

# Uma avaliação do uso de mecanismos de custódia compartilhada em redes tolerantes a atrasos e desconexões

Ely S. Miranda<sup>1,2</sup>, Juliano F. Naves<sup>2,3</sup>, Igor M. Moraes<sup>3</sup>, Pedro B. Velloso<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal do Piauí

<sup>2</sup>Instituto Federal de Rondônia

<sup>3</sup>Instituto de Computação-PGC  
Universidade Federal Fluminense

ely.miranda@ifpi.edu.br, {jfisher, igor, velloso}@ic.uff.br

**Resumo.** Este artigo avalia o uso da transferência de custódia entre nós para aumentar o desempenho em redes tolerantes a atrasos e desconexões. Para isso, dois mecanismos são considerados. O primeiro, chamado de LJC (Limited Joint Custody), propõe o uso da custódia compartilhada e implementa um esquema de replicação controlada para limitar o número de custódias por agregado na rede. O segundo, chamado de FCF (Forward Custody First), é uma política de encaminhamento que prioriza os agregados sob custódia. Através de simulações, o desempenho destes mecanismos é avaliado para diferentes protocolos de roteamento em dois cenários distintos baseados em registros reais de mobilidade. Os principais resultados mostram que ambos os mecanismos aumentam a taxa de entrega e também reduzem o atraso nos dois cenários analisados com menor sobrecarga. A combinação dos mecanismos FCF-LJC quando comparada a mecanismos que não usam custódia proporciona um aumento de até 94% na taxa de entrega e reduz em até 23% e 73% o atraso de entrega e sobrecarga de controle, respectivamente.

**Abstract.** This paper evaluates the use of custody transfer between nodes to improve performance in delay tolerant networks. Two mechanisms are considered in the analysis. The first one, named LJC (Limited Joint Custody), proposes the use of joint custody and implements a controlled replication scheme to limit the number of custodians per bundle in the network. The second one, named FCF (Forward Custody First), is a forwarding policy that prioritizes bundles in custody. Through simulations, the performance of these mechanisms is evaluated for different routing protocols in two different scenarios based on real traces. Main results show that both mechanisms increase the delivery rate and also reduce the delay in both scenarios with lower overhead. The combination of FCF-LJC mechanisms, compared to implementations with no custody, provides up to 94% higher delivery rate and decreases by 23% and 73% the delivery delay and control overhead, respectively.

## 1. Introdução

As redes tolerantes a atrasos e desconexões (*Delay/Disruption Tolerant Networks* - DTNs) vêm recebendo cada vez mais atenção da comunidade acadêmica [Khabbaz et al. 2012, Oliveira et al. 2007], especialmente com o aumento do interesse por redes veiculares, redes oportunistas e redes de sensores acústicas subaquáticas.

Essas redes são caracterizadas por operarem com conectividade intermitente, o que pode causar longos atrasos e baixas taxas de entrega de mensagens [Fall 2003]. Como resultado, a tradicional pilha de protocolos TCP/IP é pouco eficiente neste cenário, pois nela assume-se que há sempre um caminho fim-a-fim entre a origem e o destino. Assim, o princípio básico das redes DTN é adotar o paradigma armazena-carrega-e-encaminha (*store-carry-and-forward*) para lidar com o problema da conectividade intermitente. Nesse paradigma, os nós encapsulam as mensagens em agregados e são dotados de *buffers*. Assim, os nós mantêm esses agregados em seu *buffer* durante períodos sem conectividade e tentam encaminhá-los quando um contato é estabelecido com um nó vizinho de acordo com uma métrica definida pelo protocolo de roteamento. Além disso, encaminhar um agregado significa enviar uma cópia desse agregado e não descartá-lo no nó encaminhador. Neste contexto, um agregado é removido do *buffer* quando o seu tempo de vida expira, ele chega a seu destino ou quando é descartado por políticas de descarte disparadas quando o *buffer* atinge certo nível de ocupação [Naves et al. 2012].

Muitos mecanismos de roteamento e encaminhamento para redes DTN foram propostos recentemente [Khabbaz et al. 2012, Fall e Farrell 2008]. Eles abordam diversas questões como, por exemplo, políticas de encaminhamento e descarte, conhecimento prévio de trajetórias de nós e previsão de contatos. Um mecanismo simples, porém pouco explorado, é a transferência de custódia [Fall et al. 2003]. Basicamente, esse mecanismo consiste em atribuir a custódia de um agregado a um nó específico. Consequentemente, esse agregado não pode ser descartado prematuramente por políticas de descarte. Trabalhos anteriores tentam aumentar a confiabilidade da rede usando mecanismos de custódia exclusiva. No entanto, poucos esforços foram dedicados a pesquisas usando mecanismos de custódia compartilhada e a políticas de encaminhamento baseadas em custódia para aumentar a probabilidade de entrega e reduzir o atraso na entrega dos agregados. Assim, em um primeiro esforço, Miranda *et al.* propõem os mecanismos LJC (*Limited Joint Custody*) e FCF (*Forward Custody First*) [Miranda et al. 2012]. O LJC é um mecanismo de custódia compartilhada que limita o número de custódias por agregado na rede. O FCF, por outro lado, é uma política de encaminhamento que prioriza o encaminhamento de agregados sob custódia. No entanto, os autores apresentam uma análise preliminar avaliando apenas os mecanismos propostos em um protocolo epidêmico. Portanto, o principal objetivo deste artigo é avaliar, através de simulações, o comportamento e o impacto do uso dos mecanismos LJC e FCF em protocolos mais eficientes propostos na literatura. Para a avaliação, foram escolhidos um protocolo de replicação probabilística, representado pelo PROPHET [Lindgren et al. 2003], e outro de replicação controlada, representado pelo Spray and Wait [Spyropoulos et al. 2005]. A análise considera o desempenho dos mecanismos em relação à taxa de entrega, ao atraso médio de entrega e à sobrecarga de mensagens, usando dois registros reais de mobilidade. Além disso, avaliou-se o impacto dos mecanismos para diferentes volumes de tráfego. O objetivo é verificar o comportamento do uso de mais de um nó custódio por agregado em situações nas quais o transbordamento de *buffer* é mais frequente. Os principais resultados mostram que os mecanismos LJC e FCF combinados obtêm taxas de entrega superiores em até 94% quando comparados a implementações que não usam custódia. Além disso, reduzem o atraso de entrega em até 23% devido à priorização no encaminhamento de agregados sob custódia. Os mecanismos avaliados também apresentam uma sobrecarga de controle menor, chegando a reduzir em até 73% o número de cópias transmitidas para cada agregado

entregue. Por fim, o resultado mais interessante mostra que a combinação FCF-LJC sobre o protocolo PROPHET, consegue a melhor eficiência em todas as métricas analisadas, tornando-se a melhor configuração possível dentre as avaliadas.

O restante desse trabalho está organizado como a seguir. A Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados à esta pesquisa. A Seção 3 detalha o mecanismo de custódia compartilhada e a política de encaminhamento baseada em custódias. Na Seção 4, são descritos os cenários e o ambiente de simulação nos quais os mecanismos foram avaliados. A Seção 5 apresenta e discute os resultados obtidos nas simulações. Por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

## 2. Trabalhos Relacionados

Vários trabalhos abordam os problemas de roteamento e encaminhamento em redes DTNs e têm como objetivo aumentar a taxa de entrega de mensagens [Cao e Sun 2012, Spyropoulos et al. 2010]. No entanto, apenas alguns pesquisadores exploram o uso da transferência de custódia para atingir tal objetivo. Inicialmente, os mecanismos de transferência de custódia foram introduzidos para aumentar a confiabilidade em DTNs. Fall *et al.* propõem um mecanismo chamado de custódia exclusiva, no qual definem que originalmente apenas um nó, chamado de nó custódio, é responsável por armazenar um agregado [Fall et al. 2003]. O foco deste artigo, no entanto, é o ganho de desempenho que pode ser obtido com a transferência de custódia. Chuah *et al.*, por exemplo estudam um mecanismo de transferência de custódia para aumentar a taxa de entrega de protocolos de roteamento em DTNs [Chuah et al. 2006]. Mais especificamente, eles concluem que o uso da transferência de custódia pode aumentar significativamente a taxa de entrega em redes esparsamente conectadas com taxas de sobrecarga aceitáveis. Contudo, esse não trabalho aborda a transferência de custódia compartilhada. Essa ideia é mencionada originalmente por Fall *et al.*, que sugerem o uso de mais de um nó custódio por agregado [Fall et al. 2003]. No entanto, eles não propõem qualquer mecanismo específico e não avaliam o impacto do uso de custódia compartilhada no desempenho da rede. Este artigo analisa um mecanismo de custódia compartilhada que usa um esquema de replicação controlada e avalia seu desempenho em relação a outras implementações. Portanto, esses trabalhos são complementares a este artigo.

Em [Spyropoulos et al. 2010] os autores definem uma taxonomia para protocolos de roteamento em DTNs. Em uma das categorias propostas, chamada de replicação com cópia limitada (*copy-limited replication*), um número de tíquetes de encaminhamento é associado a cada cópia de um agregado. Esses tíquetes definem o número de cópias extras dos agregados que os nós podem replicar e encaminhar. Wang *et al.* propõem um mecanismo de encaminhamento para redes DTN baseado no conceito de replicação controlada [Wang et al. 2012]. No entanto, nenhum desses trabalhos aplicam essa replicação controlada para agregados sob custódia. Este artigo avalia um mecanismo semelhante para controlar o número máximo de custódias por agregados ao invés do número de cópias por agregados. O objetivo é evitar congestionamentos prematuros devido à impossibilidade dos nós descartarem os agregados sob custódia.

Em virtude do paradigma armazena-carrega-e-encaminha inerente às redes DTN, políticas de encaminhamento podem ter um grande impacto sobre o desempenho geral da rede. Soares *et al.* apresentam diversas abordagens para o gerenciamento de

*buffer* e enfatizam a necessidade de políticas eficientes de encaminhamento e de descarte [Soares et al. 2010]. No entanto, todas essas políticas de encaminhamento não consideram agregados sob custódia. Este trabalho analisa o desempenho de um mecanismo de custódia compartilhada e de uma política que prioriza o encaminhamento de agregados sob custódia para aumentar a taxa de entrega e reduzir o atraso.

### 3. Política de encaminhamento baseada em custódia compartilhada

Esta seção apresenta um mecanismo de encaminhamento baseado em custódia compartilhada. Primeiramente, é descrito o esquema de custódia compartilhada, chamado *Limited Joint Custody* (LJC), que usa um mecanismo de replicação controlada para limitar o número de agregados sob custódia. Posteriormente, é descrita a *Forward Custody First* (FCF), que é uma política de encaminhamento que prioriza os agregados sob custódia.

#### 3.1. O mecanismo *Limited Joint Custody* (LJC)

O conceito de custódia aplicado a redes DTN, proposto em [Fall et al. 2003], é uma abordagem que pode ser usada para aumentar o desempenho da rede. A ideia básica consiste em atribuir a custódia de um determinado agregado a um nó específico, denominado custódio. Conseqüentemente, esse nó deve manter no *buffer* todo agregado que está sob sua custódia até que ele alcance seu destino ou seu TTL expire. Assim, evita-se o descarte prematuro de agregados. Nessa abordagem, chamada custódia exclusiva, cada agregado é associado a um único nó. Além disso, quando um nó encaminha um agregado sob custódia, ele pode negociar a transferência da custódia para o próximo nó [Fall et al. 2003]. Neste trabalho, essa negociação é tratada como uma transferência simples em que, se há espaço no *buffer* do nó que receberá a cópia do agregado, ele aceita o pedido de custódia. Uma vez que a transferência é concluída, o agregado torna-se regular para o nó que realizou o encaminhamento.

Mecanismos de custódia compartilhada generalizam o conceito de custódia exclusiva, permitindo que os agregados tenham mais de um nó responsável por sua custódia. Isso significa que uma determinada quantidade de réplicas de um dado agregado pode estar sob custódia de diferentes nós. A ideia fundamental da custódia compartilhada é aumentar o número de réplicas sob custódia visando aumentar a probabilidade deste agregado ser entregue. O mecanismo *Limited Joint Custody* (LJC) usa a custódia compartilhada, porém limita o número de custódias por agregado. Assim, é possível controlar a replicação de um agregado para evitar congestionamentos. Esse controle é feito com um esquema baseado em tíquetes. Assim, no mecanismo LJC, quando um nó cria um agregado, ele recebe automaticamente a custódia deste agregado. Além disso, uma quantidade determinada de tíquetes está associada a este novo agregado sob custódia. O valor inicial do tíquete define o número máximo de custódias por agregado. Portanto, sempre que um nó encaminha um pacote sob custódia para um nó vizinho, ele deve compartilhar seus tíquetes com a nova réplica. No LJC emprega-se um mecanismo de compartilhamento de tíquetes análogo ao usado pelo protocolo de roteamento *Spray and Wait* [Spyropoulos et al. 2005] em sua variação binária. No mecanismo do LJC, o agregado original mantém  $\lceil \frac{n}{2} \rceil$  tíquetes enquanto o agregado replicado recebe  $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor$  tíquetes. Quando a réplica de um agregado contém apenas um tíquete, o nó custódio deve transferir a custódia para o próximo contato, e, como consequência, o pacote no nó custódio anterior torna-se regular. A réplica recebida pelo novo custódio possui apenas um tíquete.

Assim, a partir do momento em que o número de tíquetes de um pacote sob custódia é igual a 1, o LJC passa a funcionar exatamente como o mecanismo de custódia exclusiva, em que a custódia é transferida a cada contato.

### 3.2. O mecanismo *Forward Custody First* (FCF)

A política de encaminhamento *Forward Custody First* (FCF) dá prioridade total aos agregados sob custódia. Assim, um nó encaminha primeiro os agregados que estão sob sua custódia. Agregados regulares, ou seja, agregados que não estão sob custódia, são encaminhados somente quando não há mais agregados sob custódia. A ideia chave da política FCF é baseada no fato de que agregados sob custódia não podem ser removidos do *buffer* a menos que cheguem ao seu destino ou que o TTL tenha expirado. Do contrário, agregados regulares podem ser descartados por políticas de descarte prematuramente. Assim, encaminhar primeiro um agregado sob custódia pode acelerar o tempo de entrega. Consequentemente, depois de entregue, nós podem remover esse agregado do *buffer*, disponibilizando espaço para novos agregados. Adicionalmente, pode-se aumentar a probabilidade de entrega.

Uma implementação básica dessa política consiste em duas filas isoladas. É necessário observar que em DTNs, quando um nó encaminha um agregado para um nó vizinho, o agregado não é removido do *buffer*, e consequentemente da fila de encaminhamento, a menos que o vizinho seja o destino final. A primeira fila mantém os agregados sob custódia (Fila de Custódias - FC) e a segunda mantém os agregados regulares (Fila de Regulares - FR). Ao estabelecer um contato com um nó vizinho, os agregados da FC são encaminhados primeiramente. Ainda na FC, os agregados com tíquetes de custódia com maior valor têm prioridade. Conforme explicado na seção anterior, o mecanismo LJC estabelece que ao encaminhar um agregado, seus tíquetes são divididos de forma binária. Com essa divisão e dando prioridade no encaminhamento aos agregados com mais tíquetes, a FC passa a ter um comportamento circular, pois um agregado recém-encaminhado tem seus tíquetes divididos e pode ir ao fim da fila. Com isso, obtém-se uma melhor distribuição dos agregados sob custódia na rede. Por fim, os agregados da FR são encaminhados usando o critério FIFO apenas quando a FC está vazia.

Neste artigo, os mecanismos LJC e FCF são utilizados de forma combinada visando analisar os ganhos de desempenho obtidos por cada um. Na Seção 5 os resultados da combinação desses dois mecanismos são apresentados.

## 4. Cenários de avaliação

Nas análises, considerou-se dois diferentes padrões de mobilidade extraídos de conjuntos de dados reais, denominados Rollernet [Tournoux et al. 2009] e Infocom06 [Hui e Lindgren 2008]. Em ambos os conjuntos de dados, que serão referenciados a partir daqui como cenários, os nós armazenam informações sobre todos os seus contatos. O cenário Rollernet foi coletado durante um circuito de patinação realizado em 2006 em Paris e o Infocom06 foi coletado na conferência IEEE Infocom em 2006. Esses dois cenários foram escolhidos com base nos seus peculiares padrões de mobilidade, os quais são indicados pela média de contatos por hora e o tempo de duração desses contatos, exibidos na Tabela 1. Assim, os mecanismos foram avaliados em um cenário onde os nós encontram-se com mais frequência, mas com pouco tempo de contato, Rollernet, e também em um cenário onde os nós possuem menos contatos, mas com tempos de contato

maiores possibilitando mais tempo para a troca de dados, Infocom06. O objetivo é investigar o desempenho dos mecanismos LJC e FCF em cenários com diferentes características de modo a identificar o impacto do número e tempo de contatos no comportamento de cada um deles.

Em [Miranda et al. 2012] as propostas foram analisadas utilizando-se apenas o protocolo *Epidemic*. Neste trabalho, verificou-se o desempenho dos mecanismos LJC e FCF com os protocolos PROPHET [Lindgren et al. 2003] e *Spray and Wait* [Spyropoulos et al. 2005]. A escolha desses protocolos deu-se por serem bastante citados na literatura e por representarem respectivamente duas categorias distintas de disseminação de agregados em redes DTN: replicação probabilística e replicação controlada. Visando minimizar o efeito negativo do roteamento *Epidemic* com relação à sobrecarga inerente aos mecanismos de inundação, alternativas foram propostas baseadas em roteamento probabilístico, como é o caso do PROPHET. Esse protocolo utiliza informações sobre históricos de encontros e, a cada contato, atualiza a probabilidade dos nós se encontrarem novamente. A medida que não há contatos entre dois nós, essa probabilidade é reduzida. Essas informações sobre a probabilidade de encontro são calculadas também de forma transitiva. Assim, a probabilidade de um agregado encontrar o nó destino de forma indireta também é mantida. O PROPHET utiliza então essa probabilidade de encontro para encaminhar os agregados somente para nós com maior probabilidade de entrega. Apesar do PROPHET minimizar os efeitos colaterais do roteamento epidêmico através do roteamento probabilístico, ainda assim não há um controle sobre a quantidade de replicações dos agregados. Os protocolos de replicação controlada, em especial o *Spray and Wait* (SnW), limitam a quantidade de cópias dos agregados na rede reduzindo bastante a sobrecarga enquanto mantém altas taxas de entrega e baixo atraso quando comparados aos de outras categorias de protocolos. O protocolo *Spray and Wait* trata-se uma melhoria do *Epidemic* cujo funcionamento consiste em duas etapas. Na primeira, denominada espalhamento, um nó replica  $L$  vezes o mesmo agregado. Nesse trabalho, essa distribuição é realizada de forma binária, ficando cada nó envolvido em um contato com metade dos tíquetes de replicação do um agregado de forma semelhante ao explicado na Seção 3.1. Na segunda, denominada espera, a disseminação dos agregados é interrompida, e os detentores das réplicas aguardam o encontro com o nó destino para entregá-las.

#### 4.1. Ambiente de simulação

Os mecanismos LJC e FCF são avaliados através de simulações utilizando o simulador *The ONE (Opportunistic Network Environment)* [Keränen et al. 2009]. Nas simulações, as implementações nativas dos protocolos de roteamento PROPHET e *Spray and Wait* são avaliadas nos cenários Rollernet e Infocom06. A transferência de custódia e o mecanismo de custódia compartilhada foram implementadas no ONE basicamente assumindo que os agregados sob custódia são descartados somente quando o TTL expira. Não são considerados o uso de *ACKs* enviados pelo nó destino como forma de remover os agregados dos *buffers*. Também foram introduzidos no simulador esquemas de prioridade em diferentes filas utilizadas pela política FCF conforme detalhado na Seção 3.2. No caso específico do protocolo PROPHET, a política FCF é combinada com a política de encaminhamento GRTRMax, nativa do protocolo. Na política GRTRMax, o encaminhamento é feito apenas para nós que tenham maior probabilidade de contato com o nó destino dos agregados do que o nó que detém a mensagem. Alterou-se então seu com-

portamento para que, dentre os agregados mais prováveis de chegar ao destino a partir do contato atual, encaminhem-se primeiramente os sob custódia e, como critério de desempate, encaminhem-se os agregados com maior probabilidade de entrega.

Os parâmetros das simulações são definidos baseados em características específicas dos cenários. As diferentes durações dos experimentos apresentados por cada cenário implicam valores distintos de TTL, carga de tráfego e tamanhos de *buffer*, como indicado na Tabela 1. O TTL é definido baseado nos resultados apresentados por Naves *et al.* [Naves et al. 2012]. Com os valores de TTL considerados, aproximadamente 90% dos agregados chegam ao seu destino usando o protocolo *Epidemic* em ambos os cenários. Durante cada rodada de simulação, os pares fonte-destino de cada agregado são escolhidos aleatoriamente, com distribuição uniforme. O tamanho do *buffer* é proporcional à carga de tráfego. Especificamente para o protocolo *Spray and Wait* são definidas maiores cargas de tráfego visando colocar a rede sob situação de estresse e analisar principalmente o comportamento do uso de várias custódias em situações onde exista o transbordamento de *buffer*. Ainda para o protocolo *Spray and Wait*, o número máximo de replicações para cada agregado foi definido considerando-se a metade do número de nós.

**Tabela 1. Parâmetros das simulações e dos cenários.**

Parâmetros/Cenário	Rollernet	Infocom06
Duração ( $\approx$ )	3 horas	4 dias
Número de dispositivos	62	98
Número de contatos	15.803	74.224
Média de contatos por hora	5.704,96	796,21
Tempo de contato médio (s)	21,75	408
Tempo de contato máximo(s)	488	40.550
TTL (minutos)	60	2014
Número de agregados PRoPHET	500	5000
Número de agregados SnW	2000	20000
Tamanho dos agregados(MB)	1	1
Tamanho do Buffer(MB)	10-50	100-500

## 5. Resultados

Esta seção apresenta os resultados da avaliação de desempenho do mecanismo LJC e da política de encaminhamento FCF. O principal objetivo é analisar o impacto da custódia compartilhada e da política de encaminhamento no desempenho da rede em termos de taxa de entrega, sobrecarga e atraso de entrega. Primeiro, são analisados os mecanismos de custódia exclusiva e compartilhada. Assim, consideram-se os protocolos sem o uso de custódias (GRTRMax-SC e FIFO-SC), os protocolos com custódia exclusiva (GRTRMax-CE e FIFO-CE), e o mecanismo proposto LJC utilizando  $i$  agregados sob custódia (GRTRMax-LJC $_i$  e FIFO-LJC $_i$ ). Nesses casos, todos os mecanismos do protocolo PRoPHET usam GRTRMax e os do *Spray and Wait* usam FIFO como políticas de encaminhamento. Em seguida, é avaliado o impacto de priorizar os agregados sob custódia exclusiva usando a política de encaminhamento proposta FCF em lugar de GRTRMax e FIFO com ambos os protocolos (FCF-CE). Finalmente, as propostas LJC e FCF são incorporadas aos protocolos em questão (FCF-LJC $_i$ ) visando avaliar a custódia compartilhada e a priorização de agregados sob custódia operando simultaneamente. Em todas

as configurações mencionadas anteriormente, os agregados regulares são descartados dos *buffers* baseados em uma política FIFO. Usa-se um intervalo de confiança de 95% nos resultados e barras de erro são exibidas como linhas verticais em cada ponto dos gráficos.

### 5.1. Taxa de Entrega

A taxa de entrega é a razão entre o número de agregados que atingem seu o nó de destino e o número de agregados enviados pelos nós de origem. Cópias não são computadas. As Figuras 1 e 2 mostram como o tamanho do buffer afeta a taxa de entrega para todos os mecanismos em ambos cenários. Dois aspectos podem ser claramente observados. Primeiro, quanto maior o tamanho do *buffer*, maior é a taxa de entrega para todos os mecanismos devido à redução do número de mensagens descartadas. Segundo, o uso dos mecanismos de custódia – exclusiva ou compartilhada – aumenta a taxa de entrega. Na verdade, os mecanismos de custódia garantem pelo menos uma cópia de cada agregado na rede e que essa cópia é descartada apenas se seu TTL expirar. Agregados regulares, ao contrário, podem ser descartados prematuramente por políticas de descarte. Assim, a disponibilidade de agregados sob custódia aumenta e, conseqüentemente, a probabilidade de um agregado chegar ao seu destino também aumenta.

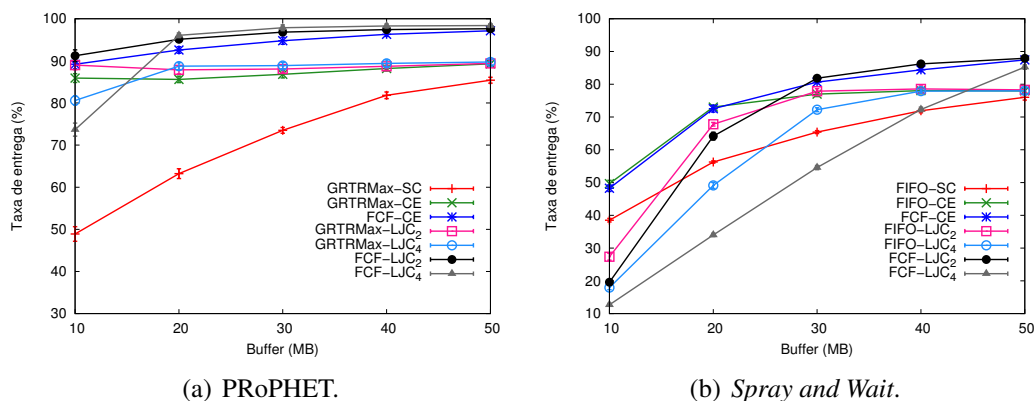


Figura 1. Taxa de entrega no cenário Rollernet.

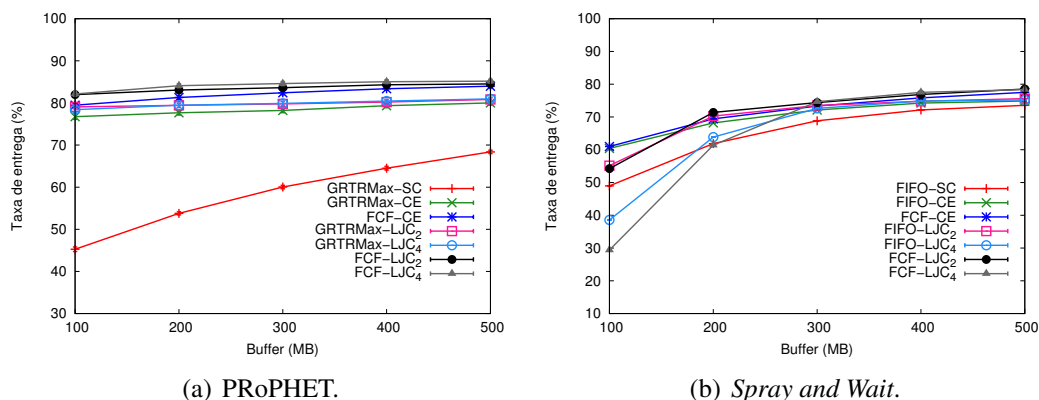


Figura 2. Taxa de entrega no cenário Infocom06.

As Figuras 1(a) e 2(a) mostram os resultados para os cenários Rollernet e Infocom06 para o protocolo PRoPHET. Os resultados no cenário Infocom06 com o PRoPHET são



bastante similares. O mecanismo proposto FCF-LJC<sub>i</sub> obtém a maior taxa de entrega do que os mecanismos de custódia exclusiva (FIFO-CE e FCF-CE) não importando o número de custódias por agregado.

LJC supera a custódia exclusiva porque incrementa o número de réplicas dos agregados sob custódia pela rede e assim incrementa a probabilidade de entrega. Além do mais, com a política FCF, também se garante que os agregados sob custódia sejam encaminhados mais frequentemente que os agregados regulares devido à maior prioridade de encaminhamento. Portanto, com a combinação de LJC e FCF, temos mais agregados com prioridade na rede e assim, os mecanismos analisados atingem maiores taxas de entrega. O mecanismo FCF-LJC<sub>4</sub>, com 4 custódias por agregado, apresenta a maior taxa de entrega para todos os tamanhos de buffer no protocolo PROPHET e atinge nos cenários Rollernet e Infocom as taxas de entrega de aproximadamente 98% e 85% para os tamanhos de buffer de 50 MB e 500 MB.

Os resultados para protocolo *Spray and Wait* são exibidos nas Figuras 1(b) e 2(b). As configurações FCF-CE e FCF-LJC<sub>2</sub> atingem taxas de entrega de aproximadamente 85% e 78% para os cenários Rollernet e Infocom06 respectivamente em seus maiores tamanhos de buffer. Porém, deve-se observar que o uso de custódia compartilhada, especialmente com 4 réplicas por agregado, é ineficiente para os tamanhos de buffers iniciais. Isso é justificado pela ação do mecanismo de replicação inerente ao protocolo ao limitar a propagação dos agregados. Com isso, ocorrem menos encaminhamentos, fazendo com que os tíquetes de custódia não sejam distribuídos. Consequentemente, os nós com buffers de tamanho reduzido ficam congestionados com agregados sob custódia, por não poderem realizar descartes. Esse congestionamento impede que novos agregados sejam recebidos e, consequentemente, a distribuição desses agregados na rede fica comprometida, tendo como principal consequência a redução da taxa de entrega. O mesmo não ocorre com a custódia exclusiva, pois a cada encaminhamento na fase de espalhamento, ocorre a transferência de custódia, deixando os agregados recém-encaminhados no nó de origem sujeitos ao descarte caso o buffer chegue ao seu limite.

É importante também evidenciar que a política de encaminhamento FCF tem o maior impacto na taxa de entrega que o mecanismo LJC para ambos os protocolos, como mostrado nas Figuras 1 e 2. Esse resultado deve-se à priorização dos agregados sob custódia. Essa priorização não somente aumenta a disponibilidade dos agregados, mas o mais importante, incrementa a probabilidade de entrega dos agregados, pois são mais prováveis de encontrar seu destino. Adicionalmente, FCF supera FIFO porque a política proposta não sofre do problema conhecido como cabeça de linha (*head-of-line problem*) [Ip et al. 2007]. Com FIFO, os agregados mais antigos no buffer são encaminhados primeiro durante um contato. Consequentemente, os agregados nas primeiras posições da fila são frequentemente encaminhados enquanto os que estão no fim da mesma raramente o são. Portanto, conclui-se que os mecanismos analisados aumentam a taxa de entrega para esses distintos cenários, em termos de tempo de contato e conectividade, para os protocolos PROPHET e *Spray and Wait* quando comparados às configurações sem o uso de mecanismos de custódia.

## 5.2. Atraso de Entrega

O atraso de entrega dos agregados é dado pelo intervalo entre o momento em que o agregado é enviado pelo nó de origem até o momento em que atinge seu destino.

As Figuras 3 e 4 exibem o atraso médio de todos os agregados entregues nos cenários Rollernet e Infocom06. A maioria dos resultados ratificam a ideia de que a política FCF reduz o atraso por priorizar os agregados sob custódia. No cenário Rollernet, Figura 3, para o tamanho de *buffer* igual a 50 MB, FCF-LJC<sub>4</sub> reduz 23% (Prophet) e 22% (SnW) os tempos de entrega quando comparado com todas às políticas baseadas em GRTRMax e FIFO. Para o tamanho de *buffer* igual a 500 MB no cenário Infocom06, Figura 4(b), a FCF-LJC<sub>2</sub> reduz em aproximadamente 11% o tempo de entrega dos agregados em relação às políticas baseadas em FIFO.

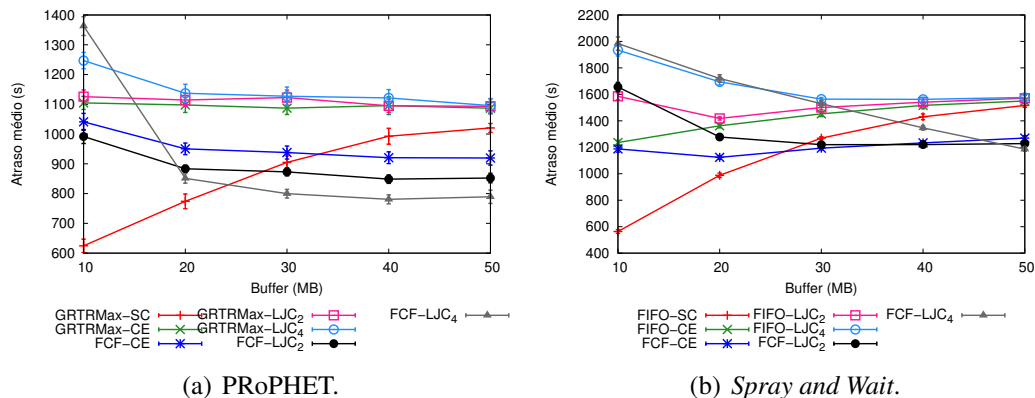


Figura 3. Atraso médio de entrega no cenário Rollernet.

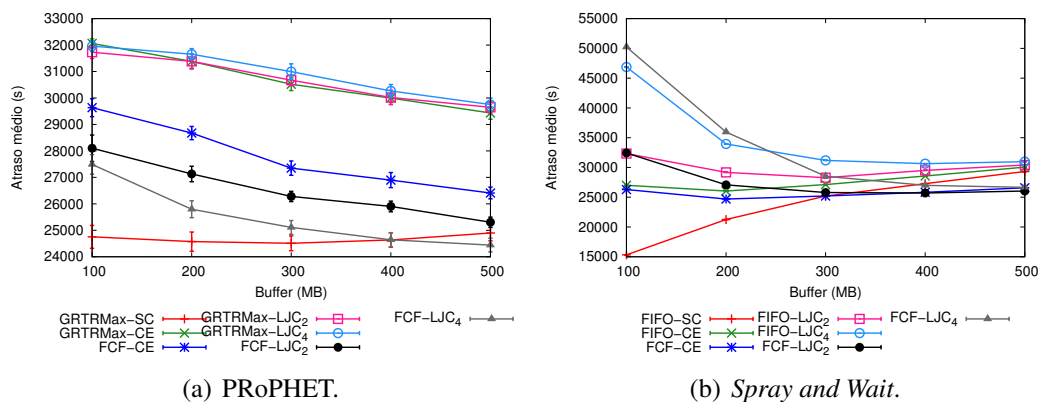


Figura 4. Atraso médio de entrega no cenário Infocom06.

A política FCF garante que um agregado com tíquetes restantes será encaminhado pelo menos uma vez pelo seu nó receptor antes que seja movido para a fila de regulares. Assim, esse agregado pode ser encaminhado mais rapidamente, pois tem prioridade. Por outro lado, o problema denominado cabeça de linha experimentado pela política de encaminhamento FIFO aumenta o tempo de entrega dos agregados. Sem priorização, os agregados recebidos recentemente por um nó, devem esperar nos *buffers* até ficarem antigos suficiente para alcançar o início da fila. Uma vez no início da fila, o agregado é encaminhado. Esse atraso pelo qual os agregados passam depende tanto do tamanho do *buffer* quanto da dinâmica entre os contatos. Assim, quanto maior o tamanho do *buffer*, mais demorado é o tempo de espera por um encaminhamento. Os agregados também podem ser descartados por uma política de descarte durante esse período de espera, o que reduz a taxa de entrega.

Particularmente, o problema cabeça de linha também explica o baixo atraso de entrega provido pelo mecanismo FIFO-SC quando comparada a todos os outros mecanismos baseados em FIFO nos dois cenários. De fato, FIFO-SC apenas entrega os agregados enviados durante a inicialização da rede, como observado por Lindgren e Phanse [Lindgren e Phanse 2006], o que é corroborado pelo baixo desempenho do mecanismo FIFO-CE em termos de taxa de entrega, como mostrado nas Figuras 1 e 2. Os primeiros agregados enviados pela rede experimentam baixo tempo de atraso porque os *buffers* estão quase vazios. Portanto, o atraso médio é baixo, uma vez que são levados em conta apenas os agregados entregues para calcular essa métrica.

Um ponto a ser observado é que no cenário Infocom06 com o protocolo PRoPHET (Figura 4(a)) o comportamento do atraso médio é distinto dos demais. O mecanismo sem custódia (GRTRMax-SC) possui o menor atraso. Isso se deve à atuação mais eficiente da política GRTRMax, pois nesse cenário há um número de contatos muito superior ao do Rollernet como mostra a Tabela 1. Assim, quanto mais contatos, mais efetivamente são mantidas as probabilidades de futuros encontros, ocasionando encaminhamentos para nós com maior probabilidade de entrega e com menor atraso. Já os mecanismos GRTRMax-LJC<sub>i</sub> possuem atraso maior devido ao mecanismo LJC propiciar maiores taxas de entrega (Figura 2(a)) em relação à GRTRMax-SC, o que resulta na entrega de agregados que inclusive possuem maior atraso. Por fim, os mecanismos FCF-LJC<sub>i</sub> ocupam posição intermediária devido à política FCF ser híbrida nesse protocolo, ou seja, primeiro os agregados sob custódia são encaminhados e, como critério de desempate, os com maior probabilidade de entrega. Ainda assim, percebe-se a tendência dos mecanismos que utilizam FCF superarem a implementação sem custódia, pois com valores de *buffers* a partir de 400 MB, o esquema FCF-LJC<sub>4</sub> passa a ter atraso inferior ao do mecanismo GRTRMax-SC.

### 5.3. Sobrecarga

A sobrecarga  $S$  é calculada de acordo com a seguinte equação:  $S = \frac{a_{enc} - a_{ent}}{a_{ent}}$ , onde  $a_{enc}$  é o número de agregados encaminhados e  $a_{ent}$  é o número de agregados entregues. Múltiplas cópias do mesmo agregado que tenham sido recebidos pelo nó destino não são computados. Portanto, a sobrecarga indica quantas ações de encaminhamento em média são necessárias para entregar um agregado.

A Figura 5 exibe a sobrecarga para o cenário Rollernet. Por limitação de espaço e similaridade entre os resultados nos dois cenários, os resultados para o cenário Infocom06 foram suprimidos. Claramente, o uso de custódia reduz a sobrecarga. Nesse caso, os agregados sob custódia não são descartados por políticas de descarte e assim os nós tendem a carregá-los por um período de tempo maior. Consequentemente, mais cópias desses agregados são encaminhadas e, como resultado, mais agregados atingem seus destinos, o que reduz a sobrecarga por agregado entregue. Os mecanismos que utilizam FCF, em geral, obtêm menor sobrecarga que os mecanismos que utilizam FIFO porque eles atingem maiores taxas de entrega. Todas as configurações FCF-LJC<sub>i</sub> superam as demais configurações em ambos os protocolos analisados. Isso é bem evidenciado para o tamanho de *buffer* igual a 10 MB, o mais restrito e onde ocorre o maior número de descartes. Para esse tamanho, FCF-CE obtém no *Spray and Wait* uma redução de aproximadamente 47% da sobrecarga em relação à implementação sem o uso de custódias. Para o protocolo PRoPHET essa melhoria é ainda mais evidente, chegando a FCF-LJC<sub>4</sub> a obter 73% de redução da sobrecarga quando comparado mecanismo FIFO-SC.

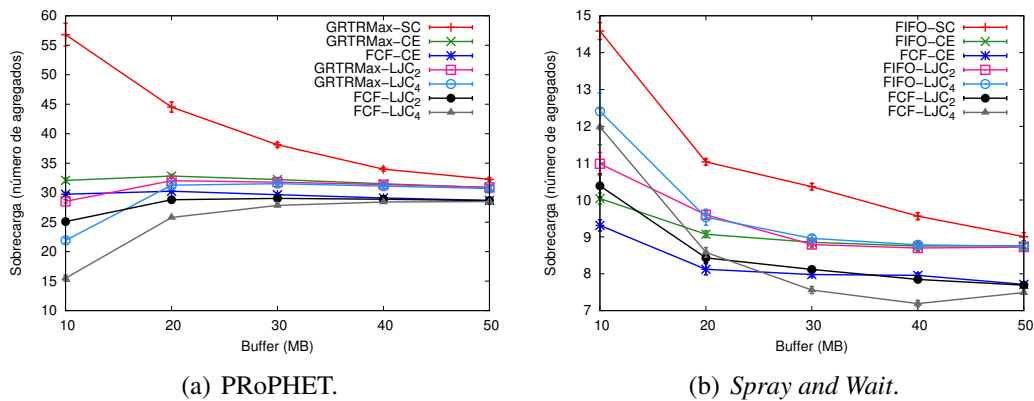


Figura 5. Sobrecarga no cenário Rollernet.

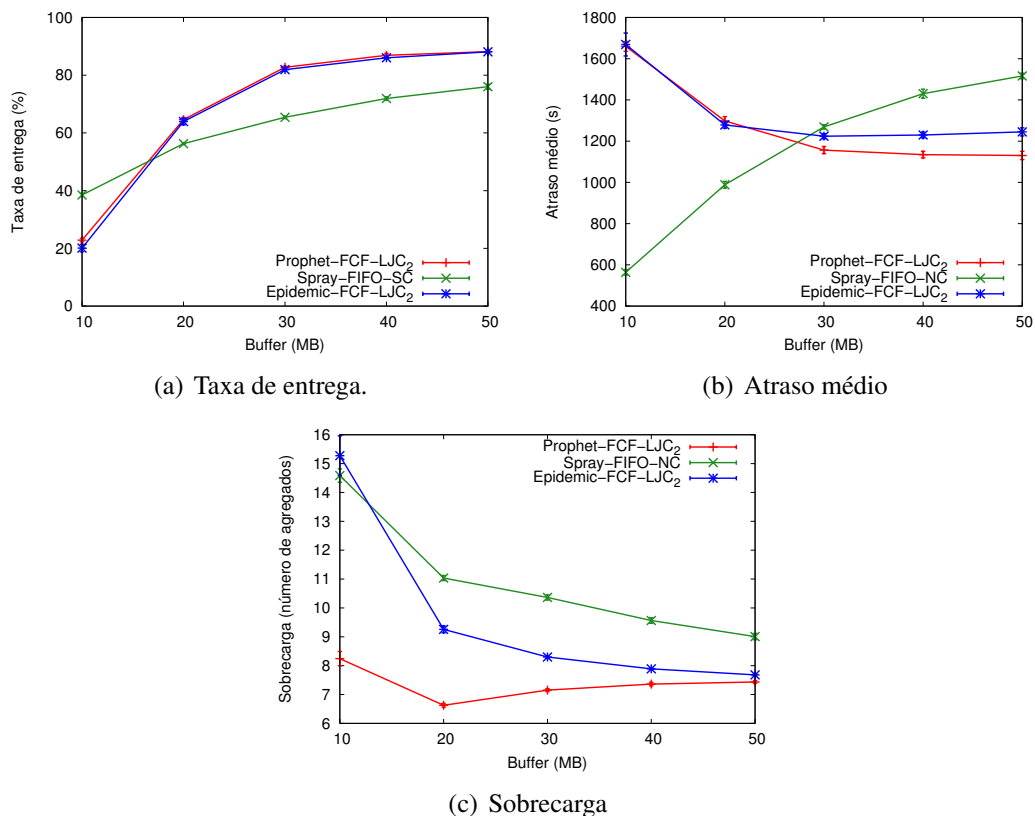
#### 5.4. Uma alternativa ao *Spray and Wait*

Nesta seção é realizada uma comparação do mecanismo combinado FCF-LJC nos protocolos *Epidemic* e PRoPHET com a versão sem o uso de custódia do *Spray and Wait*. O intuito é mostrar que é possível oferecer uma taxa de entrega maior que o *Spray and Wait*, com uma sobrecarga menor e com atraso melhor para um maior volume de tráfego. A Figura 6 exibe essa comparação.

Dentre os mecanismos FCF-LJC<sub>*i*</sub>, foi escolhido o FCF-LJC<sub>2</sub> por apresentar melhor desempenho geral com a configuração de 2000 agregados para o cenário Rollernet. As seguintes considerações são relacionadas ao tamanho de *buffer* de 50 MB. Em relação ao *Spray and Wait*, os protocolos PRoPHET e *Epidemic* apresentam uma taxa de entrega aproximadamente 12% maior. Verifica-se também que com o PRoPHET e *Epidemic* o atraso médio de entrega são aproximadamente 26% e 18% menores, respectivamente. Por fim, o mecanismo FCF-LJC<sub>2</sub> com os protocolos PRoPHET e *Epidemic* obtêm sobrecargas aproximadamente 18% e 15% menores que a apresentada pelo protocolo *Spray and Wait*. Assim, as propostas analisadas nesse trabalho apresentam relevantes melhorias de desempenho. Podemos concluir ainda que um protocolo híbrido baseado em replicação probabilística e com replicação controlada, como o mecanismo FCF-LJC<sub>2</sub> sobre o protocolo PRoPHET, se comporta como a melhor configuração possível dentre as analisadas e se destaca como uma alternativa ao protocolo de replicação controlada *Spray and Wait* em cenários com maior volume de tráfego.

## 6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Nesse artigo, foram avaliados os mecanismos *Limited Joint Custody* (LJC) e *Forward Custody First* (FCF) para redes DTNs. O LJC emprega a custódia compartilhada e limita o número de custódias por agregado na rede. O FCF é uma política de encaminhamento que prioriza agregados sob custódia. Através de simulações, foi avaliado o desempenho de ambos os mecanismos com os protocolos PRoPHET e *Spray and Wait* em dois cenários reais de mobilidade. Os principais resultados mostram que a combinação de LJC e FCF proporciona um aumento significativo de desempenho em termos da taxa de entrega, atraso e sobrecarga. A explicação para tais ganhos é a seguinte. O LJC aumenta o número de réplicas de agregados sob custódia na rede. O FCF, por sua vez, dá total prioridade aos agregados sob custódia e, assim, encaminha esses agregados



**Figura 6. Comparação no cenário Rollernet entre os Protocolos *Epidemic* e *PROPHET* com o uso de custódia e o *Spray and Wait* em sua versão padrão.**

primeiro e mais frequentemente que os agregados regulares. Assim, a combinação FCF-LJC obtém mais agregados com prioridade na rede atingindo maiores taxas de entrega e menores atrasos. Outra conclusão importante é que, mesmo os protocolos de replicação controlada obtendo desempenho superior às demais categorias de protocolos, com FCF-LJC combinados ao protocolo de replicação probabilística PROPHET, obtém-se uma alternativa mais eficiente do que o protocolo de replicação controlada *Spray and Wait* para cenários com maior número de agregados na rede. Também se verificou nesses cenários que não há melhoria no desempenho com o uso de mais de duas custódias por agregado. Os trabalhos futuros incluem incorporar e avaliar diferentes mecanismos concedendo ou revogando custódias de forma probabilística. Pretende-se também avaliar a negociação de transferência de custódia baseada em taxas de ocupação de *buffer* e o desempenho das propostas com protocolos baseados em métricas sociais.

## 7. Agradecimentos

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

## Referências

Cao, Y. e Sun, Z. (2012). Routing in delay/disruption tolerant networks: A taxonomy, survey and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, páginas 1–24.

- Chuah, M.-C., Yang, P., Davison, B. D. e Cheng, L. (2006). Store-and-forward performance in a DTN. Em *IEEE VTC'06*.
- Fall, K. (2003). A delay-tolerant network architecture for challenged internets. Em *ACM SIGCOMM'03*.
- Fall, K. e Farrell, S. (2008). DTN: an architectural retrospective. *IEEE JSAC*, páginas 828–836.
- Fall, K., Hong, W. e Madden, S. (2003). Custody transfer for reliable delivery in delay tolerant networks. Relatório técnico, Intel Research, Berkeley, California.
- Hui, P. e Lindgren, A. (2008). Phase transition of opportunistic communications. Em *ACM Workshop on Challenged networks*.
- Ip, Y.-K., Lau, W.-C. e Yue, O.-C. (2007). Forwarding and replication strategies for DTN with resource constraints. Em *IEEE VTC'07*.
- Keränen, A., Ott, J. e Kärkkäinen, T. (2009). The ONE simulator for DTN protocol evaluation. Em *SIMUTools'09*.
- Khabbaz, M. J., Assi, C. M. e Fawaz, W. F. (2012). Disruption-tolerant networking: A comprehensive survey on recent developments and persisting challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, páginas 607–640.
- Lindgren, A., Doria, A. e Schelén, O. (2003). Probabilistic routing in intermittently connected networks. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, páginas 19–20.
- Lindgren, A. e Phanse, K. S. (2006). Evaluation of queueing policies and forwarding strategies for routing in intermittently connected networks. Em *COMSWARE'06*.
- Miranda, E., Naves, J. F., Moraes, I. M. e Velloso, P. B. (2012). A joint custody-based forwarding policy for delay-tolerant networks. Em *IEEE GIIS'12*.
- Naves, J. F., Moraes, I. M. e de Albuquerque, C. V. N. (2012). LPS and LRF: Efficient buffer management policies for delay and disruption tolerant networks. Em *IEEE LCN'12*.
- Oliveira, C. T., Moreira, M. D. D., Rubinstein, M. G., Costa, L. H. M. K. e Duarte, O. C. M. B. (2007). Redes tolerantes a atrasos e desconexões. Em *Minicursos do SBRC*.
- Soares, V. S., Farahmand, F. F. e Rodrigues, J. R. (2010). Performance analysis of scheduling and dropping policies in vehicular delay-tolerant networks. *International Journal on Advances in Internet Technology*, páginas 137–145.
- Spyropoulos, T., Psounis, K. e Raghavendra, C. S. (2005). Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. Em *ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant networking*.
- Spyropoulos, T., Rais, R. N. B., Turletti, T., Obraczka, K. e Vasilakos, A. (2010). Routing for disruption tolerant networks: taxonomy and design. *Wireless Networks*, páginas 2349–2370.
- Tournoux, P.-U., Leguay, J., Benbadis, F., Conan, V., de Amorim, M. D. e Whitbeck, J. (2009). The accordian phenomenon: Analysis, characterization, and impact on DTN routing. Em *IEEE INFOCOM'09*.
- Wang, Y., Wu, J., Jiang, Z. e Li, F. (2012). A joint replication-migration-based routing in delay tolerant networks. Em *IEEE ICC'12*.