamento e aplicações em redes DTN. Para avaliar as políticas e validar as propostas, são feitas simulações para os três diferentes conjuntos de dados com os protocolos P_{Ro}PHET e epidêmico, resultando em seis cenários distintos.

As configurações das simulações e as características dos conjuntos de dados são resumido na Tabela 1. Para os conjuntos de dados Cambridge e Infocom06, são geradas 5000 mensagens durante cada rodada de simulação, desde o início de uma rodada até 12 horas antes do final dessa rodada. Para o conjunto Rollernet, por ter duração da ordem de poucas horas, 500 mensagens são geradas durante as duas primeiras horas de simulação. O período de inatividade na geração de mensagens tem como objetivo diminuir a quantidade de mensagens que não chegam ao destino devido ao encerramento abrupto da simulação. O tamanho configurado para as mensagens é de 1,0 MB, visto que redes DTN trabalham com agregados que podem conter várias mensagens.

Com o objetivo de avaliar o desempenho das políticas de gerenciamento de *buffer* isoladamente e evitar qualquer efeito que a configuração inadequada do tempo de vida da mensagem possa causar nos resultados, as mensagens nunca expiram durante nossas simulações. O limiar de espalhamento α utilizado na política LPS pode ser configurado de acordo com as características da rede. Para analisar o seu efeito em redes distintas, o valor de α é fixado como 5 para os três conjuntos de dados.

Tabela 1. Parâmetros das simulações e características dos cenários.

Parâmetros/Conjuntos	Rollernet	Infocom06	Cambridge
Dispositivo	iMote	iMote	iMote
Rádio	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth
Duração (\approx)	3 horas	4 dias	5 dias
Número de dispositivos	62	98	12
Número de mensagens	500	5000	5000
Tamanho das mensagens (MB)	1	1	1
Limiar de espalhamento α	5	5	5
TTL	∞	∞	∞

5. Resultados

As políticas propostas LPS e LRF são comparadas através de simulações com outras quatro políticas de gerenciamento de *buffer*: FIFO, aleatória, MOFO e LEPR. Para avaliar as políticas, utiliza-se três métricas de desempenho: a taxa de entrega de mensagens, a sobrecarga de transmissão de mensagens e o atraso das mensagens para chegar ao destino. Os resultados apresentados foram obtidos através da média de 10 rodadas de simulação distintas. Para todos os pontos das curvas apresentadas, calcula-se um intervalo de confiança para um nível de confiabilidade de 95%, representado por barras verticais.

5.1. Taxa de Entrega

A taxa de entrega para todas as políticas é comparada para os três conjuntos de dados reais apresentados na Seção 4.1. A taxa de entrega é definida como o percentual de mensagens criadas que chegaram ao destino durante a simulação.

A Figura 1 mostra a taxa de entrega em função do tamanho do *buffer* dos nós para os protocolos de roteamento epidêmico e PROPHET, no cenário Rollernet. O tamanho do *buffer* variado entre 10 e 50 MB. Para os dois protocolos e todas as políticas, o comportamento é semelhante: quanto maior o tamanho do *buffer*, maior a taxa de entrega. Isso ocorre, pois os nós carregam mais mensagens e aumentam a probabilidade da troca de mensagens a cada contato. Na Figura 1(a) é possível observar que, para o protocolo epidêmico, a política de gerenciamento LRF proporciona taxa de entrega mais alta para todos os tamanhos de *buffer*, chegando a obter um desempenho 37% superior ao desempenho da política FIFO. A LRF se mantém mais de 10 pontos percentuais acima da FIFO para *buffers* de 10 até 40 MB. Nesse cenário, as políticas LPS e LEPR não são analisadas, pois dependem do uso de um protocolo que calcule a probabilidade de entrega das mensagens.

A Figura 1(b) apresenta os resultados para o protocolo PROPHET. Nela é possível notar que as duas políticas propostas foram as que obtiveram a taxa de entrega mais alta para todos os tamanhos de *buffer*. Com 10 MB de *buffer* as políticas LPS e LRF obtiveram resultados superiores em cerca de 65% e 20%, respectivamente, ao resultado da política FIFO. É interessante notar que mesmo no cenário mais restrito, a política LPS atinge uma taxa de entrega de aproximadamente 75%. As políticas MOFO e FIFO possuem um desempenho similar, sempre inferior aos desempenhos das políticas propostas. O desempenho da política LEPR corrobora os resultados obtidos por Lindgren e Phanse,

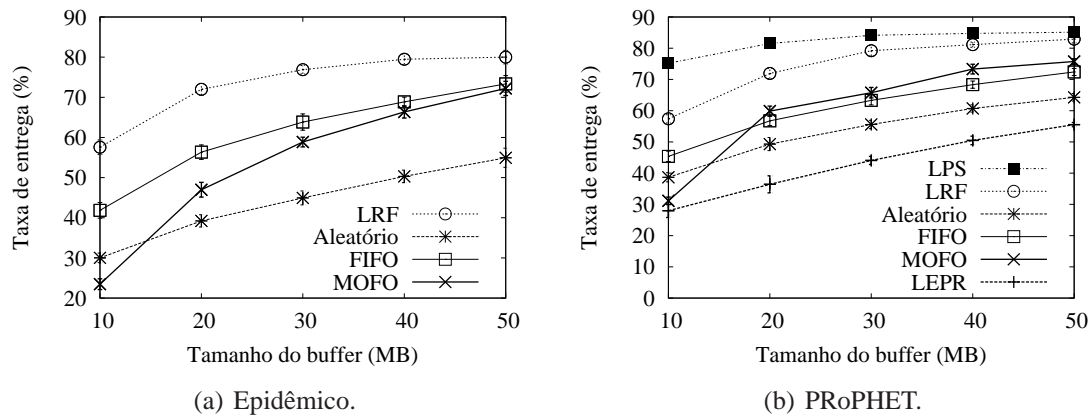


Figura 1. Taxa de entrega no cenário Rollernet.

reiterando a sua ineficiência [Lindgren e Phanse 2006].

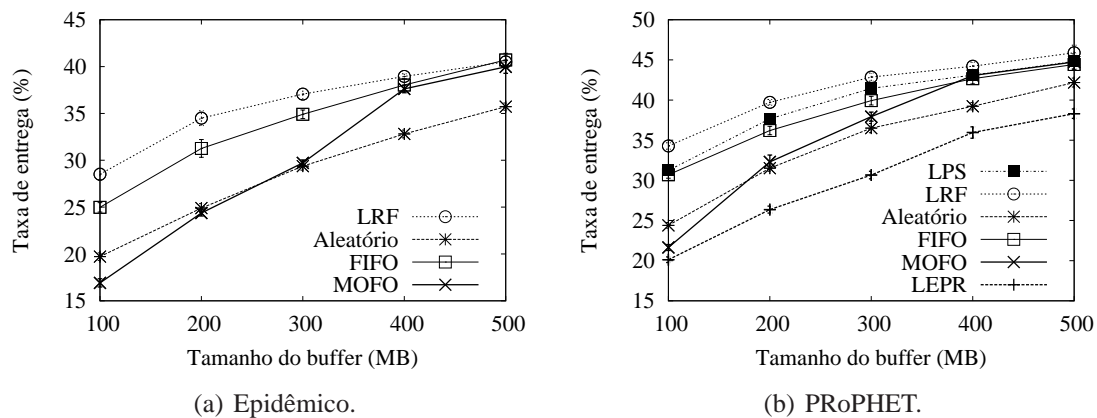


Figura 2. Taxa de entrega no cenário Cambridge.

A Figura 2, apresenta os dados de taxa de entrega para o cenário Cambridge. O tamanho do *buffer* varia entre 100 e 500 MB, uma vez que mais mensagens são geradas do que no Rollernet. Nesse cenário, a comparação da taxa de entrega para as diferentes políticas com o protocolo epidêmico é apresentada na Figura 2(a). Essa figura mostra que a política LRF obtém a taxa de entrega mais alta para tamanhos de *buffer* de até 400 MB. No cenário com maior tamanho de *buffer*, as políticas LRF, MOFO e FIFO obtêm um desempenho similar. É interessante notar, que no cenário mais restrito, a política MOFO obtém o pior desempenho dentre as políticas analisadas. Os resultados para o protocolo PRoPHET no cenário Cambridge são apresentados na Figura 2(b). Observa-se que a política LRF proporciona a taxa de entrega mais alta para *buffers* com até 400 MB. A política LPS obtém o segundo melhor desempenho para *buffers* de até 300 MB. No cenário com maior tamanho de *buffer*, as políticas obtêm desempenho estatisticamente equivalente, com exceção das políticas LEPR e aleatória.

Na Figura 3, os dados de taxa de entrega para o cenário Infocom06 são apresentados. A variação do tamanho do *buffer* é a mesma do cenário Cambridge, uma vez que o número de mensagens geradas é o mesmo. É possível observar na Figura 3(a) que a política LRF obteve a taxa de entrega mais alta para todos os tamanhos de *buffer* com o

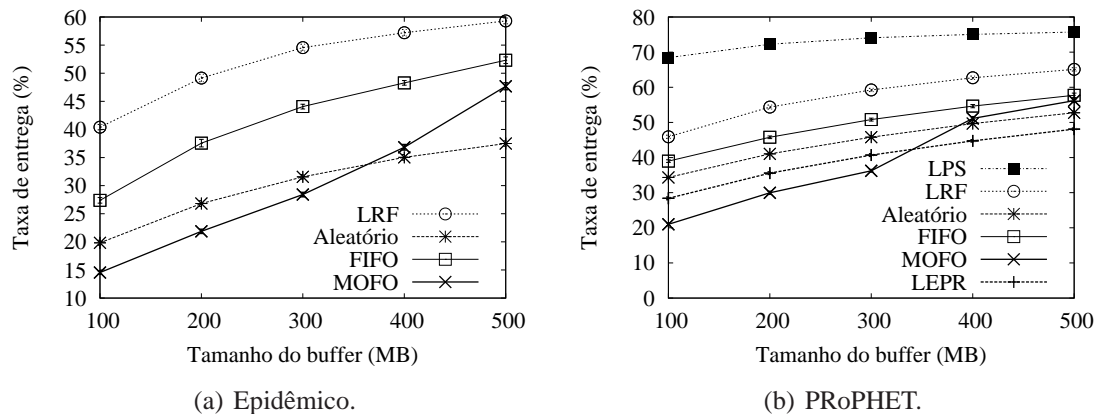


Figura 3. Taxa de entrega no cenário Infocom06

protocolo epidêmico. A LRF manteve um desempenho superior de aproximadamente 7 a 13 pontos percentuais, ao desempenho da política com segunda maior taxa de entrega. No protocolo PRoPHET, como mostra na Figura 3(b), as duas políticas propostas obtiveram as taxas de entrega mais altas. Entre as outras políticas, a política FIFO é a com melhor desempenho. No cenário com menor tamanho de *buffer*, a política LPS alcança um desempenho aproximadamente 75% superior ao da política FIFO. Mesmo no cenário menos restrito, a LPS mantém uma vantagem de 30% de desempenho. A política LRF mantém uma taxa de entrega entre 12% a 17% superior à taxa de entrega da política FIFO.

A política LPS tem bons resultados para taxa de entrega, porque ela descarta mensagens que têm baixa probabilidade de entrega. Porém, a LPS evita que mensagens sejam descartadas na fonte usando o limiar de espalhamento. Os bons resultados da política LRF mostram que mensagens que estão há muito tempo sem serem encaminhadas para outros nós são uma boa opção para descarte, visto que o não encaminhamento pode representar que elas já foram suficientemente disseminadas na rede.

5.2. Sobrecarga

A sobrecarga S é calculada pela razão entre a diferença do número de mensagens retransmitidas m_t e mensagens entregues m_e e o número de mensagens entregues m_e , ou seja, $S = \frac{m_t - m_e}{m_e}$. Essa relação expressa a quantidade de mensagens adicionais que foram transmitidas para cada mensagem que chegou ao destino. Nos protocolos avaliados nesse trabalho, essa relação também indica a quantidade de réplicas criadas para cada mensagem entregue.

Na Figura 4, a sobrecarga das diferentes políticas em função do tamanho do *buffer* para o cenário Rollernet é apresentada. Nota-se que quanto maior o *buffer*, menor a sobrecarga para todas as políticas. Isso ocorre porque a taxa de entrega também aumenta com o tamanho do *buffer*. Na Figura 4(a), observa-se que com a política LRF obtém-se uma menor sobrecarga para tamanhos de *buffer* de até 40 MB. Para 50 MB, a sobrecarga das políticas LRF, FIFO e MOFO é semelhante. Isso se deve ao fato de que, com o aumento do *buffer*, as taxas de entrega para as diferentes políticas tendem a se aproximar. Como o cálculo da sobrecarga utiliza a quantidade de mensagens entregues como divisor, as sobrecargas também têm tendência a se aproximarem. É possível observar na Figura 4(b) que a política com menor sobrecarga para o protocolo PRoPHET é a LPS. A política LRF

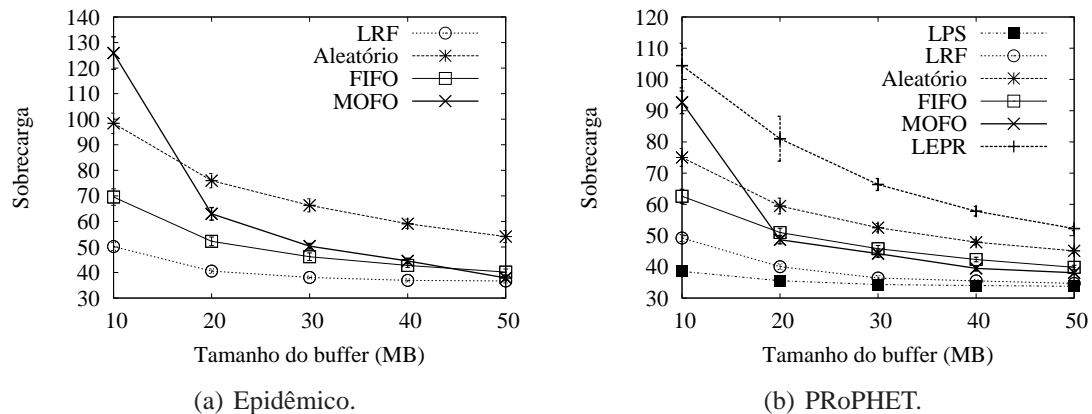


Figura 4. Sobrecarga no cenário Rollernet.

mantém uma sobrecarga próxima à da LPS, principalmente entre 30 e 50 MB de *buffer*.

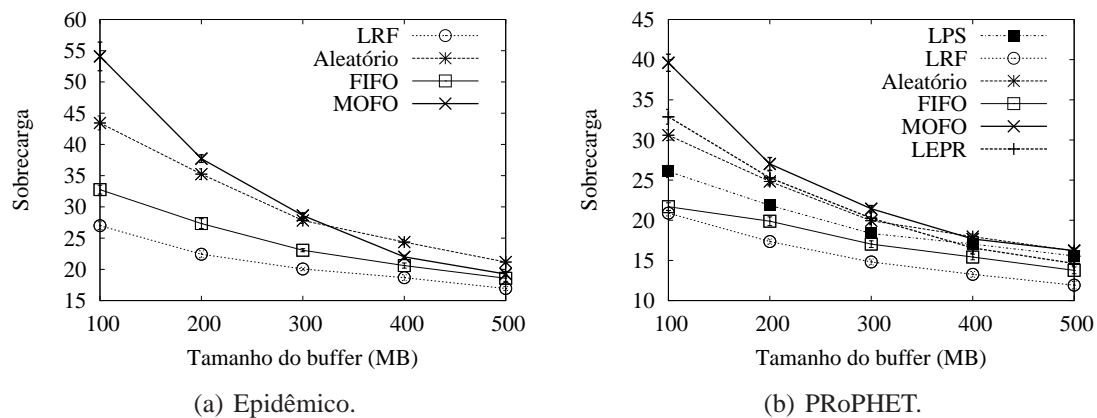


Figura 5. Sobrecarga no cenário Cambridge.

A sobrecarga para o cenário Cambridge é ilustrada na Figura 5. Mostra-se que a política LRF proporciona menor sobrecarga com a utilização dos protocolos epidêmico e PRoPHET, respectivamente. A sobrecarga para as diferentes políticas no cenário Infocom06 é exposta na Figura 6. No protocolo epidêmico, a política LRF obteve a menor sobrecarga para todos os tamanhos de *buffer*. No protocolo PRoPHET, novamente as propostas proporcionam a menor sobrecarga. No cenário com 100 MB de *buffer*, a política LPS proporciona aproximadamente 70% da sobrecarga da política FIFO, que transmite mais de 90 réplicas a mais por mensagem entregue.

A sobrecarga é calculada através da razão do número de mensagens retransmitidas pela quantidade de mensagens entregues ao destino. Por isso, as políticas propostas nesse trabalho tendem a ter uma menor sobrecarga, visto que alcançam taxas de entrega superiores às outras políticas avaliadas.

5.3. Atraso de Entrega

A função de distribuição acumulada é utilizada pra ilustrar a probabilidade das mensagens chegarem ao destino em certo período de tempo. Os resultados são de uma rodada de simulação com tamanho de *buffer* igual a 50 MB para o cenário Rollernet e

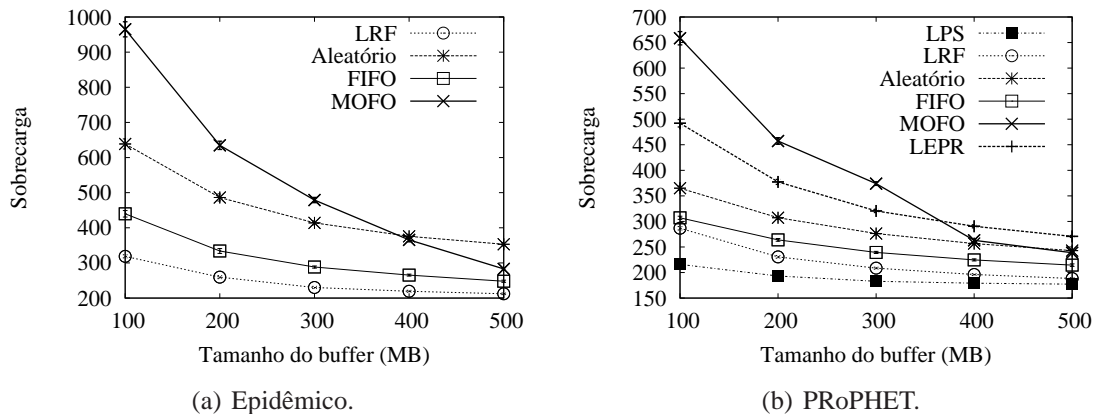


Figura 6. Sobrecarga no cenário Infocom06.

500 MB para os cenários Cambridge e Infocom06. Consideram-se apenas as mensagens entregues ao destino.

A Figura 7 ilustra o atraso experimentado no cenário Rollernet. Tanto para o protocolo epidêmico quanto para o protocolo PRoPHET, as políticas que alcançam pior desempenho com relação à taxa de entrega são as políticas que obtiveram menor atraso de entrega nesses cenários, como é observado nas Figuras 7(a) e 7(b). Porém, é interessante observar que a política LPS, mesmo com a taxa de entrega mais alta, obteve o segundo melhor desempenho quanto ao atraso, similar à política FIFO.

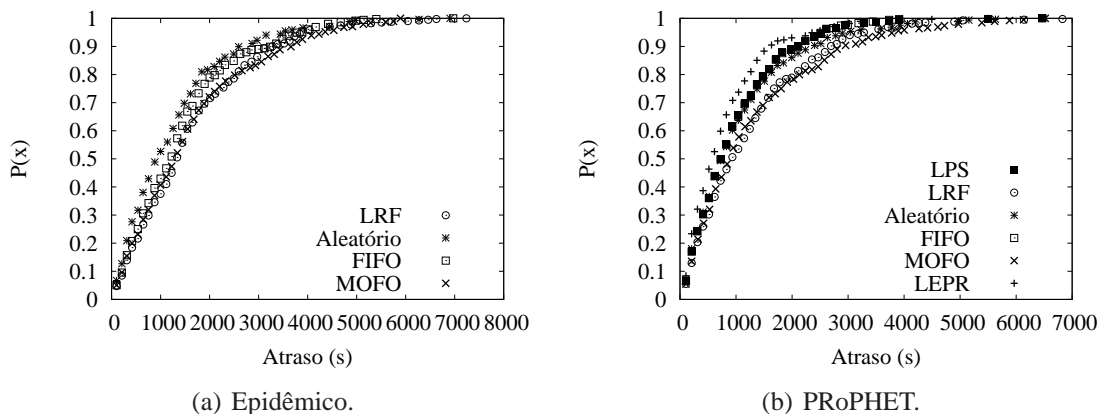


Figura 7. Atraso no cenário Rollernet.

Devido à duração dos cenários Cambridge e Infocom06, o atraso das mensagens pode ser da ordem de dezenas de horas. Nesses cenários, utilizando o protocolo PRoPHET, a política LEPR é a que entrega menos mensagens. Porém, a LEPR é a que possui a maior porcentagem de mensagens entregues em menor tempo. As políticas LPS e FIFO obtiveram resultados semelhantes. Utilizando o protocolo epidêmico, as políticas LRF e FIFO mantiveram-se com resultados similares. Em razão das restrições de espaço, os resultados de atraso para os cenários Cambridge e Infocom06 foram omitidos.

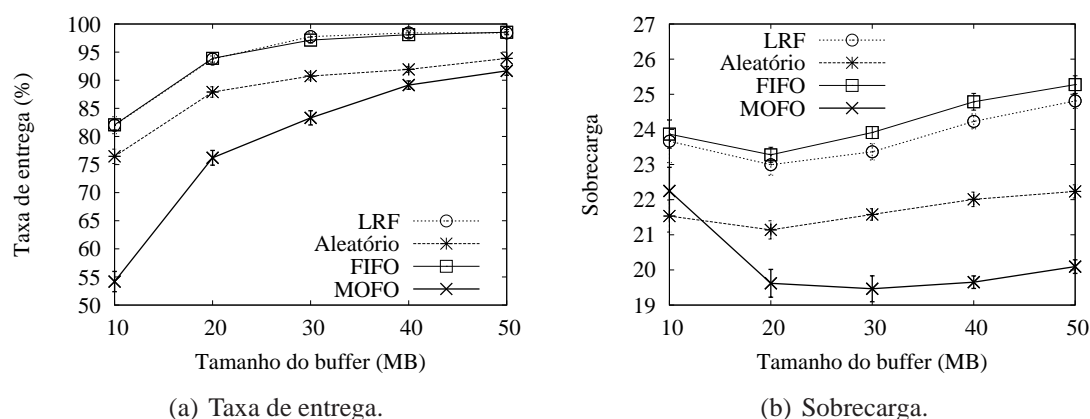


Figura 8. Resultados para o protocolo Spray and Wait no cenário Rollernet.

5.4. Avaliação para Protocolos de Replicação Controlada

Protocolos de replicação utilizam heurísticas para o encaminhamento das mensagens. Porém, esses protocolos, como o ProPHET, não fazem nenhuma consideração sobre o impacto da utilização de múltiplas réplicas, que em geral, introduz alta sobrecarga de mensagens na rede. Para reduzir esse problema, foram propostos protocolos de replicação controlada, cujo principal exemplo é o Spray and Wait (SnW) [Spyropoulos et al. 2005].

O funcionamento do SnW é dividido em duas fases: espalhamento e espera. Na fase de espalhamento, para cada mensagem proveniente de uma fonte, L cópias são espalhadas na rede. Essas cópias podem ser espalhadas de modos diferentes, definidos pelo SnW. Neste trabalho, o modo binário é utilizado. Nesse modo, um nó que possui $n > 1$ cópias da mensagem encaminha $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor$ e armazena $\lceil \frac{n}{2} \rceil$ mensagens. Caso o destino não seja encontrado na fase de espalhamento, a fase de espera é ativada. Nessa fase, cada nó que possui uma das L cópias da mensagem somente a encaminhará se entrar em contato com o nó de destino da mensagem.

Nesta Seção, o desempenho das políticas de gerenciamento de *buffer* é avaliado para o protocolo Spray and Wait. Para isso, é necessário configurar o número de cópias L usado pelo protocolo. Define-se um método que é válido para qualquer modelo de mobilidade cuja distribuição do tempo entre contatos seja aproximadamente exponencial [Spyropoulos et al. 2005]. Porém, esta característica não é observada em cenários reais de mobilidade humana [Hui et al. 2005], como os usados neste trabalho. Portanto, optou-se por configurar o parâmetro L como metade do número de nós da rede.

Na Figura 8 são apresentados os resultados obtidos para a taxa de entrega e a sobrecarga em função do tamanho do *buffer* no cenário Rollernet. É possível observar que as políticas LRF e FIFO são estatisticamente equivalentes, com o melhor desempenho, em termos da taxa de entrega. Isso se explica, pois nos protocolos de replicação controlada, tal como o SnW, a quantidade de réplicas é limitada e desacoplada do número de nós na rede. Com menos réplicas, menor a possibilidade de transbordamento de *buffers*. Portanto, a quantidade de vezes que a política de gerenciamento de *buffer* é acionada diminui e, por isso, o seu impacto no encaminhamento das mensagens é menor.

A sobrecarga das políticas LRF e FIFO também é maior que as demais. Esse re-

sultado é contrário aos obtidos para os protocolos de replicação, para os quais uma maior taxa de entrega leva a uma menor sobrecarga. Tal comportamento ocorre porque o SnW controla o número de réplicas na rede. Dessa forma, quando uma política de gerenciamento de *buffer* opta por descartar uma mensagem que ainda possui cópias para encaminhar, ela efetivamente descarta uma mensagem, porém, as n cópias correspondentes deixam de ser disseminadas. Assim, o alcance da mensagem é restringido e a taxa de entrega é reduzida.

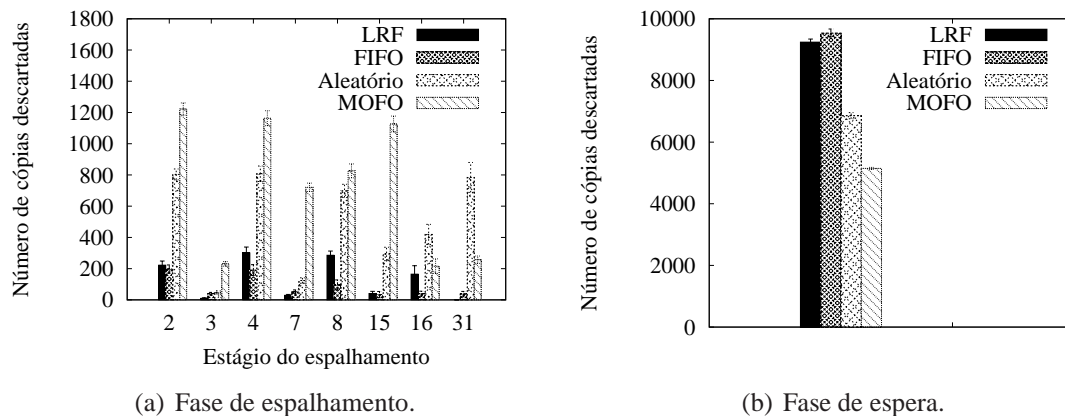


Figura 9. Mensagens descartadas no protocolo SnW para o cenário Rollernet.

Para confirmar a implicação negativa do descarte de mensagens que ainda possuem cópias para disseminar, a Figura 9 mostra a quantidade de cópias perdidas em cada estágio do espalhamento para cada política. Considera-se o cenário Rollernet com 50 MB de *buffer*. Define-se como estágio de espalhamento, a quantidade de cópias para disseminar que a mensagem possui. Pode-se observar na Figura 9(a), que as políticas MOFO e aleatória, que têm o pior desempenho na taxa de entrega, descartam mais mensagens na fase de espalhamento, principalmente nos estágios em que as mensagens possuem muitas cópias para disseminar. A Figura 9(b) mostra que as políticas LRF e FIFO descartam mais mensagens na fase de espera do protocolo SnW. É possível concluir, que em protocolos de replicação controlada, as políticas de gerenciamento de *buffer* devem examinar a informação de quantidade de cópias restantes para tomar a decisão de descarte. Ao selecionar mensagens com um menor número de cópias a disseminar, as políticas aumentam o alcance das mensagens e, assim, aumentam a sua probabilidade de entrega.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho duas novas políticas de gerenciamento de *buffer* para redes DTN foram propostas e avaliadas. Através de simulações, o desempenho das propostas LPS e LRF foi comparado ao desempenho de algumas das principais políticas da literatura usando conjuntos de dados reais. Os resultados mostram que a LPS e a LRF proporcionam uma taxa de entrega mais alta com uma sobrecarga menor quando utilizadas com os protocolos epidêmico e PROPHET, principalmente em cenários com *buffers* de tamanhos mais restritos. As políticas LPS e LRF obtiveram taxas de entrega superiores em até 75% e 37%. Ambas as políticas propostas também proporcionam uma menor sobrecarga, chegando a transmitir cerca de 90 mensagens a menos, por mensagem entregue.

Para o protocolo Spray and Wait, foi observado que descartar mensagens que ainda possuem muitas réplicas para disseminar pode surtir um efeito negativo na taxa de entrega.

Nesse caso, é necessário que a política de gerenciamento de *buffer* utilize a informação sobre a quantidade de réplicas para tomar a decisão de descarte. Esse comportamento será investigado em trabalhos futuros. Pretende-se também avaliar o impacto da utilização de diferentes valores para o parâmetro TTL no desempenho das diferentes políticas de gerenciamento de *buffer*. Também será avaliado o impacto do uso de diferentes políticas de encaminhamento para redes DTN.

Agradecimentos

Esse trabalho é apoiado pela CAPES, CNPq, FAPERJ, CTIC e Proppi/UFF. Os autores agradecem pelos dados obtidos do arquivo CRAWDAD de Dartmouth College.

Referências

- Balasubramanian, A., Levine, B. e Venkataramani, A. (2007). DTN routing as a resource allocation problem. Em *ACM SIGCOMM*, páginas 373–384.
- Fall, K. (2003). A delay-tolerant network architecture for challenged internets. Em *ACM SIGCOMM*, páginas 27–34.
- Hui, P., Chaintreau, A., Scott, J., Gass, R., Crowcroft, J. e Diot, C. (2005). Pocket switched networks and human mobility in conference environments. Em *WDTN*, páginas 244–251.
- Keränen, A., Ott, J. e Kärkkäinen, T. (2009). The ONE simulator for DTN protocol evaluation. Em *ICST SIMUTools*, página 55:1—55:10.
- Krifa, A., Barakat, C. e Spyropoulos, T. (2008). Optimal buffer management policies for delay tolerant networks. Em *IEEE SECON*, páginas 260–268.
- Lindgren, A., Doria, A. e Schelén, O. (2003). Probabilistic routing in intermittently connected networks. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 7:19–20.
- Lindgren, A. e Phanse, K. S. (2006). Evaluation of queueing policies and forwarding strategies for routing in intermittently connected networks. Em *COMSWARE*, páginas 1–10.
- Oliveira, C. T., Moreira, M. D. D., Rubinstein, M. G., Costa, L. H. M. K. e B. Duarte, O. C. M. (2007). Redes tolerantes a atrasos e desconexões. Em *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*.
- Sastry, N., Manjunath, D., Sollins, K. e Crowcroft, J. (2011). Data delivery properties of human contact networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 10(6):868–880.
- Spyropoulos, T., Psounis, K. e Raghavendra, C. S. (2005). Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. Em *WDTN*, páginas 252–259.
- Tournoux, P.-U., Leguay, J., Benbadis, F., Conan, V., de Amorim, M. D. e Whitbeck, J. (2009). The accordion phenomenon: Analysis, characterization, and impact on DTN routing. Em *IEEE INFOCOM*, páginas 1116–1124.
- Vahdat, A. e Becker, D. (2000). Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks. Relatório técnico, Duke University.