

ASPECTOS SOCIAIS COMO SUPORTE AO ROTEAMENTO EM REDES OPORTUNISTAS

Bryan Larry Pond*, Antonio C. Oliveira Júnior*, Waldir Moreira†

*Universidade Federal de Goiás (UFG/CAC/DCC), Catalão – Brasil

†Universidade Lusófona, SITILabs, Lisboa - Portugal

bryan.pond2012@gmail.com, antonio@catalao.ufg.br, waldir.junior@ulusofona.pt

Resumo - Neste artigo é abordada a utilização de aspectos sociais (e.g. noção de comunidades e rotinas diárias dos usuários) como suporte ao encaminhamento em redes oportunistas. Apresentam-se conceitos e protocolos de roteamento oportunista baseado em aspectos sociais. Resultados iniciais demonstram a viabilidade de tais protocolos utilizando o simulador ONE (Opportunistic Network Environment simulator).

Palavras-Chave - aspectos sociais, inclusão digital, Internet rural, roteamento oportunista, Wi-Fi.

SOCIAL ASPECTS SUPPORTING OPPORTUNISTIC ROUTING

Abstract - In this paper is addressed the use of social aspects (e.g. notion of communities and users' daily routines) to support routing in opportunistic networks. It is described concepts and routing protocols based in social aspects. Initial results show the viability of such protocols using the ONE simulator (Opportunistic Network Environment simulator).

Keywords - DTN, social aspects, digital inclusion, rural Internet, opportunistic routing, Wi-Fi.

I. INTRODUÇÃO

A falta de infraestrutura de redes e tecnologias de comunicação e serviços motivou o surgimento de tecnologias alternativas. Apesar de esforços públicos e privados dos diversos setores da sociedade, a população sofre com a falta de conectividade a Internet gerando prejuízos sociais, culturais e econômicos imensuráveis.

Neste cenário, redes oportunistas [1] se mostram cada vez mais promissoras para o encaminhamento por necessidade, onde a informação é passada a nós intermediários até que chegue ao destino, estratégia denominada store-carry-and-forward. Uma vantagem desse modelo em relação à internet convencional é que redes oportunistas transmitem oportunistamente, de acordo com necessidade e oportunidade de envio e de modo que a comunicação pode ocorrer mesmo

que não exista uma rota que una diretamente os nós e sem a necessidade de conhecimento prévio da topologia.

Estratégias como redes oportunistas vem sendo cada vez mais motivadas como forma de inclusão digital e conectividade em zonas remotas onde não há infra-estrutura para o modelo convencional de Internet. Conectividade em zonas rurais vem recebendo especial atenção em projetos relacionados a redes oportunistas. Estruturas já existentes como centros de saúde, sedes de organizações, cooperativas podem ser usadas como um ponto de acesso para encaminhamento de mensagens entre seus usuários. Em outros casos onde não há absolutamente nenhuma estrutura ainda pode-se fazer o encaminhamento oportunista entre os nós (usuários carregando dispositivos móveis).

O encaminhamento oportunista é um fator crucial e o uso de aspectos sociais pode ser usado como fator de decisão para gerar um grafo social da rede, de acordo com o círculo social de cada nó, e assim determinar como transmitir informação de modo mais eficiente possível.

Este trabalho está inserido no escopo de um projeto onde inicialmente pretende-se expor conceitos relacionados a redes e roteamento oportunistas com foco em protocolos de roteamento com base em aspectos sociais.

Neste artigo é abordado o fator social como fonte de informação e suporte, para a tomada de decisões de protocolos de roteamento em redes oportunistas. Apresenta-se descrições de conceitos relacionados a redes oportunistas, protocolos de encaminhamento baseado em aspectos sociais (e.g. noção de comunidades e rotinas diárias dos usuários). Utilizando o simulador ONE (Opportunistic Network Environment), é apresentado um estudo comparativo entre dois protocolos que utilizam o fator social para encaminhamento, dLife [2] e Bubble Rap [3].

Este artigo é organizado da seguinte forma. Após a introdução, a seção II descreve os conceitos de redes oportunistas juntamente com a arquitetura DTN, tipos de contatos e cenários de aplicações. A seção III dedica-se a protocolos de roteamento que utilizam aspectos sociais como suporte ao encaminhamento. Na seção IV é apresentado os resultados de performance de dois protocolos que utilizam o fator social em um cenário real utilizando o simulador ONE. As conclusões deste trabalho são discutidas na seção V.

II. REDES OPORTUNISTAS E DTN

Redes oportunistas vem demonstrando ser soluções atrativas quando a Internet convencional não se mostra viável. Aplicações em ambientes onde não se dispõe de uma infra-estrutura de comunicação adequada, localidades rurais e/ou em áreas de desastres, são bons exemplos de cenários



XI CEEL – ISSN 2178-8308
25 a 29 de novembro de 2013
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

que podem usufruir de uma estratégia oportunista para o encaminhamento de informação.

O conceito de redes oportunistas segue a abordagem de redes tolerantes a atrasos e desconexões (DTNs) [4], onde não há necessidade de conhecimento da topologia, e o encaminhamento é feito oportunisticamente ao longo dos contatos esporádicos que ocorrem ao passar do tempo.

Entretanto, as redes oportunistas são altamente dinâmicas, composta por dispositivos móveis e fixos e tira vantagem dos contatos oportunisticamente ao longo da variação do tempo para trocar informações carregadas pelos usuários. As principais características são conectividade intermitente, composta de nós fixos a nós com alta mobilidade, dispositivos móveis com restrição de bateria e a possibilidade de não existência de um caminho fim-a-fim entre a fonte e o destino. Eficiência energética tem recebido especial atenção nos últimos anos devido ao aquecimento global. Então, mecanismos para suporte ao roteamento energeticamente eficiente devem ser considerados [5].

Originalmente o conceito inicial de DTNs foi motivado para melhorar a comunicação interplanetária da época [4]. Posteriormente esse conceito passou para ambientes de rede além do espacial, como zonas remotas, zonas rurais e outros com altas e variáveis taxas de erro e atrasos, propiciando assim o conceito de redes oportunistas. Para esses cenários de rede a arquitetura TCP/IP (usada na internet convencional) não é ideal, visto que o seu principal protocolo de comunicação, o TCP funciona em três estágios: estabelecer conexão, transferência de dados e encerramento de conexão, lembrando também das confirmações (ACKs) de cada estágio.

Em ambientes onde a comunicação levaria minutos, horas ou dias se mostra inviável cumprir todos esses estágios com o atraso, desta forma surgiu a proposta de uma rede baseada no esquema de store-carry-and-forward (SCF), esquematizada na Fig. 1, e o Bundle Protocol [4]. Para usar a estratégia de SCF temos uma nova camada na pilha de protocolos a Bundle layer (camada de agregação) funcionando abaixo da camada de aplicação.

A camada de agregação usa armazenamento persistente para armazenar mensagens, lidando com os problemas de atraso e conexão, que na internet seriam perdidas [2]. A comunicação funciona enviando a mensagem (bundles ou agregados) inteira ou em parcelas por nós intermediários até alcançar o destinatário. Se a mensagem for dividida pela camada de agregação para ser enviada, ela é reconstruída na camada de agregação do destino. Uma mensagem que é perdida pode ser retransmitida através de algum nó intermediário que tenha a mensagem.

Para transmitir nó a nó, usando o paradigma store-carry-and-forward o transmissor pode se valer da transferência de custódia [4]. Quando um nó tem a custódia de um bundle (agregado), ele transmite esse agregado com um pedido de transferência de custódia e aguarda um ack. Se o nó receptor aceitar essa transferência de custódia ele retorna um ack para que o agregado possa ser apagado no nó anterior. Assim um agregado só é apagado em um nó intermediário quando a custódia passa para um novo nó ou quando o Time To Live (TTL) desse agregado acabar, em redes com altas taxas de atraso, como redes oportunistas, o TTL pode ser de horas ou

até mesmo dias, para lidar com os atrasos e desconexões comuns desse modelo.

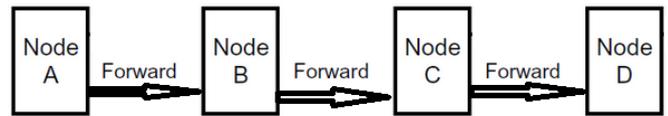


Fig. 1. Esquema store-carry-and-forwarding.

Em redes que usam a abordagem de DTNs cada nó é nomeado em ID da região e ID da entidade. Assim para tráfegos entre redes diferentes o gateway só precisa conhecer o ID região, e internamente o ID de entidade (ID específico do nó).

A. Tipos de contato

Em redes com conexões intermitentes, em contrariedade a Internet convencional, temos a característica de que um nó nem sempre pode estar disponível, assim o conceito de contato é um importante fator de consideração. Um contato corresponde a uma ocasião favorável para os nós trocarem dados [6]. No conceito de DTNs contatos podem ser classificados como persistentes, sob demanda, previsíveis, programados e oportunistas.

1) Contatos persistentes

São contatos que estarão sempre disponíveis. Uma conexão de usuário com a Internet é um exemplo de contato persistente.

2) Contatos sobre demanda

São aqueles que precisam ser acionados e então se comportam como contatos persistentes. Um exemplo seria um usuário usando uma conexão discada de Internet [6].

3) Contatos previsíveis

Quando os nós podem fazer previsões sobre o horário e duração do contato, temos um contato previsível. Essas previsões podem ser baseadas em históricos onde contatos anteriores permitem algum nível de segurança. Uma rede em uma área rural, exemplificada na Fig. 2, onde um ônibus funciona como intermediário para transportar a informação seria um bom exemplo de contato previsível, baseado em histórico teríamos o horário que o ônibus chega ao ponto e o tempo que fica parado. Porém previsões estão sujeitas a erros, visto que não se pode prever acidentes ou engarrafamentos no caso do ônibus por exemplo.

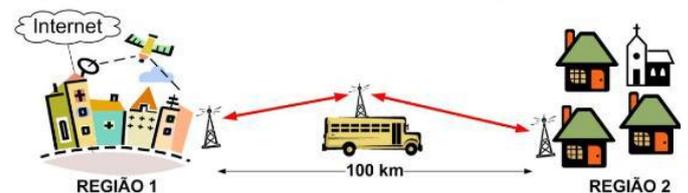


Fig. 2. Contato previsível de uma DTN em zona rural [6].

4) Contatos programados

Pode-se estabelecer uma rotina de comunicação entre nós, quando ocorrerá o contato e a sua duração, chamemos de agenda de contato. Para contatos programados é necessária uma sincronização entre os nós participantes.

5) Contatos oportunistas

São aqueles que não se pode prever ou definir momento nem duração do contato. Não há nenhuma conexão direta ou conhecimento da topologia pelos nós, são contatos puramente aleatórios entre os nós da rede até alcançar o destinatário. Um exemplo seria uma Pocket-switch-network [7] formada pelos aparelhos de usuários em uma universidade por exemplo.

B. Cenários

Como a topologia da rede pode estar sempre mudando, nós estão em movimento ou nem sempre estão disponíveis, assim surge a necessidade de protocolos específicos para lidar com a variabilidade da topologia.

Na literatura o grau de conhecimento sobre a topografia da rede e suas variações costuma ser dividido em dois cenários, o cenário dinâmico e o determinístico, cada qual com várias propostas de roteamento.

1) Cenário dinâmico

Nesse cenário a movimentação dos nós não é completamente conhecida e as rotas não podem ser calculadas. Assim os nós não tem conhecimento prévio do estado da rede, os protocolos para esse tipo de cenário sugerem que oportunisticamente a informação seja transmitida para outro nó até alcançar o destinatário.

A proposta mais simples de roteamento para cenários dinâmicos é o roteamento epidêmico [8]. Nessa proposta de roteamento como é característico de cenários dinâmicos, pressupõe-se que o nó de origem não tem nenhuma informação quanto à topologia da rede. A estratégia de transmissão usada é semelhante a uma epidemia onde o nó fonte transmite para todos os nós que venha a encontrar até que a mensagem consiga atingir seu destino. Ou seja, quanto maior o número de nós atingidos maior a chance de a mensagem ser entregue ao destinatário. Contudo essa estratégia apresenta múltiplas desvantagens como desperdício de recursos.

2) Cenário determinístico

Temos um cenário determinístico quando os contatos, sua duração e a topologia da rede são conhecidos pelos nós. Com isso os nós podem conhecer os contatos e o caminho até o destino.

Um dos modelos propostos para cenários determinísticos é o modelo de grafos evolutivos [9]. Esse modelo baseia-se no conceito de que se os nós da rede conhecerem o momento em que determinado enlace estiver ativo, ele pode escolher o melhor caminho para enviar a mensagem até o destino.

C. Aplicações

Nesta seção são mostradas algumas aplicações ou projetos que fazem uso de redes oportunistas ou DTNs em opção a Internet convencional.

1) ZebraNET

Realizado pela Universidade de Princeton, colares com sensores sem fio são colocados em zebras [10], para analisar seu comportamento, como mostrado na Fig. 3. Os colares armazenam e trocam informações entre si, seguidamente e de

forma programada, transmitindo-as a uma estação móvel que coleta os dados.

Assim é formada uma rede oportunista onde o único destinatário de mensagens é a estação base, e as zebras são os nós. Se um nó não estiver no alcance da estação ele pode transmitir para outro mais próximo até alcançar o destino.



Fig. 3. ZebraNET [10].

2) DTNs usando trafego aéreo

Dissertação de Mestrado onde Marcelo Cirelle Lucas de Melo propôs uma avaliação da possibilidade de se utilizar a estrutura do transporte aéreo para troca de mensagens em DTNs [6].

3) Drive-thru Internet

Um projeto da Universidade de Tecnologia de Helsinki, mostrado na Fig. 4 [11], para levar Internet à estradas, para que os usuários em veículos possam se comunicar com pontos de acesso ou entre si.

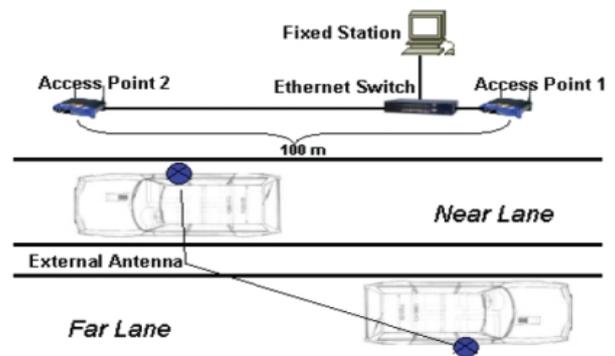


Fig. 4. Modelo para comunicação em estradas e afins [11].

III. PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO OPORTUNISTA BASEADOS EM ASPECTOS SOCIAIS

Como fazer o encaminhamento de mensagens em redes oportunistas é um fator crucial para o desempenho da mesma. Atualmente o uso de redes sociais (como facebook e twitter) alcançou uma escala global, associado a isso o uso de aparelhos de comunicação móveis, muitas vezes usados para acessar alguma rede social, também aumentou significativamente, devido a fatores como menor custo e maior facilidade de acesso á tecnologia comparado com alguns anos atrás. Segundo relatório da Cisco sobre previsão do crescimento do tráfego móvel global, até 2015 haverá um smartphone por habitante no planeta [12].

Tratando-se de encaminhamento oportunista, podemos tirar vantagem da interação social e do aumento no uso de dispositivos móveis para criar ou melhorar protocolos de roteamento em redes oportunistas através de aspectos sociais [1]. Considerando-se uma rede onde os nós são constituídos por dispositivos móveis carregados pelos usuários, podemos gerar um grafo social da rede e com base nos relacionamentos sociais de cada usuário determinar a melhor rota para um envio oportunista de informação até um nó destino.

Já foram propostos vários protocolos que podem variar de acordo com o encaminhamento empregado. Usar algum teor social como fator de decisão no roteamento oportunista tem grandes vantagens na entrega da informação de forma eficiente. Algumas estratégias com caráter social são: o dLife [2], o People Rank [13], e o BubbleRap [3].

A. dLIFE

O dLIFE (Opportunistic Routing based on Users Daily Life routines) [2, 14] funciona na rotina diária dos nós e considera duas funções de utilidade complementares. A primeira o Time-Evolving Contact Duration (TECD), que determina o peso social entre os usuários baseado em sua interação social durante suas rotinas diárias. E Time-Evolving Importance (TECDi) que mensura a importância do nó considerando seus vizinhos e respectivos pesos sociais.

Estruturas sociais são compostas pelos usuários (pelos nós), e podem mudar constantemente. Quando um nó conhece outro sua rede pessoal muda e conseqüentemente toda a estrutura social a qual aquele nó pertence também muda. Considerando isso o dLife, com a TECD consegue captar o dinamismo do comportamento social dos usuários, captando o funcionamento de suas rotinas de modo mais eficiente do que uma estimativa por histórico que é a estratégia mais usada.

Assim, o encaminhamento realizado pelo dLife considera o peso social do nó que carrega a mensagem em relação ao destino bem como o peso social do nó intermediário a este mesmo destino. Nos casos onde o nó intermediário tem um peso social (i.e. tem uma relação social forte com o destino), o nó fonte envia uma cópia da mensagem ao nó intermediário. Caso contrário, a importância (TECDi) do nó que carrega a mensagem e do nó intermediário é levada em conta na hora de replicar a informação. Isto é, o nó intermediário receberá uma cópia no caso de ser mais importante que o nó que detém a informação naquele momento.

B. People rank

Inspirado no Page rank, algoritmo de usado pelo Google, o People rank [13] apresenta uma taxa de sucesso próxima ao do roteamento epidêmico, porém sem as desvantagens de grandes taxas de replicação e sobrecarga da rede.

Em redes com conectividade intermitente não temos um conhecimento total da topologia pela mobilidade e disponibilidade dos nós, porém podemos ter informação sobre interações sociais entre os usuários. Enquanto informações de contato oportunista mudam constantemente, relações em uma rede social costumam permanecer estável. Assim o People rank usa essa informação mais estável para tornar o roteamento mais eficiente.

O People rank determina um rank para cada nó de acordo com sua importância no grafo social e usa esse rank como guia para a tomada de decisões, nós com um maior rank tem mais centralidade naquela rede. Assim partiu-se da idéia de que quanto mais sociável aquele nó é, maior a chance de um agregado chegar ao seu destino usando aquele nó como intermediário.

C. Bubble rap

O Bubble rap [3] tem seu foco em redes de dispositivos de bolso, e usa um conhecimento prévio da estrutura social de uma comunidade e de seus nós centrais para aperfeiçoar o encaminhamento.

Como ilustrado na Fig. 5, o Bubble rap é baseado nos aspectos de comunidade e centralidade, que são presentes em toda sociedade. A sociedade é dividida estruturalmente em comunidades e subcomunidades, dentro dessas comunidades nós interagirão mais que outros, serão mais populares naquele meio, definindo assim o aspecto de centralidade do algoritmo.

O Bubble rap usa os algoritmos de K-Clique e cumulative window para identificar as comunidades que os nós pertencem e determinar as centralidades local (i.e. dentro da comunidade) e global do nós, respectivamente. Com base nestas informações de comunidades (quando o nó intermediário pertence a mesma comunidade do destino) e centralidades (quando o nó intermediário tem centralidade maior que o nó que detém a mensagem), o Bubble rap decide quando criar uma cópia da mensagem.

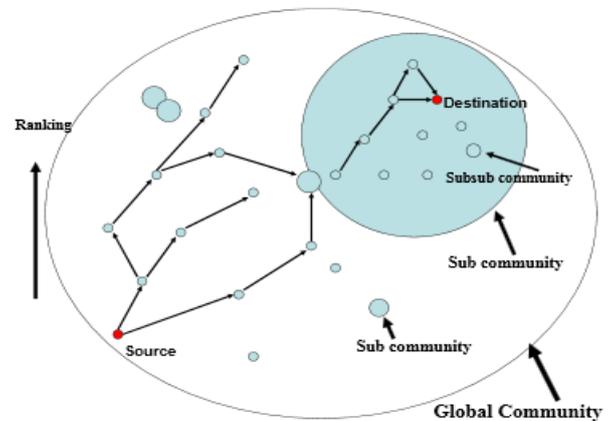


Fig. 5. Ilustração do algoritmo Bubble rap [3].

IV. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Esta seção dedica-se a uma avaliação e resultados iniciais dos protocolos dLife e Bubble Rap. A performance é feita através do simulador de redes ONE (Opportunistic Network Environment) [15].

Normalmente os resultados de performance de protocolos oportunistas são avaliados seguindo as principais métricas que são: probabilidade de entrega (i.e. razão entre o número de mensagens entregues e o total de mensagens entregues com sucesso), custo (i.e. numero de mensagens replicadas por cada mensagem criada), e o atraso de entrega de mensagem (i.e. o tempo entre a criação e entrega da mensagem).

A. Cenário Avaliado

A simulação foi realizada usando um cenário de mobilidade da cidade de Helsinky [15], com 150 nós Wi-Fi distribuídos em 8 grupos de pessoas e 9 grupos de veículos. Os grupos de veículos seguem o movimento baseado em mapa de menor caminho, onde o destino é escolhido aleatoriamente. A velocidade dos veículos é entre 7 e 10 m/s. Os grupos de pessoas segue o movimento baseado no dia de trabalho, com velocidade entre 0.8 e 1.4 m/s. Cada grupo pode ter diferentes tipos de contato como por exemplo, em reuniões, academia, bar, escritório, etc. Assume-se que as pessoas gastam 8h diárias no trabalho e uma probabilidade de 50% de ter alguma atividade depois do trabalho (por exemplo, academia, bar, restaurante, parque, etc).

Os valores das mensagens TTL são 1, 2 e 3 dias. As mensagens variam de 1 a 90 KB. O buffer é limitado a 2 MB, já que se espera que os usuários não queiram compartilhar todo seu armazenamento com os outros.

B. Resultados

Os resultados iniciais tem por objetivo uma comparação entre os protocolos considerando o TTL de acordo com as métricas de performance.

A Fig. 6 mostra a probabilidade de entrega dos dois protocolos no cenário avaliado, com TTLs de 1, 2 e 3 dias. O protocolo dLife apresenta uma probabilidade de entrega superior em comparação ao Bubble Rap. Isso é devido ao Bubble rap depender mais da disponibilidade de uma comunidade e de nós centrais para aumentar a probabilidade de entrega. E no cenário avaliado a noção de comunidade entre os nós não é inicialmente formada, e a maioria dos nós tem uma centralidade baixa. A vantagem do dLife é devido ao fato de capturar o dinamismo da rede o qual considera rotina diária dos usuários.

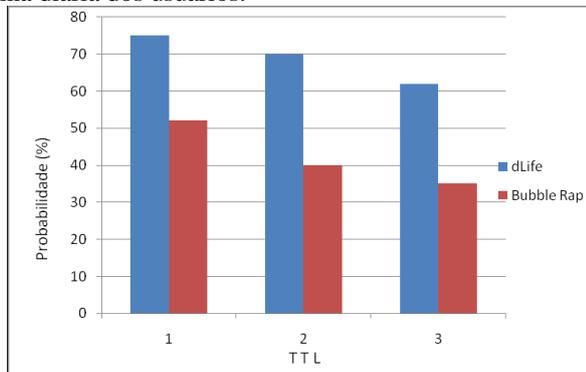


Fig. 6. Probabilidade de entrega.

A Fig. 7 apresenta o atraso de entrega em minutos de cada mensagem de acordo com TTLs de 1, 2 e 3 dias. O protocolo dLife claramente apresenta um atraso em torno de 45% menor que o Bubble Rap. Neste caso, o dLife toma decisões de envio independente da formação de comunidades quando há fortes laços sociais com o destino ou encontros rotineiros para aumentar essa probabilidade de entrega. Como o cenário é altamente dinâmico, o Bubble rap acaba por demorar a ter uma visão mais acurada das comunidades e centralidades, o que resulta em muitas réplicas sendo criadas a nós que levam muito tempo para encontrar o destino.

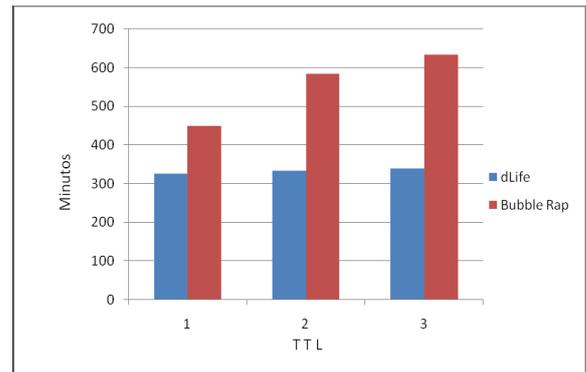


Fig. 7. Atraso médio.

A Fig. 8 apresenta a quantidade de réplicas criadas por cada mensagem (custo) com TTLs de 1, 2 e 3 dias. Os resultados mostram que o protocolo dLife tem uma performance cerca de 38% melhor que o Bubble Rap. Essa diferença é devido o dLife ter uma melhor visão do grafo social e seus nós mais importantes em qualquer instante, independente da noção de comunidade. Já o Bubble rap usa vários intermediários de baixa popularidade para alcançar nós com alta importância em outras comunidades, o que gera uma maior taxa de replicação.

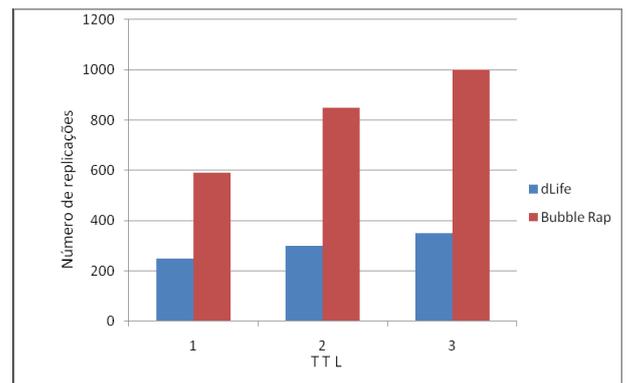


Fig. 8. Custo médio.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho visou um estudo de redes oportunistas como alternativa quando o modelo de Internet convencional não se mostra a melhor opção. Nesse conceito abordou-se fatores sociais como suporte ao encaminhamento em protocolos de roteamento oportunistas.

Após conceitos relacionados a redes oportunistas, aplicações e protocolos de roteamento, foi mostrado resultados iniciais de uma comparação entre dois protocolos de roteamento oportunista com base em aspectos sociais. No cenário avaliado o protocolo dLife obteve melhor desempenho que o Bubble Rap.

Como trabalhos futuros, pretende-se avaliar exaustivamente todos os protocolos de roteamento oportunista com base em aspectos sociais considerando também outros cenários, tais como um ambiente rural. Para além de simulações, pretende-se propor e avaliar os protocolos em um ambiente de teste real.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) através do projeto número 201200544420886 (Edital 005/2012 - Universal).

REFERÊNCIAS

- [1] Moreira, W.; Mendes, P, " Social-Aware Opportunistic Routing: The New Trend," Routing in Opportunistic Networks, Springer New York, pp.27-68, 2013.
- [2] Moreira, W.; Mendes, P.; Sargento, S., "Opportunistic routing based on daily routines," World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2012 IEEE International Symposium on a , vol., no., pp.1,6, 25-28 June 2012.
- [3] Pan Hui; Crowcroft, J.; Yoneki, E., "BUBBLE Rap: Social-Based Forwarding in Delay-Tolerant Networks," Mobile Computing, IEEE Transactions on, vol.10, no.11, pp.1576, 1589, Nov. 2011.
- [4] K. Fall, "A delay-tolerant network architecture for challenged Internets", ACM SIGCOMM.
- [5] A. Junior, R. Sofia, A. Costa, Energy-awareness in multihop routing," IFIP Wireless Days (WD), pp. 1–6, November, 2012.
- [6] M. Melo, "Proposta e Avaliação da Utilização do Tráfego Aeroviário Nacional como Uma Rede Tolerante a Atrasos e Desconexões" Dissertação de Mestrado. 2011.
- [7] Pan Hui, Augustin Chaintreau, James Scott, Richard Gass, Jon Crowcroft, and Christophe Diot. 2005. "Pocket switched networks and human mobility in conference environments". In Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking (WDTN '05).
- [8] A. Vahdat, D. Becker. "Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks" (2000).
- [9] Shingo Mabu, Kotaro Hirasawa, and Jinglu Hu. "A Graph-Based Evolutionary Algorithm: Genetic Network Programming (GNP) and Its Extension Using Reinforcement Learning". *Evol. Comput.* 15, 3 (September 2007), 369-398.
- [10] Ting Liu, Christopher Sadler, Pei Zhang, and Margaret Martonosi. "Implementing Software on Resource-Constrained Mobile Sensors: Experiences with Impala and ZebraNet". To appear in the Second International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys 2004), June 2004.
- [11] Ott, J.; Kutscher, D., "A disconnection-tolerant transport for drive-thru Internet environments," INFOCOM 2005 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE, vol.3, no., pp.1849, 1862 vol. 3, 13-17 March 2005.
- [12] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Up-date, 2011-2016. Relatório técnico.
- [13] Mtibaa, A.; May, M.; Diot, C.; Ammar, M., "PeopleRank: Social Opportunistic Forwarding," INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE, vol., no., pp.1, 5, 14-19 March 2010.
- [14] W. Moreira, P. Mendes, R. Ferreira, D. Cirqueira, E. Cerqueira, "Opportunistic Routing based on Users Daily Life Routine" "draft-moreira-dlife-02" Internet-Draft.
- [15] A. Keranen, J. Ott, and T. Karkkainen, "The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation," in SIMUTools'09, (Rome, Italy), March 2009.