

# Prefixos Ativos para Redes Móveis Ad-Hoc

Renato C. Dutra, Heberte F. Moraes, Claudio L. Amorim

Laboratório de Computação Paralela – COPPE  
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)  
Caixa Postal – 68.511 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{rcdutra, hmoraes, amorim}@lcp.coppe.ufrj.br

**Resumo.** *Uma abordagem para passagem de mensagens em redes sem fio móveis ad hoc é proposta, usando uma estrutura de mensagens com Prefixo Ativo (PA) e Payload onde um PA contém informações associadas a um determinado usuário. Os PAs permitem formar Redes de Prefixos Ativos (REPAs) sobrepostas a MANETs com encaminhamento probabilístico e endereçamento de mensagens, ambos por meio do casamento das informações dos PAs dos usuários com as dos PAs das mensagens que recebem. Utilizando o simulador NS-3.8 nós comparamos a eficiência do encaminhamento e endereçamento fim-a-fim de uma REPA com as dos algoritmos Gossip3 e do AODV + Gossip3 (G3AODV), para dois exemplos básicos de passagem de mensagens. Os resultados mostraram que a REPA, obteve em média uma taxa de entrega 16% melhor e uma ordem de grandeza menor para latência e Total de Mensagens Recebidas, revelando que REPAs representam uma potencial solução para aplicações em MANETs.*

**Abstract.** *An approach to message passing in wireless mobile ad hoc networks (MANETs) is proposed using a message structure with Active Prefix (AP) and Payload, in which an AP contains information associated with a determined user. PAs allow Active prefix overlay Networks (AXNs) to be built on top of MANETs, with probabilistic forwarding and addressing of messages, both of which by means of matching the PA information of the users with those in the message's PAs they receive. Through the use of the NS-3.8 simulator, we compared the efficiency of forwarding and end-to-end addressing of a AXN with those of Gossip3 and AODV+Gossip3 (G3AODV) algorithms, for two basic message passing examples. Our results showed that AXN on average obtained a delivery rate 16% better, and an order of magnitude smaller for both latency and Total Messages Received, revealing that AXNs represent a potential solution for applications in MANETs.*

## 1. Introdução

Redes móveis Ad-hoc são redes auto-organizáveis sem infraestrutura de comunicação fixa onde os nós cooperam entre si para a entrega de mensagens fim-a-fim, utilizando múltiplos saltos quando a distância entre dois nós quaisquer não permite que se comuniquem diretamente. Redes móveis Ad-hoc (ou Mobile Ad hoc Networks - MANETs, em inglês) são atrativas quando a infraestrutura de comunicação é inexistente ou insuficiente, e podem beneficiar várias classes de aplicações importantes incluindo, segurança, comunicação e sensoriamento [Akyildiz et al. 2005], Ambientes Virtuais Colaborativos [Boukerche et al.

2010, Ahmed et al. 2007] e descoberta de serviços [Viana et al. 2006, Gomes et al. 2009]. A mobilidade dos nós, entretanto, modifica dinamicamente a topologia da rede, tornando o desenvolvimento de protocolos de entrega de mensagens para MANETs um grande desafio. De fato, muitos protocolos de roteamento para MANETs têm sido propostos [Broch et al. 1998] mas os limitados resultados de desempenho apresentados ainda inviabilizam as aplicações para MANETs [Conti e Giordano 2007]. Em particular, os bem conhecidos protocolos AODV [Perkins et al. 2003] e Gossip3 [Haas et al. 2006] têm tanto alta latência como alta sobrecarga de mensagens, e ainda baixa eficiência de entrega de mensagens. O AODV implementa uma rede sobreposta com identificação IP numa MANET e utiliza o método *flooding* que sempre encaminha as mensagens diferentes que receber e os nós não possuem identificação. Gossip3, uma implementação do método Gossiping, alternativamente utiliza encaminhamento probabilístico das mensagens sem usar identificação (i.e., sem IP) e foi proposto para operar com o AODV, formando o G3AODV, com menor *overhead* de mensagens do que o AODV original.

Nossa proposta introduz o Prefixo Ativo (PA)<sup>1</sup>, um original elemento de rede, de modo a permitir a construção de REdes de Prefixos Ativos (REPAs) sobrepostas a MANETs com protocolos eficientes como será mostrado neste trabalho. Em uma REPA, cada nó é identificado pelo seu PA  $P(C; I)$  de tamanho variável de 54 a 128 bits separados em dois conjuntos de informações denominadas campos de Características ( $C$ ) e campos de Interesses ( $I$ ) que servem para encaminhamento probabilístico e identificação dos nós para endereçamento. Enquanto as características  $C$  são previamente configuradas para atender uma distribuição de probabilidade, p.ex., normal<sup>2</sup> ou uniforme, os interesses são nomes/expressões/valores, pré-definidos através da aplicação utilizada pelo usuário, que podem ser ativados dinamicamente em função do contexto, p.ex., “segurança”, “jogo eletrônico” e “temperatura”.

O funcionamento auto-organizável e colaborativo de uma REPA é resultado de cada nó da REPA usar o próprio PA para executar as funções de endereçamento, encaminhamento e comunicação entre camadas. Especificamente, um nó usa o seu PA com três funções: a) como cabeçalho das mensagens (*c/s* payload) que enviar, endereçando-as; b) como filtro de uma função de casamento das mensagens que receber, encaminhando-as ou não; c) para permitir comunicação (*cross-layer*) eficiente entre a camada da aplicação e a de encaminhamento, e reduzir a latência. Assim, o PA produz as vantagens de endereçamento, encaminhamento sem recorrer a tabelas de roteamento, de modo a reduzir o custo e a latência na entrega de mensagens. É importante notar que uma REPA pode operar como uma rede IP convencional, se definirmos um dos campos  $I$  como sendo o valor IP.

Para avaliar a eficiência de um protocolo para MANET baseado em PA, implementamos a REPA, o Gossip3 e o G3AODV no simulador NS-3.8 e comparamos as características  $C$  com o Gossip3, para encaminhamento, e o PA  $P(C; I)$  com o G3AODV e o AODV, para endereçamento. Avaliamos o número de campos, o número de bits por campo e a distribuição Normal e Uniforme para  $C$  e verificamos que a REPA segue um comportamento bimodal como o apresentado por Gossip. Ainda, avaliamos a sensibi-

---

<sup>1</sup>Esta expressão Prefixo Ativo tem a conotação de atividade de prefixo em BGP [Oliveira et al. 2005]

<sup>2</sup>No contexto deste trabalho, as distribuições de probabilidade utilizam variáveis discretas e são multivariadas

lidade da REPA à interferência na rede causada pelo intervalo de tempo de envio entre mensagens geradas e encaminhadas. Reportamos as medidas Total de Mensagens com Erro na Recepção, Total de Saltos, Taxa de Entrega, Total de Mensagens Recebidas e Latência obtidas pelos três protocolos que mostram que a REPA, em média, obteve taxa de entrega 16% melhor e uma ordem de grandeza menor em relação a latência e Total de Mensagens Recebidas do que G3AODV e o AODV, afirmando a eficiência do mecanismo de Prefixo Ativo proposto.

Em resumo, as principais contribuições deste trabalho são:

- Introdução de Prefixo Ativo como um original mecanismo para construção de redes sobrepostas para MANETs;
- Aplicação de Prefixo Ativo na construção de Protocolos de comunicação *cross-layer* eficientes, ao proporcionar menores latências entre camadas de aplicação e a do protocolo de encaminhamento em uma MANET;
- Utilização de Prefixo Ativo para endereçamento fim-a-fim em MANETs;
- Novo algoritmo probabilístico de encaminhamento de mensagens baseado em Prefixo Ativo que oferece maior flexibilidade para o sistema de comunicação em MANETs.

Este relatório técnico está organizado como segue. Na Seção 2, revisamos os trabalhos relacionados, e na Seção 3, descrevemos a Rede de Prefixos Ativos. Os resultados de uma avaliação comparativa simulada no NS-3.8 da REPA com os protocolos Gossip3, AODV e G3AODV utilizando duas aplicações são analisados na Seção 4. Na Seção 6, discutimos os resultados obtidos e na Seção 7, apresentamos as conclusões.

## 2. Trabalhos Relacionados

A maioria dos protocolos para MANETs utilizam a identificação topológica (IP), e por conta disso possuem alto custo devido à manutenção das identificações e dos nomes na rede [Demers et al. 1987]. Em particular, algoritmos baseados em Gossiping têm sido propostos [Kini et al. 2006, Friedman et al. 2007], para mitigar os efeitos da manutenção.

O protocolo AODV usa nós com identificação topológica (IP), construindo e mantendo rotas sob demanda entre nós origem e destino, e utiliza *flooding* e a estratégia *Expanded Ring Search*, para diminuir as mensagens de controle, ambos para descoberta de rota. O protocolo Gossip3+AODV (G3AODV) [Haas et al. 2002] diminui o *flooding* incluindo o Gossip3 para reduzir o overhead de mensagens de controle. Diferentemente, a REPA não utiliza identificação topológica, nem tabela de roteamento.

*Close Encounter* [Kortuem et al. 1999] utiliza o perfil do usuário para troca de mensagens entre somente um par de nós por vez, porém, não suporta *multihop* e os equipamentos precisam estar fisicamente próximos. As redes baseadas em conteúdo (*Content-based Network*) [Carzaniga e Hall 2006], utilizam o modelo editor/assinante aplicado a MANETs, como uma rede sobreposta, porém, utilizam identificação topológica (IP) para endereçamento, e possuem alto custo para a geração e manutenção da sobreposição. Note que, utilizar o conteúdo da informação como identificador do nó, leva aos problemas clássicos de banco de dados [Demers et al. 1987, Popescu e Liu 2006, Ventresque et al. 2008].

Os trabalhos relacionados a *naming* [Heidemann et al. 2001, Meisel et al. 2010], são os mais próximos ao nosso trabalho. Estes trabalhos utilizam informações e interesses dos usuários para enviar mensagens pelo método de Difusão Dirigida por meio de gradientes. Este método gera um novo gradiente para cada nova informação nova na rede, armazenando-o, mesmo que este nó não tenha interesse na mensagem. Para o endereçamento fim-a-fim, a identificação é topológica (IP), além de utilizar tabela de roteamento, aumentando o custo de manutenção. A REPA utiliza interesses e conteúdo, as mensagens possuem uma estrutura bem definida e um protocolo de comunicação próprio, usam Prefixos Ativos (PA)  $P(C; I)$  e encaminhamento probabilístico. Além disso, a identificação e o endereçamento não usam nenhum gradiente, identificação topológica, ou tabela de roteamento, não fazendo cache dos dados em cada nó.

A Mensagem ativa (AM) foi proposta como uma arquitetura de comunicação para sistemas densamente multiprocessados, e também como primitiva de rede no TinyOS para redes de sensores [Levis et al. 2008]. Basicamente, a AM utiliza um cabeçalho de mensagem com informações que permitem ao manipulador de mensagens em cada nó direcioná-la para o destino, atuando em nível de *hardware*. Já o PA utiliza informações da camada de aplicação, para encaminhamento e endereçamento, em um nível mais alto, independente do *hardware* ou do Sistema Operacional utilizado.

Em trabalhos anteriores, nós realizamos experimentos preliminares com uma versão inicial da REPA em uma rede Ad Hoc, com 20 nós (*motest*) [Granja et al. 2010, Dutra e Amorim 2009, Dutra et al. 2010] e os resultados indicaram latência e custo muito baixos. Na seção 5.1, avaliamos detalhadamente a escalabilidade da REPA com centenas de nós por meio de simulação.

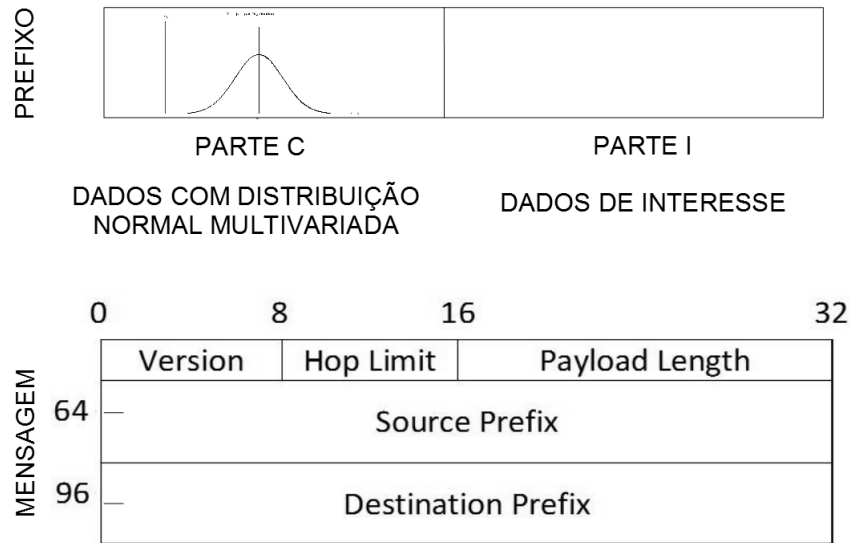
### 3. REde de Prefixos Ativos (REPA)

Uma REde de Prefixos Ativo (REPA) é constituída por mensagens contendo o Prefixo Ativo (PA) do nó origem, o equivalente ao cabeçalho em uma mensagem padrão. Na Figura 1, é apresentado o PA e a Mensagem. O PA é dividido em Características, parte  $C$ , cujos campos contêm dados gerados com uma distribuição normal, de modo que  $C$  possui uma distribuição normal multivariada, e Interesses, parte  $I$ , com dados selecionados pelo usuário ou pela aplicação. Assumindo uma mensagem (p.ex., padrão IEEE 802.15.4), contendo no máximo 128 bits para  $P(C; I)$  origem e destino; e o *payload*, com máximo de 143 caracteres, dependendo da tecnologia utilizada.

O PA pode ser expresso analiticamente, de acordo com a Equação 1:

$$P(C(b_C); I(b_I)) = P(1(b_1), 2(b_2) \dots C(b_C); 1(b_1), 2(b_2) \dots I(b_I)) \quad \forall C, I \in \mathbb{N}^* \quad (1)$$

Onde  $P(C(b_C); I(b_I))$  é o PA,  $C$  um campo de características,  $b_C$  o número de bits para cada campo de característica,  $I$  um campo de interesses e  $b_I$  o número de bits para cada campo de interesse. Por exemplo, vamos considerar que todos os campos  $C$  seguem uma mesma distribuição de probabilidade e possuem número de bits  $b_C$  iguais. Utilizando  $C = 5$  e  $I = 1$ , e assumindo os valores  $a, b, c, d, e$  com 3 bits e  $y$  com 32 bits, obtemos na Equação 2:



**Figura 1. Estrutura do Prefixo Ativo e Mensagem.**

$$P(5(3); 1(32)) = P(a(3), b(3), c(3), d(3), e(3); y(32)) \quad (2)$$

### 3.1. Encaminhamento

O funcionamento do encaminhamento se dá pelo uso de um filtro de casamento e pela comparação dos campos de características  $C$  da mensagem recebida por um nó qualquer com os campos de características do nó. A operação do filtro é simples: os campos da característica  $C$  do PA da mensagem e do nó são comparados um a um e, havendo casamento de pelo menos um campo, o nó encaminha a mensagem. Para este fim, é suposto que não existam nós isolados por RF na rede, embora seja possível a existência de nós isolados logicamente, ou seja, um nó que não possui casamento de suas características com nenhum nó vizinho em RF. Este nó não encaminhará nenhuma mensagem e não terá nenhuma mensagem encaminhada. Porém, receberá todas as mensagens dos nós vizinhos<sup>3</sup> em RF. Uma solução para esta situação, é o nó isolado logicamente verificar os PAs dos seus vizinhos, por meio das mensagens recebidas, e caso esteja isolado, alterar suas características para permitir o encaminhamento pelos vizinhos.

Este método de encaminhamento por filtragem, é probabilístico, porque a característica  $C$  do PA, consiste de um ou mais campos de múltiplos bits, cada um gerado por uma distribuição de probabilidade e portanto, deveria seguir um comportamento bimodal, tal como o apresentado por Gossip. Este comportamento influencia fortemente o número de nós alcançados e o custo de encaminhamento das mensagens. Por esta razão avaliamos seu comportamento na seção 4.1, comparando-o com o do Gossip.

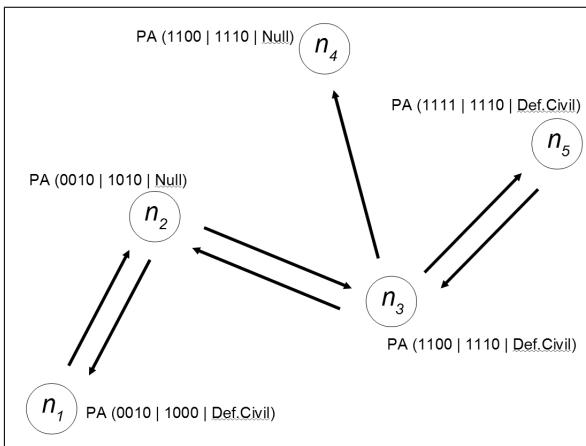
Um importante papel das características  $C$  é reduzir o isolamento de nós devido aos diferentes interesses, ao permitir o encaminhamento das mensagens por colaboração

<sup>3</sup>No contexto deste trabalho, nós vizinhos são aqueles que estão dentro do raio de alcance de potência emitida por um nó

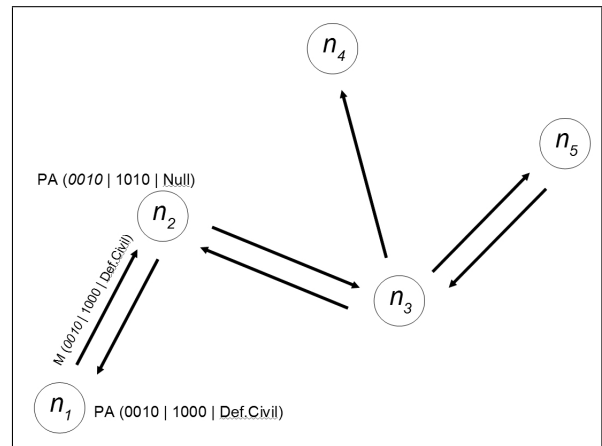
**Tabela 1. Exemplo de Encaminhamento por Prefixo Ativo**

nó	nv	C		I
		a	b	y
$n_1$	$n_2$	0010	1000	Def.Civil
$n_2$	$n_1, n_3$	0010	1010	
$n_3$	$n_2, n_4, n_5$	1100	1000	Def.Civil
$n_4$		1100	1110	
$n_5$	$n_3$	1111	1110	Def.Civil

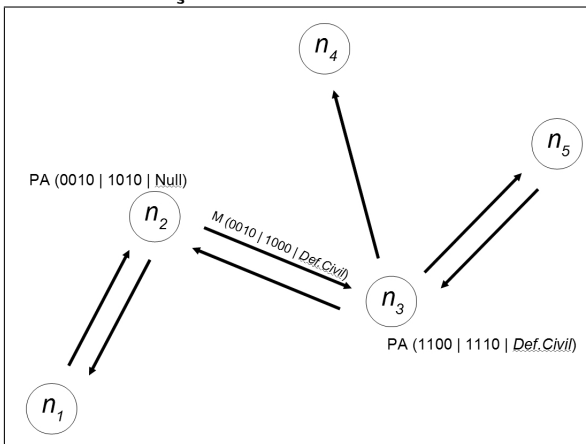
entre os nós. Além disso, evita o *flooding*, caso os nós possuam um mesmo interesse, e também, contribui com os bits de informação dos seus campos para a identificação probabilística de cada nó.



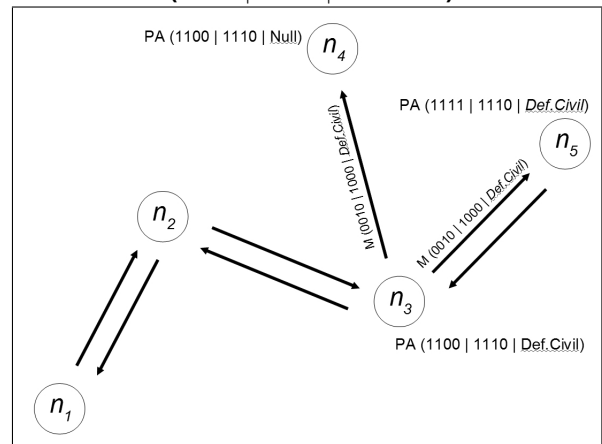
**Figura 2. Prefixos Ativos dos nós e Vizinhança**



**Figura 3. Nó  $n_1$  gerando mensagem com PA(0010 | 1000 | Def.Civil)**



**Figura 4. Nó  $n_2$  encaminhando mensagem por casamento de PA(0010)**



**Figura 5. Nó  $n_3$  encaminhando mensagem por casamento de PA(Def.Civil)**

Como ilustração de encaminhamento executado por uma REPA, considere a tabela 1, representando um exemplo de descoberta de serviço. O nó origem  $n_1$ , p.ex., precisa descobrir quem tem o serviço “Defesa Civil”, e envia mensagem com interesse

“Defesa Civil” (Def. Civil) para a rede. Sendo  $nv$  os vizinhos de cada nó, o nó  $n_2$  encaminha a mensagem recebida de  $n_1$  por haver casamento no campo  $C_a = 0010$ . O nó  $n_3$  encaminha a mensagem recebida de  $n_2$  porque  $C_b = 1000$ , ainda,  $n_3$  é destino da mensagem por  $Interesse = Def.Civil$ . O nó  $n_4$ , apesar de ser vizinho de  $n_3$ , possui casamento dos campos falso (F) e, portanto, descarta a mensagem, enquanto  $n_5$  recebe a mensagem de  $n_3$ , por ser destino da mensagem ( $interesse = Def.Civil$ ). Desta forma, os nós com o serviço “Defesa Civil” são alcançados e armazenam o PA do nó origem ( $n_1$ ) como o endereço para envio de resposta, permitindo um endereçamento fim-a-fim, conforme mostrado na próxima seção. Nas Figuras 2, 3, 4 e 5, é apresentado o encaminhamento graficamente.

### 3.2. Endereçamento

As características  $C$  e o interesse  $I$  no PA  $P(C; I)$ , possibilitam endereçamento fim-a-fim devido a PA proporcionar uma identificação única e ao armazenamento dos PAs por cada nó que encaminhou a mensagem, armazenando o caminho percorrido pela mensagem. Como exemplo para verificar a identificação única, a probabilidade de identificação é calculada, supondo  $P(8(3); 1(32))$  (o campo  $I$  possui 10 palavras de interesse em um dicionário<sup>4</sup>). Temos que a probabilidade de ocorrência de duplicidade de PAs,  $Pr_{P(C;I)}$  é dada por:

$$Pr_{C=8} = \prod_{k=8} 1/8^k \cong 10^{-8} \quad (3)$$

$$Pr_{P(8,3;1)} = Pr_{C=8} * Pr_{I=1} \cong 10^{-9} \quad (4)$$

Desta forma, obtemos uma probabilidade muito baixa para  $P(8(3); 1(32))$  de  $\approx 10^{-9}$  para ocorrência de endereços iguais. O uso de um interesse em cada mensagem, identificando o “payload” desta mensagem a um interesse específico, permite atribuir um endereço diferente para cada interesse para um mesmo nó, diminuindo ainda mais a probabilidade de ocorrência de endereços iguais no sistema. É necessário que o sistema possua um tamanho apropriado para que a probabilidade de ocorrência de endereços iguais seja pequena. Utilizar um interesse em cada mensagem é uma decisão de implementação, pela possibilidade de uso de mais de um interesse na mensagem, bastando apenas acrescentar à mensagem indicadores relacionando o conteúdo aos interesses respectivos. Quanto mais campos o PA contiver, menor a probabilidade de ocorrência de endereços iguais. Na Tabela 1, os nós com serviço “Defesa Civil” ( $n_3, n_5$ ), enviam mensagens com endereço do nó origem (o PA de  $n_1$ ). Estas mensagens conterão o endereço dos nós com serviço (os PAs dos nós  $n_3$  e  $n_5$ ) e o nó origem poderá estabelecer uma comunicação fim-a-fim com os nós prestadores de serviço. O nó  $n_1$  receberá várias mensagens de  $n_3$  e  $n_5$ , pela possibilidade de múltiplos caminhos, e poderá descartar as mensagens duplicadas.

É importante observar que a segurança é um fator crítico e alguns trabalhos examinam os problemas envolvidos na segurança em MANETs [Rocha et al. 2010]. Em uma REPA, o conteúdo das mensagens poderá ser criptografado ou codificado por senhas, dependendo do nível de segurança exigido. A aplicação que utilize a REPA poderá

<sup>4</sup>Embora seja possível usar qualquer palavra como interesse, em nosso caso, assumimos o uso de um dicionário para evitar problemas relacionados à ontologia

incluir a chave pública do remetente em um campo de interesse no PA da mensagem e o destinatário poderá decriptografá-la. Os usuários também podem negociar pessoalmente a senha para codificação da mensagem e a aplicação codifica o conteúdo da mensagem no envio e decodifica-o na recepção por meio da senha negociada. De qualquer forma esse é um tópico que demanda maior pesquisa no contexto das REPAs.

O uso do PA produz algumas questões importantes que este trabalho irá apresentar nas próximas seções: 1) identificar se a distribuição probabilística das características influencia o desempenho da REPA (seção 4.1); 2) qual o tamanho do PA para, probabilisticamente, evitar a duplicidade de endereços (seção 4.1); 3) dada a possibilidade de endereçamento fim-a-fim e para múltiplos endereços simultaneamente, quais os custos envolvidos (seção 5.1); 4) Quanto à latência, é necessário verificar a suposição do PA permitir a comunicação mais rápida entre camadas devido ao *cross-layer* (seção 6).

Na seção a seguir, avaliamos em separado as propriedades da parte  $C$ , para encaminhamento, e as do  $P(C; I)$ , como identificação para endereçamento fim-a-fim.

#### 4. Avaliação Experimental

O desempenho da REPA é determinado pela configuração do PA  $P(C; I)$ , portanto avaliamos comparativamente as características  $C$  com o Gossip3, para encaminhamento, e o PA  $P(C; I)$  com o AODV e G3AODV, para endereçamento. Com esta finalidade, utilizamos o AODV implementado na versão oficial do *Network Simulator NS-3.8*, e implementamos o Gossip3 ( $p = 0,65$ ;  $m = 1$  e  $k = 4$ ), G3AODV e a REPA, assumindo uma rede ad hoc padrão 802.11b com camada de enlace real, de modo a avaliar o comportamento no encaminhamento de mensagens e também o desempenho em um cenário móvel com endereçamento. Em todos os casos, os nós da REPA armazenam os PAs das mensagens que receberam e não encaminham mensagens já encaminhadas, embora os nós destino possam receber mensagens duplicadas por múltiplos caminhos. Ainda, todas as medidas são valores médios obtidos para 50 execuções e nível de confiança de 95%.

Para o encaminhamento, o Gossip3 e a REPA foram avaliados em um cenário estático em que uma mensagem foi originada e medido o número de nós que receberam esta mensagem, por meio da métrica Total de Nós Participantes (TNP).

Para o endereçamento, os protocolos AODV, G3AODV e REPA foram avaliados usando um exemplo básico onde um nó envia uma mensagem de interesse para um conjunto de nós com o mesmo interesse e um outro exemplo onde cada par de nós tem um interesse comum porém distinto dos demais pares. Enquanto o primeiro exercita um modelo de comunicação de grupo o segundo exercita um modelo de comunicação fim-a-fim.

As métricas para o endereçamento são apresentadas a seguir:

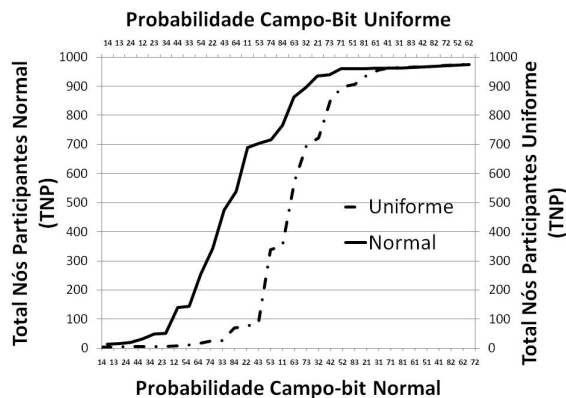
- Latência - definida como o tempo decorrido entre o envio da mensagem da camada de aplicação pelo nó origem até a recepção da mensagem pela camada de aplicação pelo nó destino;
- Taxa de Entrega - definida como o número total de mensagens recebidas pelos nós destino dividido pelo número de mensagens enviadas pelos nós origem;
- Total de Mensagens Recebidas (TMR) - definido como o total de mensagens recebidas pelos nós (incluídos os nós destino e os que encaminharam), representando o custo (*overhead*) de mensagens trafegadas na rede.



#### 4.1. Comportamento da REPA no Encaminhamento de Mensagens

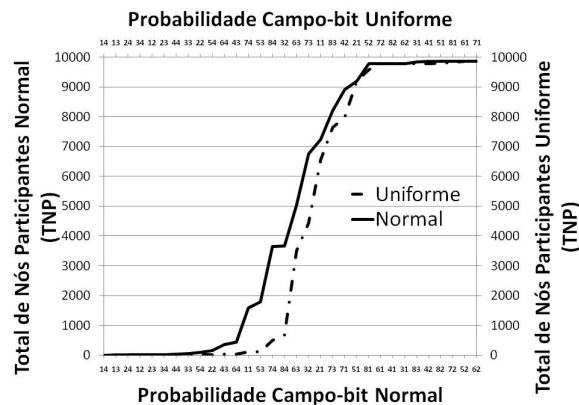
Para verificar o comportamento da REPA no encaminhamento de mensagens, simulamos uma grade (20x50 e 20x500, cada nó posicionado nas coordenadas (1, 1), (1, 2), etc.) com 1000 e 10000 nós, sem mobilidade, tempo de simulação igual a 120 s, vizinhança média entre os nós igual a 4 (configurando os ganhos de transmissão e recepção com valor igual a  $-30$  dBm , modos *AdhocWifiMac, ConstantRateWifiManager, wifib - 2mbs*, tamanho de pacote igual a 512 B. Ainda, simulamos uma grade com 1000 (20x50) nós para o Gossip3 com os mesmos parâmetros de simulador da REPA. Foram simuladas 50 execuções, onde um nó origem envia uma mensagem e medido o número de nós que a receberam, indicado pela métrica Total médio de Nós Participantes (TNP). Para estas avaliações, foram implementados no NS-3.8, o Gossip3 e a REPA, com as características  $C$  geradas por duas distribuições de probabilidade: normal e uniforme.

Os resultados das simulações REPA com características geradas por distribuições de probabilidade normal e uniforme são apresentados nas Figuras 6 e 7, onde mostra-se TNP para as várias probabilidades Campo-bit das características  $C$  (p.ex., Probabilidade Campo-bit igual a 14 indica 1 campo com 4 bits), para 1000 nós e 10000 nós respectivamente. A média e a variância da distribuição normal variam de acordo com o número de bits no campo, ou seja, com as possibilidades para cada campo. Estas duas Figuras foram construídas ordenando-se os valores de TNP em ordem crescente e na abscissa os pares Campo-bit correspondentes. É possível notar que os pares Campo-bit para as distribuições são diferentes, ou seja, os valores de probabilidade para cada par Campo-bit é influenciado pela distribuição e consequentemente, a distribuição de probabilidade influencia na escolha do par Campo-bit utilizado na implementação. Mais estudos são necessários para avaliar este comportamento.



**Figura 6. Comportamento Bimodal na REPA, com distribuição normal e uniforme, em Grid 20x50**

A Figura 6 revela que para 1000 nós, a REPA com as características  $C$  geradas por distribuições normal e uniforme exibe praticamente o comportamento bimodal, com uma faixa de probabilidade Campo-bit na qual os nós não encaminham mensagem alguma e uma outra onde os nós encaminham todas as mensagens. Por exemplo, para a distribuição uniforme, a partir de  $C = 61$  e acima, mais de 97% dos nós encaminham as mensagens e para  $C = 54$  e abaixo, os nós não encaminham nenhuma mensagem, enquanto que para a distribuição normal, isso ocorre a partir de  $C = 73$  e  $C = 24$ , respectivamente.



**Figura 7. Comportamento Bimodal na REPA, com distribuição normal e uniforme, em Grid 20x500**

Na Figura 7, foram utilizados 10 mil nós e nota-se a tendência de comportamento bimodal na REPA para distribuições normal e uniforme. Nesta simulação, foi verificado que utilizando  $P(8(3); 1(32))$  com 8 campos, 3 bits e um interesse, 32 bits, não houve duplicidade de PAs entre os 500 mil PAs gerados.

Uma vez verificado que a REPA com características  $C$  geradas por distribuição normal e uniforme tendem ao comportamento aparentemente bimodal, realizamos simulações com o Gossip3, implementado no simulador, para servir de referência e comparação com a REPA. Com este fim, variamos a probabilidade  $p$  do Gossip3 de  $[0, 1; 1]$  e medimos o TNP.

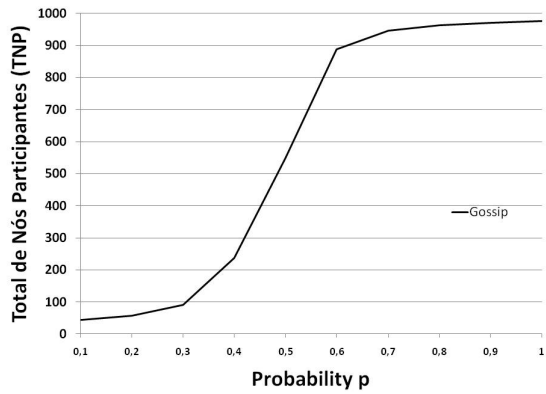
Nas Figuras 8 e 9 é apresentado o Total de Nós Participantes (TNP) e o Custo de Mensagens Recebidas, para uma dada probabilidade de encaminhamento,  $p$ . Na Figura 8 verificamos que, para o Gossip3,  $p > 0,6$ ,  $TNP > 900$ . Podemos notar pela Figura 9, que para  $p > 0,9$ , o custo aumenta. Para a REPA com as características formadas por distribuição normal, o valor de  $TNP > 900$  é encontrado na Figura 6 para o par Campo-Bit à direita de 32. Desta forma, podemos utilizar os pares Campo-Bit  $[32, 21, 73, 71, 51, 81, 61, 41, 31, 83, 42, 82, 72, 52, 62]$  para obtermos encaminhamento das mensagens pelos nós semelhante ao Gossip3 com  $p > 0,6$

Durante as simulações foi medido o número de mensagens recebidas com erro, e identificamos que um dos fatores era devido à interferência no meio de comunicação. Por meio da variação de intervalo de tempo entre a geração e encaminhamento de mensagens, foi realizada a análise de sensibilidade da interferência com relação ao intervalo de tempo. Com este fim, foram medidas a Taxa de Entrega, a Latência, o Custo e o número de mensagens com erro na recepção (ErrTx), representadas nas Figuras 10, 11, 12, 13

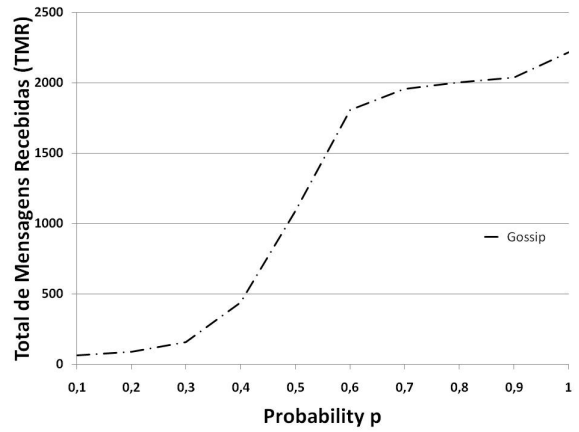
## 5. Avaliação

### 5.1. Avaliação de Desempenho

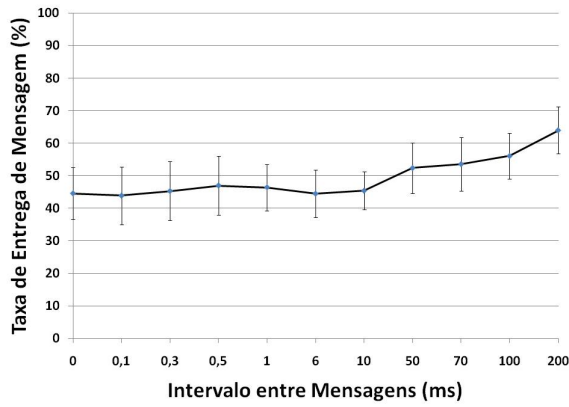
Avaliamos o desempenho da REPA com dois exemplos, REPA e REPA\_Addr, este comparativamente com o dos protocolos AODV+Gossip3 (G3AODV) (este protocolo não foi fornecido pelo simulador, sendo necessária sua implementação) e AODV (fornecido junto com o simulador). Para isso, foram medidas a Taxa de Entrega, o



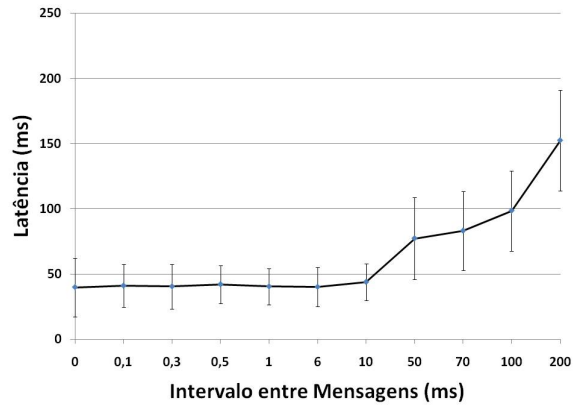
**Figura 8. Comportamento Bimodal no Gossip em Grid 20x50**



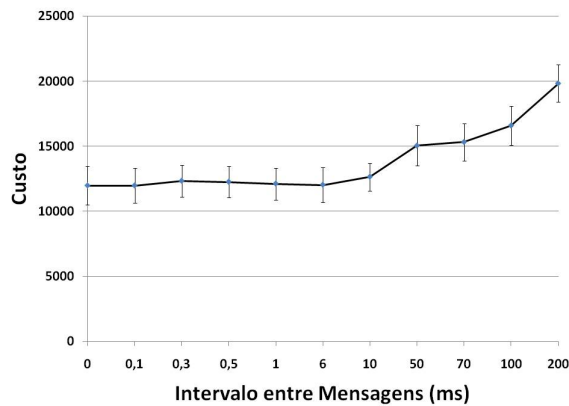
**Figura 9. Custo no Gossip em Grid 20x50**



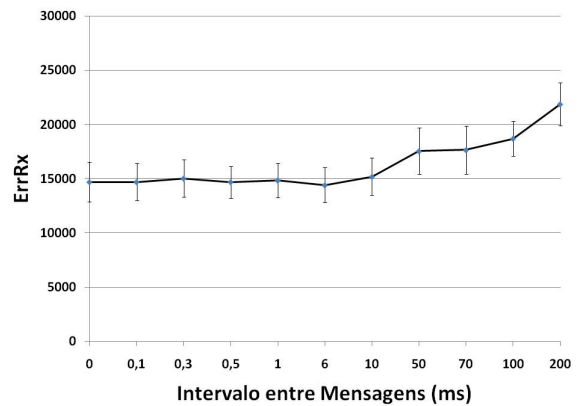
**Figura 10. Taxa de Entrega de Mensagens por Intervalo entre Mensagens para REPA**



**Figura 11. Latência por Intervalo entre Mensagens para REPA**



**Figura 12. Custo de Mensagens Recebidas por Intervalo entre Mensagens para REPA**



**Figura 13. Erros na Recepção de Mensagens por Intervalo entre Mensagens para REPA**

Total de Mensagens Recebidas e a Latência de entrega. Simulamos um cenário com 150 nós posicionados uniformemente em uma região de 750x300 m, modos *AdhocWifiMac*, *ConstantRateWifiManager*, *wifib - 2mbs*, tamanho de pacote igual a 512 B, com mobilidade seguindo o padrão *Randomwaypoint*, velocidade variando aleatoriamente de 2 a 8 m/s e raio de alcance entre vizinhos de 100 m (ganhos de transmissão e recepção igual a -4 dBm. O *Pause Time* foi variado em 1, 100 e 200 s.

Neste cenário, simulamos a REPA com endereçamento fim-a-fim (REPA\_Addr) e identificação  $P(8(3); 1(32))$ , e com uma origem e vários destinos com um mesmo interesse (REPA), neste caso com endereçamento utilizando somente o campo *I* do PA. Grupos de 5 e 30 pares de nós foram selecionados aleatoriamente para enviar uma mensagem de um nó ao outro.

Como observado na Figura 18, a Taxa de Entrega da REPA endereçada para 5 pares é próxima de 100%, enquanto para o G3AODV e AODV não ultrapassa 80%. Com o aumento do número de pares para 30 (Figura 19), a Taxa de Entrega da REPA endereçada diminui para 64%, uma melhora de 16% em relação ao G3AODV (55%) e de 28% para o AODV (50%).

Quanto ao Total de Mensagens recebidas (Figuras 20 e 21), para a REPA\_Addr, permanece constante, abaixo de 10 mil mensagens, com a variação do *Pause Time*, enquanto para o G3AODV e AODV, tem um comportamento crescente com valores de 80 mil mensagens para *Pause Time* de 200 s. Com 30 pares, a REPA\_Addr aumenta o valor para 20 mil mensagens, e o G3AODV e AODV ultrapassam 100 mil mensagens.

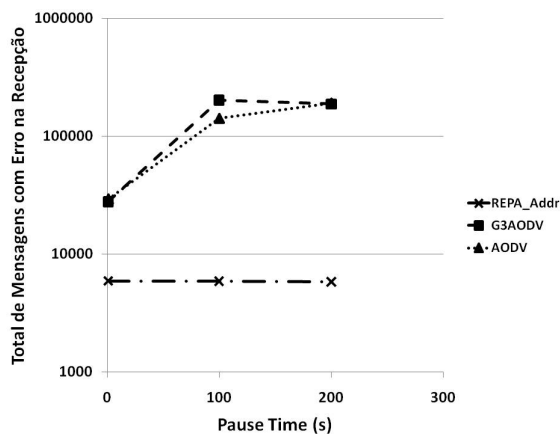
A Latência, apresentada nas Figuras 22 e 23, para a REPA\_Addr, se mantém abaixo de 100 ms, enquanto para o G3AODV e AODV, se mantém em 1200 ms. Com o aumento de pares para 30, a REPA\_Addr, aumenta para 150 ms, enquanto para o G3AODV e AODV aumenta para 1500 ms.

Nas Figuras 24, 25 e 26 são apresentados os resultados de Latência, Taxa de Entrega e Total de Mensagens Recebidas para a REPA em grupos de 5 e 30 nós, onde cada nó envia uma mensagem para seu grupo de interesse. Verifica-se que para estas Figuras, o *Pause Time* pouco influencia nos valores obtidos. A latência para REPA em grupo com 5 pares se mantém 120 ms, e aumenta para 240 ms com o aumento do grupo para 30 nós. Quanto à taxa de entrega, esta é de 100% para 5 pares e com o aumento para 30 pares diminui para 68%, revelando que quanto menor a taxa de entrega, maior a latência. O Total de Mensagens Recebidas evolui de 700 mensagens para 3200 mensagens para 5 nós em grupo e para 30 nós em grupo, respectivamente.

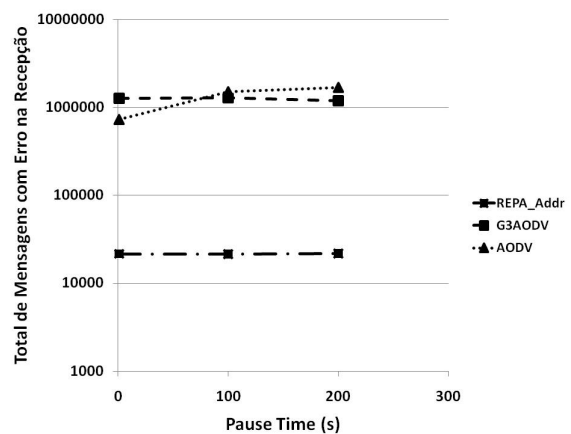
## 6. Discussão

A utilização do PA como identificação única foi validada pelas simulações, demonstrando que, na REPA, não há necessidade de endereços topológicos como o IP, embora seu uso possa ser feito, bastando que o endereçamento IP seja um dos interesses do PA. Neste caso, entretanto, o endereçamento IP não será utilizado em hierarquia como no caso de redes cabeadas.

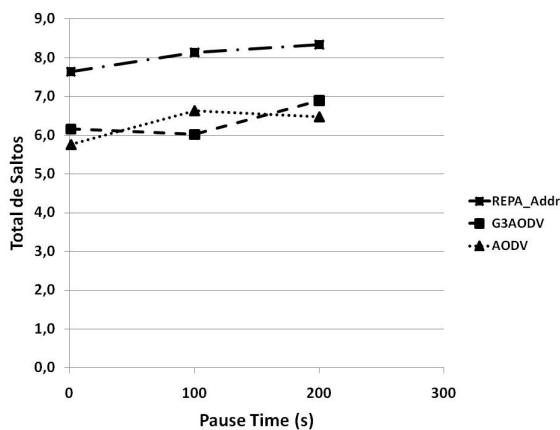
A curva da REPA com características atribuídas de distribuição uniforme é muito semelhante à do Gossip3. Portanto, é possível usá-lo no encaminhamento no lugar das características *C*. Porém, as características também são fundamentais na REPA para



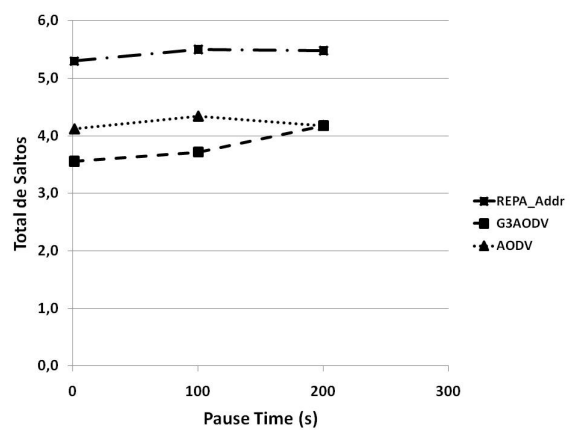
**Figura 14. Total de Mensagens com Erro na Recepção para 5 pares de origens e destinos entre REPA endereçada, G3AODV e AODV**



**Figura 15. Total de Mensagens com Erro na Recepção para 30 pares de origens e destinos entre REPA endereçada, G3AODV e AODV**



**Figura 16. Total de Saltos entre a origem e destino para 5 pares entre REPA endereçada, G3AODV e AODV**



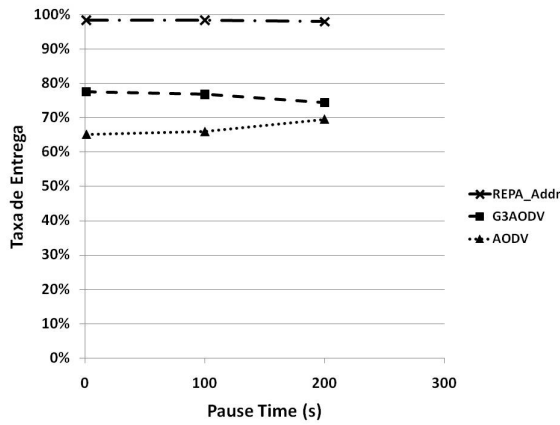
**Figura 17. Total de Saltos entre a origem e destino para 30 pares entre REPA endereçada, G3AODV e AODV**

a formação de um PA único, permitindo um endereçamento fim-a-fim. Ainda, outras distribuições de probabilidade para a formação das características deverão ser avaliadas para melhorar a eficiência do encaminhamento das mensagens.

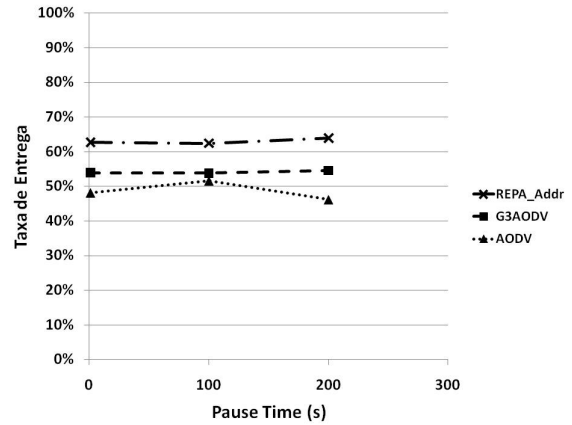
Quanto ao Total de Mensagens Recebidas, quando varia de 5 para 30 pares, o número de mensagens varia de 700 para 3100 para a REPA em grupo, de 9 para 12 mil para a REPA\_Addr, e de 8 mil para 80 a 140 mil para G3AODV e AODV, quando o Pause Time varia de 1 s para 200 s. Estes valores refletem um ganho de uma ordem de grandeza da REPA\_Addr, em comparação com os valores encontrados no G3AODV e AODV.

Quanto à Latência, utilizando 5 e 30 pares, a REPA aumentou de 120 ms para 230 ms, a REPA\_Addr aumentou 33% de 90 para 120 ms, enquanto G3AODV e AODV aumentaram 25% de 1200 ms para 1500 ms.

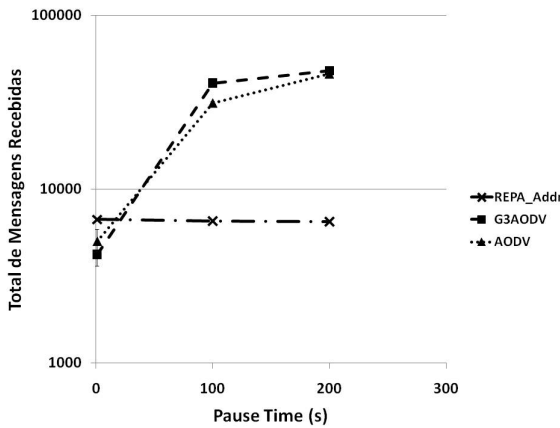
As Taxas de Entrega de Mensagens diminuíram de 100 – 68% para a REPA em



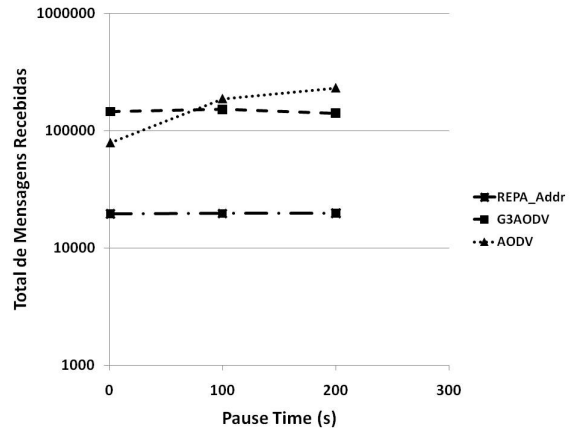
**Figura 18. Taxa de Entrega de Mensagens para 5 pares de origens e destinos entre REPA endereçada, G3AODV e AODV**



**Figura 19. Taxa de Entrega de Mensagens para 30 pares de origens e destinos entre REPA endereçada, G3AODV e AODV**



**Figura 20. Total de Mensagens Recebidas para 5 pares de origens e destinos entre REPA endereçada, G3AODV e AODV**



**Figura 21. Total de Mensagens Recebidas para 30 pares de origens e destinos entre REPA endereçada, G3AODV e AODV**

grupo, de 100 – 64% para REPA\_Addr e de 80 – 50% para G3AODV e AODV. Os valores baixos encontrados para o G3AODV e AODV são explicados devido ao número de mensagens de controle geradas, que impedem um melhor desempenho destes protocolos.

O ganho da REPA em relação ao número de mensagens deve-se ao fato de não usar tabela de roteamento e mensagens de controle para manutenção desta tabela. Examinando o ganho em latência alcançado pela REPA, este se deve ao fato do PA ser construído pelas informações da camada de aplicação e ser utilizado diretamente pelas camadas de roteamento e enlace, diminuindo o tempo de comunicação de aplicação à aplicação, formando um *cross-layer*. Claramente, se o AODV eliminar as mensagens de controle de rota, e a tabela de roteamento, se valendo do Gossip3 como difusão de mensagens e mantendo o IP como identificador, poderá alcançar os ganhos de mensagens obtidos pela REPA, porém a latência nas camadas permanecerão, e portanto não haverá ganho de latência. Ainda, a REPA poderia emular o AODV utilizando o Prefixo  $P(2(1); 1(32))$ , em que  $C = 2(1)$ ,

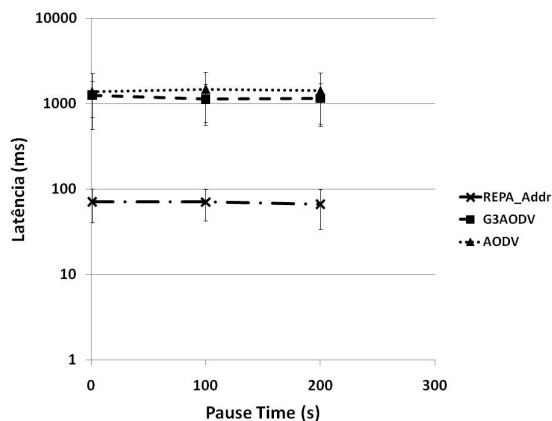


Figura 22. Latência do nó origem ao destino para 5 pares entre REPA endereçada, G3AODV e AODV

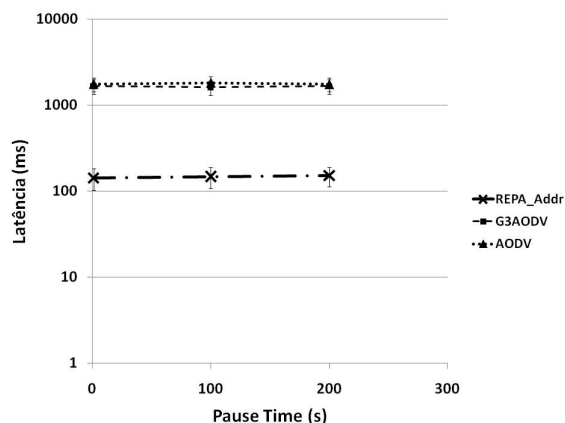


Figura 23. Latência do nó origem ao destino para 30 pares entre REPA endereçada, G3AODV e AODV

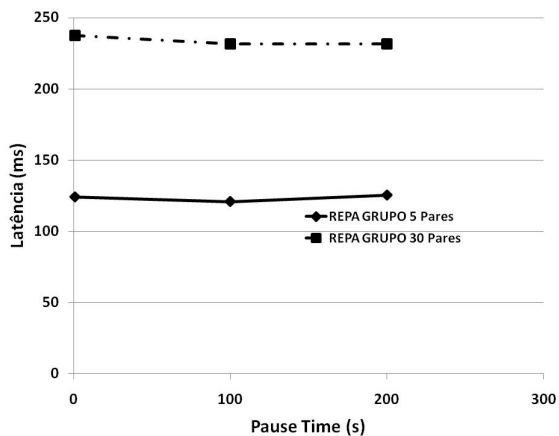


Figura 24. Latência para 5 e 30 nós em grupo para a REPA

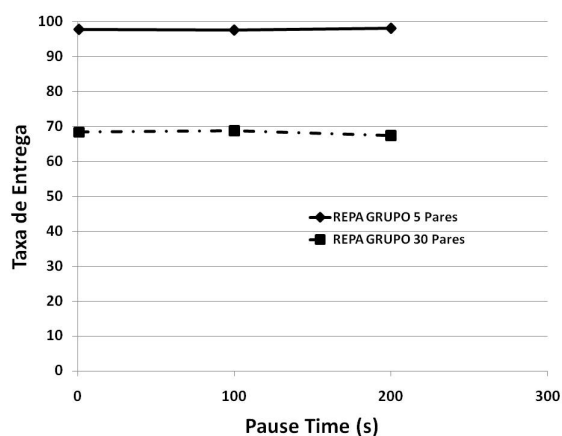


Figura 25. Taxa de Entrega para 5 e 30 nós em grupo para a REPA

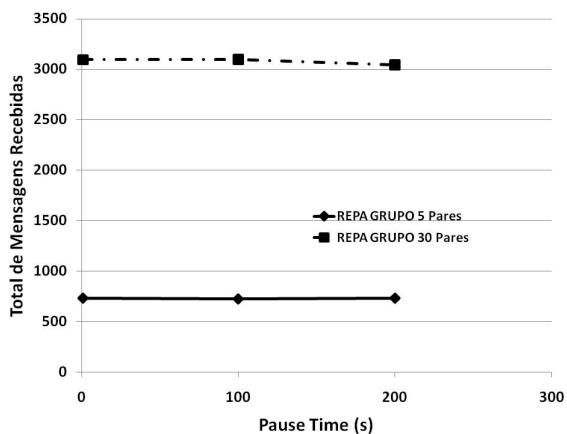


Figura 26. Total de Mensagens Recebidas para 5 e 30 nós em grupo para a REPA

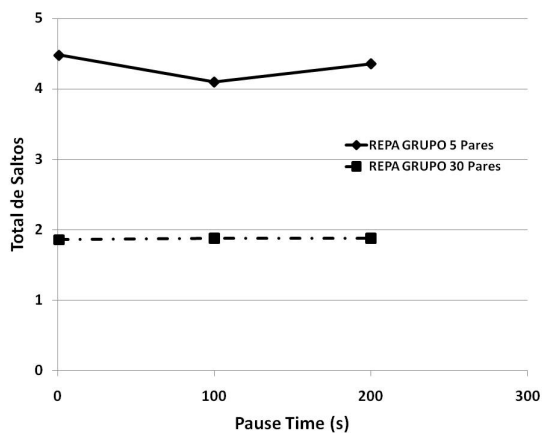


Figura 27. Total de Saltos para 5 e 30 nós em grupo para a REPA

pelas Figuras 6 e 8, possui probabilidade de encaminhamento  $p = 65\%$ , como no Gossip, e  $I = 1(32)$  é o endereço IP.

A REPA em grupo, embora não seja endereçada topologicamente, possui características de endereçamento próprio, por meio do interesse contido no PA da mensagem, permitindo que as mensagens sejam entregues aos nós somente utilizando o interesse como estratégia para alcançar os nós destinos, ou seja, os nós que possuem o mesmo interesse. Este uso do interesse permitiu-nos obter valores de Latência, Taxa de Entrega e Total de Mensagens Recebidas melhores que pelo endereçamento convencional. A comparação desta nova forma de endereçamento da REPA em grupo versus o endereçamento topológico convencional é injusto e, por esta razão, desenvolvemos a REPA\_Addr, que se mostrou muito competitiva em relação aos protocolos AODV e G3AODV. No entanto, o desempenho da REPA em grupo é extraordinário em relação ao desempenho destes protocolos e mais estudos devem ser realizados para comparação com protocolos mais eficientes para MANETs.

## 7. Conclusões

Introduzimos uma nova estrutura de mensagens denominada Prefixo Ativo (PA) que utiliza informações dos usuários, para identificação, encaminhamento e endereçamento em redes MANETs. Mostramos que Prefixos Ativos permitem a construção de Redes de Prefixos Ativos (REPAs) sobrepostas a MANETs. Através de simulações, verificamos que REPAs representam uma potencial solução para aplicações em MANETs, revelando-se competitiva em relação aos protocolos G3AODV e AODV, com ganhos expressivos na Taxa de Entrega, na Latência e no Custo. Trabalhos estão em andamento para implementar e avaliar a REPA em redes cabeadas, assim como o desenvolvimento de novas aplicações e a realização de experimentos com equipamentos em redes sem fio e em redes cabeadas.

## 8. Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelas Agências: FINEP, CNPq, CAPES.

## Referências

- Ahmed, D., Shirmohammadi, S., de Oliveira, J., e Bonney, J. (2007). Supporting large-scale networked virtual environments. In *Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems, 2007. VECIMS 2007. IEEE Symposium on*, pages 150–154.
- Akyildiz, I., Wang, X., e Wang, W. (2005). Wireless mesh networks: A survey. *Computer Networks*, 47:445–487.
- Boukerche, A., Zarrad, A., e Araujo, R. B. (2010). A cross-layer approach-based gnutella for collaborative virtual environments over mobile ad hoc networks. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 21:911–924.
- Broch, J., Maltz, D. A., Johnson, D. B., Hu, Y.-C., e Jetcheva, J. (1998). A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols. In *MobiCom '98: Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, pages 85–97, New York, NY, USA. ACM.



- Carzaniga, A. e Hall, C. P. (2006). Content-based communication: a research agenda. In *SEM '06: Proceedings of the 6th international workshop on Software engineering and middleware*, pages 2–8, New York, NY, USA. ACM.
- Conti, M. e Giordano, S. (2007). Multihop ad hoc networking: The theory. *Communications Magazine, IEEE*, 45(4):78–86.
- Demers, A., Greene, D., Hauser, C., Irish, W., Larson, J., Shenker, S., Sturgis, H., Swinehart, D., e Terry, D. (1987). Epidemic algorithms for replicated database maintenance. In *Proceedings of the sixth annual ACM Symposium on Principles of distributed computing*, PODC '87, pages 1–12, New York, NY, USA. ACM.
- Dutra, R., Granja, R. S., Heberte, F. M., e Amorim, C. L. (2010). Repi: Rede de comunicação endereçada por interesses. *VI Workshop de Redes Dinâmicas e Sistemas Peer-to-Peer (WP2P) 2010, Gramado*, 1:99–112.
- Dutra, R. C. e Amorim, C. L. (2009). Modelo de comunicação endereçada por interesses. Technical report, Relatório Técnico ES 733 / PESC - COPPE - UFRJ.
- Friedman, R., Gavidia, D., Rodrigues, L., Viana, A. C., e Voulgaris, S. (2007). Gossiping on manets: the beauty and the beast. *SIGOPS Oper. Syst. Rev.*, 41:67–74.
- Gomes, A. T. A., Ziviani, A., dos Santos Lima, L., e Endler, M. (2009). Performance evaluation of a discovery and scheduling protocol for multihop ad hoc mobile grids. *J. Braz. Comp. Soc. [online]*, 15:15–29.
- Granja, R. S., Dutra, R. C., Moraes, H. F., e Amorim, C. L. (2010). Samcra: Um sistema para avaliação experimental de redes ad hoc. *Salão de Ferramentas - XXVIII SBRC - SBC*.
- Haas, Z., Halpern, J., e Li, L. (2002). Gossip-based ad hoc routing. In *INFOCOM 2002. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*.
- Haas, Z. J., Halpern, J. Y., e Li, L. (2006). Gossip-based ad hoc routing. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 14(3):479–491.
- Heidemann, J., Silva, F., Intanagonwiwat, C., Govindan, R., Estrin, D., e Ganesan, D. (2001). Building efficient wireless sensor networks with low-level naming. *SIGOPS Oper. Syst. Rev.*, 35:146–159.
- Kini, A. V., Veeraraghavan, V., Singhal, N., e Weber, S. (2006). Smartgossip: an improved randomized broadcast protocol for sensor networks. In *IPSN '06: Proceedings of the fifth international conference on Information processing in sensor networks*, pages 210–217, New York, NY, USA. ACM.
- Kortuem, G., Segall, Z., e Thompson, T. G. C. (1999). Close encounters: Supporting mobile collaboration through interchange of user profiles. In *HUC '99: Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, pages 171–185, London, UK. Springer-Verlag.
- Levis, P., Brewer, E., Culler, D., Gay, D., Madden, S., Patel, N., Polastre, J., Shenker, S., Szewczyk, R., e Woo, A. (2008). The emergence of a networking primitive in wireless sensor networks. *Commun. ACM*, 51:99–106.

- Meisel, M., Pappas, V., e Zhang, L. (2010). Ad hoc networking via named data. In *Proceedings of the fifth ACM international workshop on Mobility in the evolving internet architecture*, MobiArch '10, pages 3–8, New York, NY, USA. ACM.
- Oliveira, R., Izhak-Ratzin, R., Zhang, B., e Zhang, L. (2005). Measurement of highly active prefixes in bgp. In *Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM '05. IEEE*.
- Perkins, C., Belding-Royer, E., e Das, S. (2003). Ad hoc on-demand distance vector (aodv) routing. RFC 3561.
- Popescu, G. V. e Liu, Z. (2006). Network overlays for efficient control of large scale dynamic groups. In *DS-RT '06: Proceedings of the 10th IEEE international symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications*, pages 135–142, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Rocha, B. P. S., Costa, D. N. O., Moreira, R. A., Rezende, C. G., Loureiro, A. A. F., e Boukerche, A. (2010). Adaptive security protocol selection for mobile computing. *J. Netw. Comput. Appl.*, 33:569–587.
- Ventresque, A., Cazalens, S., Lamarre, P., e Valduriez, P. (2008). Improving interoperability using query interpretation in semantic vector spaces. In Hauswirth, M., Koubarakis, M., e Bechhofer, S., editors, *Proceedings of the 5th European Semantic Web Conference*, LNCS, Berlin, Heidelberg. Springer Verlag.
- Viana, A. C., de Amorim, M. D., Viniotis, Y., Fdida, S., e de Rezende, J. F. (2006). Twins: A dual addressing space representation for self-organizing networks. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 17:1468–1481.