

# Análise, Implementação e Teste de uma Estratégia Autônoma de Incentivo à Cooperação em Redes Ad-Hoc\*

Marcos Dantas Ortiz<sup>1</sup>, Acélio Sousa C. de Aguiar<sup>2</sup>, Diogo Aguiar Lima<sup>2</sup>,  
Marcial Porto Fernandez<sup>2</sup>, José Neuman de Souza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)  
Bloco 910 - Campus do Pici – 60.455-760 – Fortaleza – CE – Brasil

<sup>2</sup>Laboratório de Redes de Computadores e Segurança (LARCES)  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)  
Av. Paranjana, 1700 – Fortaleza – CE – Brasil

mdo@lia.ufc.br, {acelio,diogo,marcial}@larces.uece.br, neuman@ufc.br

**Abstract.** *In ad hoc mobile networks communication management is done by the devices themselves (nodes) in an autonomous way. Forwarding of packets is an essential service done by the nodes to the maintenance of the network's connectivity. However, forwarding a packet demands energy, a scarce resource in a mobile device. This work presents an autonomous strategy of incentivating the cooperation in ad hoc networks based in credits and reputation. As incentive, the nodes that forwards packets, receive credits that are used to send own packets with a better Quality of Service (QoS). The strategy uses only local information and there is no need of a central station to manage incentive application.*

**Resumo.** *Nas redes móveis ad hoc o gerenciamento da comunicação é feito pelos próprios dispositivos (nós) de maneira autônoma. O encaminhamento de pacotes é um serviço essencial prestado pelos nós para manutenção da conectividade da rede. No entanto, o encaminhamento de um pacote consome energia que é um recurso escasso em um dispositivo móvel. Este trabalho apresenta uma estratégia autônoma de incentivo à cooperação em redes ad hoc baseado em créditos e reputação. Como incentivo, os nós que encaminham pacotes, recebem em troca uma melhor Qualidade de Serviço (QoS). A estratégia utiliza apenas informações locais e não há necessidade de uma entidade central para gerenciar a contabilização dos incentivos.*

## 1. Introdução

O crescente uso de redes *ad hoc* como alternativa às redes cabeadas e redes sem fio infra-estruturadas tem fomentado um grande número de pesquisas cujo foco principal é o aprimoramento do comportamento autônomo dos nós. Essas redes são caracterizadas pela ausência de dispositivos destinados a controlar as comunicações da rede. Desse modo, os próprios nós são responsáveis pelo gerenciamento das comunicações.

---

\*Esta pesquisa foi desenvolvida com apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP

Quando dois nós estão próximos, a comunicação é feita diretamente, mas quando isso não ocorre outros nós, chamados intermediários, precisam cooperar para possibilitar essa comunicação. Os nós intermediários devem ser capazes de rotear os pacotes entre as origens e destinos distantes, realizando um papel fundamental para manutenção da conectividade da rede, o encaminhamento de pacotes.

Nas redes *ad hoc* militares e de sensoriamento, todos os nós pertencem a uma mesma autoridade. Os nós são construídos para trabalharem juntos na busca dos objetivos determinados pela autoridade. Mas nas redes civis os nós tendem a apresentar um comportamento egoísta. Na fase de transmissão de pacotes é verificado o maior gasto de recursos (carga da bateria, processamento, dentre outros). Os nós não são obrigados a repassarem os pacotes de outros nós, portanto, eles podem apresentar um comportamento egoísta, encaminhando um número baixo de pacotes na tentativa de economizar seus recursos.

Alguns protocolos de roteamento encontrados na literatura (como AODV [Perkins and Royer 1999], DSDV [Perkins and Bhagwat 1994], TORA [Park and Corson 1999] e DSR [Johnson and Maltz 1994]) foram desenvolvidos para otimizar o processo de comunicação entre os nós e, até mesmo, evitar rotas que utilizem nós com recursos escassos. Entretanto eles não tratam da cooperação que os nós devem exercer para manutenção dos serviços da rede.

Este trabalho apresenta uma estratégia para gerenciamento autônomo de QoS em redes *ad hoc*, motivado pela necessidade de incentivar os nós a cooperarem no encaminhamento de pacotes.

O uso de QoS como incentivo à cooperação foi motivado pelo baixo *throughput* apresentado pelas redes *ad hoc* [Li et al. 2001], logo o nó cooperativo será beneficiado com uma melhor QoS para seus fluxos. Para isso a análise do comportamento do nós será explorada pelo mecanismo de provisionamento de QoS.

O comportamento autônomo dos nós, como a auto-organização, sugere o desenvolvimento de uma estratégia autônoma de gerenciamento que utilize apenas informações locais e não dependa de uma entidade central para gerenciar os incentivos. Este trabalho propõe também a utilização de políticas para o controle autônomo do comportamento dos nós de acordo com o nível dos seus recursos, quantidade de benefícios a serem alcançados e a necessidade do ambiente de rede manter-se conectado.

O trabalho está dividido em 5 seções. Na próxima seção descrevem-se os trabalhos relacionados. Na seção 3 é descrito a estratégia autônoma de incentivo à cooperação. Em seguida é descrita a avaliação da estratégia. Finalmente, na seção 5 descrevem-se a conclusão e trabalhos futuros.

## **2. Trabalhos Relacionados**

Nesta seção são descritos alguns trabalhos que visam incentivar a cooperação entre os nós de uma rede *ad hoc*. Os trabalhos costumam apresentar o estado da arte dividido em categorias de incentivo. As três categorias de incentivo mais frequentes na literatura são: incentivos baseados em reputação, incentivos baseados em créditos e incentivos baseados em teoria dos jogos. A seguir são apresentados alguns trabalhos relacionados as três categorias.

## 2.1. Baseados em Reputação

Neste tipo de abordagem os nós avaliam o comportamento de seus vizinhos utilizando o modo promíscuo. Dessa forma, quando um nó recebe um pacote que deve ser encaminhado, seus vizinhos podem vigiá-lo. Caso o nó não encaminhe um pacote, ele estará apresentando um comportamento falho ou malicioso. Se esse comportamento se repetir várias vezes o nó ficará com baixa reputação.

Os autores da abordagem [Marti et al. 2000] propõem uma ferramenta de análise de comportamento chamada *watchdog*. Quando um nó apresenta comportamento malicioso, sua reputação é divulgada em toda a rede. Os autores criaram outra ferramenta chamada *pathrater* para evitar o uso de nós maliciosos na formação das rotas. O trabalho em conjunto dessas duas ferramentas procura isolar os nós maliciosos do encaminhamento de pacotes, mas, para isso, inundam a rede com informações de reputação.

Tanto na proposta [Buegger and Boudec 2002] como na abordagem [Michiardi and Molva 2002] os autores propõem uma estratégia semelhante que também identifica e isola os nós maliciosos. Entretanto essas estratégias dificultam o encaminhamento dos pacotes dos nós maliciosos como forma de penalidade.

Em [He et al. 2004] cada nó calcula a probabilidade com que seus vizinhos encaminham os pacotes. Quando um nó recebe um pacote de um determinado vizinho, ele o encaminha com a mesma probabilidade com que este vizinho encaminha os seus pacotes. Essa abordagem tem a vantagem de não necessitar de uma entidade central e não inundar a rede informações de reputação.

## 2.2. Baseados em Créditos

Neste tipo de abordagem os nós que encaminham pacotes recebem créditos necessários ao envio de seus próprios pacotes. Em [Buttyán and Hubaux 2000] os autores propõem duas abordagens de uso de dinheiro virtual (*nuglet*) como forma de pagamento pelos serviços prestados. O nó que utiliza um serviço deve pagá-lo e o nó que fornece o serviço deve ser recompensado.

A primeira proposta, *The Packet Purse Model* (PPM), determina que cada nó deva pagar pelo serviço de repasse de pacotes a todos os nós intermediários que participam do encaminhamento de seus pacotes.

A segunda proposta, *The Packet Trade Model* (PTM), determina que o pacote não carregue os *nuglets* na sua estrutura. Agora o pacote é comercializado entre os nós intermediários. Cada nó intermediário compra o pacote do nó anterior e vende para o próximo nó sucessivamente até que o nó destino seja alcançado.

Em [Buttyán and Hubaux 2003] o trabalho foi continuado com algumas modificações na abordagem. Agora os nós gerenciam seus créditos e a quantidade de carga da bateria restante. Foi apresentado um modelo matemático relativamente simples, que tem como principal objetivo maximizar o envio de seus próprios pacotes e minimizar a quantidade de pacotes descartados.

Embora os autores tenham melhorado a abordagem, o funcionamento correto da estratégia continua refém da existência de um módulo de segurança correto e honesto que gerencie o sistema de créditos. A abordagem continua utilizando uma entidade central de controle para segurança no envio dos pacotes (criptografia de chave pública).

Em [Raghavan and Snoeren 2003] os autores propõem que os nós cooperativos tenham encaminhamento prioritário de seus fluxos. Para os nós com poucos créditos é fornecido encaminhamento por melhor esforço. Dessa forma, os nós que não estão interessados no encaminhamento prioritário ainda podem se comunicar. Essa estratégia possui problemas na forma de avaliação do comportamento dos nós e no sistema de créditos. Cada nó deve conhecer as rotas para todos destinos possíveis e que seu comportamento é conhecido por todos os nós da rede.

### **2.3. Teoria dos Jogos**

Neste tipo de abordagem, os nós são jogadores que disputam um jogo, onde a melhor estratégia é maximizar o envio de seus pacotes com menor consumo de energia. O sistema de créditos também é utilizado, dessa forma, para conseguir créditos, os nós precisam cooperar com a rede.

Em [Zhong et al. 2003] os autores propõem um sistema de recibos que contabiliza a quantidade de serviços prestados e utilizados por cada nó. Os nós devem mandar seus recibos para a entidade *Credit Clearance Service* (CCS). Essa entidade é um outro jogador que define as regras do jogo e administra o sistema de recibos. Para os autores, a cooperação no encaminhamento de pacotes é uma boa estratégia para se ganhar o jogo (otimização do número de pacotes enviados em relação ao consumo de recursos na cooperação). Em [Ileri et al. 2005] os autores defendem uma abordagem parecida, mas agora os nós se relacionam com o ponto de acesso da rede, que controla o sistema de créditos e as regras do jogo.

O principal problema das duas abordagens é o uso de uma entidade central de administração que representa um ponto único de falha. Para a abordagem [Zhong et al. 2003] o uso de uma entidade central é ainda mais problemático, pois para que os recibos alcancem o CCS outros nós devem cooperar nessa transmissão. Caso um nó não consiga enviar seus recibos, ele não será incentivado a continuar cooperando com a rede.

## **3. Descrição da Estratégia**

A maioria dos trabalhos citados requerem a existência de uma entidade central ou o compartilhamento de informações de controle entre os nós ou ambos para determinação dos incentivos e autorização para utilizar a rede. Além dos problemas inerentes à existência de uma entidade central (ponto único de falha), é necessário que todos os participantes confiem nessa entidade central e entre si.

A estratégia proposta neste artigo cria um mecanismo de incentivo, oferecendo uma melhor QoS para os fluxos dos nós cooperativos, sem uma entidade central de controle. Ela não impede a transmissão de pacotes, mas penaliza os nós egoístas reduzindo a QoS de seus fluxos.

### **3.1. Suposições**

A estratégia é baseada no uso de créditos e reputação. Diferentemente dos trabalhos relacionados (ver Seção 2) o incentivo a ser prestado está na forma de QoS, não necessita-se de uma entidade central de administração e utiliza-se apenas informações locais para gerenciar os incentivos. Para o funcionamento da estratégia são assumidos os seguintes pontos:

- Os nós integrantes da rede não apresentam um comportamento cooperativo no encaminhamento de pacotes. A estratégia foi construída para incentivar os nós integrantes das redes civis.
- Necessidade de comunicação. Os nós integrantes da rede apresentam a vontade de se comunicar com os demais e, para alguns, a qualidade na comunicação é muito importante.
- Mudança de comportamento. Os nós podem variar seu comportamento de acordo com a necessidade de buscar QoS para seus fluxos ou economizar seus recursos.
- Modo promíscuo habilitado. Todo nó da rede é capaz de escutar a transmissão de seus vizinhos, dessa forma, todo nó escuta o envio ou encaminhamento de pacotes por seus vizinhos.
- A rota que o pacote seguiu até alcançar um determinado nó é conhecida por ele, conforme ocorre no protocolo de roteamento proativo DSR [Johnson and Maltz 1994].

### 3.2. Operação da Estratégia

Os nós da rede mantêm uma tabela local com informações (identificador e quantidade atual de créditos) dos nós conhecidos. Por nós conhecidos, entende-se os nós com que se mantém relação de utilização/prestação de serviços (e.g., envio ou encaminhamento de pacotes), e os que estão transmitindo na vizinhança de alcance do sinal. A quantidade de créditos de cada nó conhecido é iniciada com um valor pré-determinado  $n$ . Os créditos do nó fonte serão utilizados, através da tabela local, pelos nós intermediários como parâmetro de prioridade para o encaminhamento de seus pacotes.

Os créditos dos nós conhecidos são incrementados/decrementados na tabela local de acordo com sua atividade corrente (e.g., encaminhando ou enviando pacotes). A quantidade de créditos de um nó  $i$  qualquer é dado pela seguinte equação:

$$C_i = n + \beta P f_i - \alpha P e_i, \quad \beta > \alpha, \quad (1)$$

onde  $\beta$  é a quantidade de incremento creditado a cada pacote encaminhado pelo nó  $i$ ,  $\alpha$  é a quantidade de decremento debitado a cada pacote enviado pelo nó  $i$ ,  $P f_i$  é a quantidade de pacotes encaminhados pelo nó  $i$  e  $P e_i$  é a quantidade de pacotes enviados pelo nó  $i$ . O valor da equação (1) para um mesmo nó  $i$  pode variar nas tabelas dos nós conhecidos, de acordo com suas relações de consumo e prestação de serviços.

As entradas na tabela local são criadas quando novas rotas são definidas ou quando novos vizinhos são detectados. A tabela é atualizada utilizando apenas as informações contidas no cabeçalhos dos pacotes que o nó recebe. No cabeçalho de cada pacote está descrito o identificador do nó fonte. Também é conhecida a rota que o pacote seguiu, partindo do nó fonte até alcançar um nó intermediário ou nó destino.

Quando um nó recebe um pacote ou escuta a transmissão de um pacote pelo nó vizinho o processo de atualização de sua tabela é iniciado. No primeiro caso o nó primeiramente decrementa a quantidade de créditos do nó fonte, quem requisitou o serviço, e incrementa a quantidade de créditos dos  $k$  nós intermediários, que estão provendo o

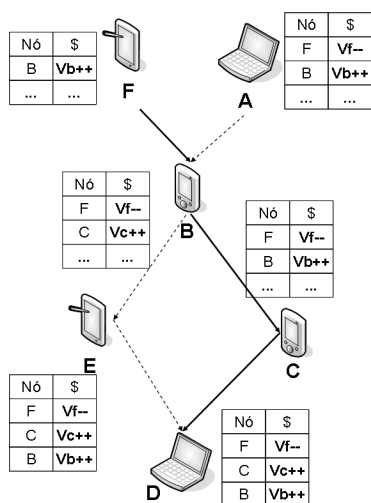
serviço, entre ele e o nó fonte. Os créditos dos  $x$  nós intermediários entre ele e o nó destino só serão atualizados se o protocolo de transporte fornecer confirmação de entrega. Caso não haja essa confirmação, ele atualizará apenas os créditos do próximo nó (vizinho) na rota, quando ele escutar a transmissão de encaminhamento do pacote.

No segundo caso, a diferença é que o nó não faz parte da rota, então ele incrementa a quantidade de créditos dos  $z$  nós intermediários entre o nó vizinho e o nó fonte. Os créditos do nó vizinho também são incrementados.

Caso um nó malicioso não credite os pacotes encaminhados pelos seus vizinhos, ele não influenciará o comportamento dos outros nós envolvidos, pois as tabelas são locais e suas informações não são compartilhadas.

Caso o protocolo de transporte forneça confirmação de recebimento, o nó fonte, ao receber confirmação, incrementa os créditos dos nós intermediários, os quais são denominados provedores de serviço. O fato de creditar os nós intermediários apenas quando confirmado o recebimento do pacote pelo nó destino, incentiva que esses nós encaminhem também o pacote de confirmação. No caso do protocolo de transporte não fornecer confirmação de recebimento, apenas os nós vizinhos e os nós sucessores na rota creditam os nós prestadores de serviços.

A quantidade de créditos do nó destino não é alterada. Dessa forma, evita-se os ataques baseados em negação de serviço que visam, neste contexto, diminuir os créditos da vítima. Os nós não criam uma entrada para si na tabela local, pois seus pacotes não disputam a mesma fila dos pacotes que serão encaminhados.



(a) Cenário

---

Entrada: Pacote  $P$   
Resultado: Tabela local atualizada  
Dados:  $IP_{Local}$ ,  $IP_{Fonte}$ ,  $IP_{Destino}$ ,  $Rota_{pacote}[]$ ,  $Tabela_{local}[]$   
Os dados são inicializados com as informações do pacote aqui

```

para  $i \leftarrow 1$  até  $Comprimento_{rota}$  faça
  se  $IP_{Fonte} = Rota_{pacote}[i]$  então
    |  $Tabela_{local}[Rota_{pacote}[i]] \leftarrow Tabela_{local}[Rota_{pacote}[i]] - \alpha$ 
  fim
  se  $IP_{Local} = Rota_{pacote}[i]$  então
    se  $TemConfirmação()$  então
      |  $AtualizaAposConfirmação(P)$ 
    fim
    senão
      | retorna
    fim
  fim
   $Tabela_{local}[Rota_{pacote}[i]] \leftarrow Tabela_{local}[Rota_{pacote}[i]] + \beta$ 
fim para

```

---

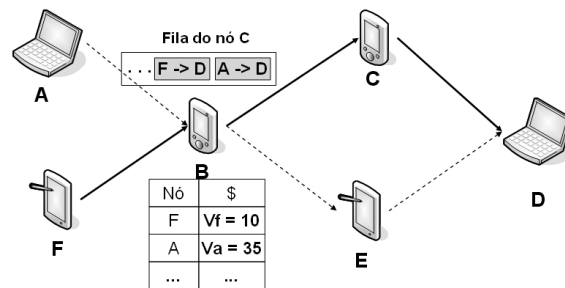
(b) Algoritmo

Figura 1. Atualização da tabela local

A Figura 1(a) ilustra o processo de atualização das tabelas locais de cada nó, para o caso em que o protocolo de transporte não fornecer confirmação de entrega. As setas cheias indicam a rota fornecida pelo algoritmo de roteamento. O nó  $F$  está enviando pacotes para o nó  $D$ , através dos nós  $B$  e  $C$ . A quantidade atual de créditos, de um nó  $i$  é dado por  $V_i$ . A quantidade de créditos  $V_f$  do nó  $F$  mantida pela tabela do nó  $C$  pode ser diferente da quantidade de créditos  $V_f$  do nó  $F$  mantida pela tabela do  $D$ . A quantidade

de créditos  $V_f$  do nó  $F$  nas tabelas dos nós, formadores da rota,  $B$ ,  $C$  e  $D$  e dos nós, que escutaram o envio de pacotes,  $A$  e  $E$  é decrementada devido o uso de serviços da rede, enquanto os créditos  $V_b$  do nó  $B$  são incrementados na tabela dos nós  $F$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $A$  e  $E$ . Os créditos  $V_c$  do nó  $C$  são incrementados nas tabelas dos nós  $B$ ,  $E$  e  $D$ . A Figura 1(b) ilustra os algoritmo que realiza o processo de atualização da tabela quando o nó faz parte da rota. Quando o nó não faz parte da rota (está escutando a transmissão) o algoritmo usa no lugar da variável  $IP_{local}$  a variável  $IP_{vizinho}$  e credita também os créditos do nó  $IP_{vizinho}$ .

Os pacotes de encaminhamento são servidos de acordo com a quantidade de créditos dos nós fontes. O pacote do nó fonte que possuir mais créditos terá prioridade no encaminhamento. A Figura 2 ilustra o momento em que o nó  $B$ , assumindo a formação de uma fila de pacotes, escalona o pacote de maior prioridade entre os fluxos de  $A$  até  $D$  (setas tracejadas) e de  $F$  até  $D$  (setas cheias). Como a quantidade de créditos  $V_a$  do nó  $A$  é superior, o pacote da fonte  $A$  é enviado primeiro. A espera infinita de um pacote na fila de encaminhamento é evitada através do uso de contadores permanência.



**Figura 2. O nó B privilegia o envio dos pacotes do nó A**

De acordo com o seu comportamento, o nó prioriza o envio de seus pacotes ou o encaminhamento dos pacotes de outros nós. O gerenciamento de comportamento foi incorporado à estratégia através do uso de políticas de economia de recursos e QoS definidas previamente. O objetivo das políticas é definir até que ponto os recursos podem ser utilizados e a quantidade de créditos que devem ser alcançados para melhoria da QoS.

#### 4. Avaliação da Estratégia

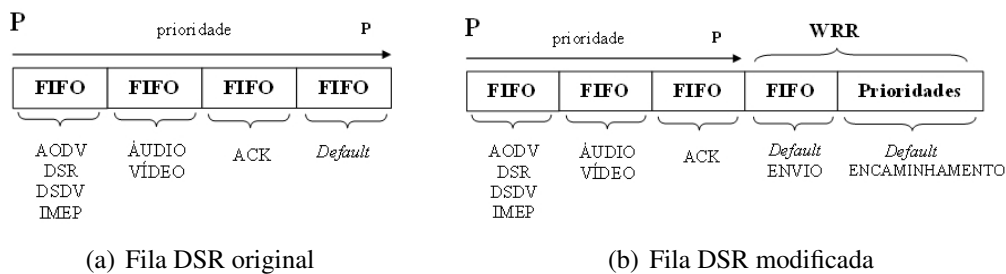
A estratégia proposta foi avaliada através da técnica de simulação. O simulador utilizado foi o *Network Simulator* (NS-2) [NS-2 2006], versão 2.30. Foram realizados inicialmente testes para calibragem dos parâmetros da estratégia. Depois foram realizados testes comparativos sobre duas instalações do NS-2, uma original, sem modificações do código, e outra, modificada, com a implementação da estratégia.

##### 4.1. Ambiente de Simulação

A estratégia foi incorporado ao NS-2 através de modificações no seu código fonte. Foram acrescentadas as seguintes funcionalidades ao agente de roteamento DSR e à sua fila de pacotes:

- Capacidade de contabilização dos créditos dos nós conhecidos. O modo promíscuo foi adaptado para analisar o comportamento dos nós vizinhos, permitindo a contabilização de seus créditos.

- A estrutura da fila de pacotes original do DSR foi remodelada. Os pacotes do tipo de aplicação são dispostos agora em 2 filas distintas, uma para os pacotes que serão enviados pelo nó corrente e outra para os pacotes que serão encaminhados. A fila dos pacotes que serão encaminhados é implementada com uso de prioridades. Os pacotes são ordenados na fila de acordo com a quantidade de créditos dos nós fontes. A Figura 3(a) ilustra a nova estrutura da fila de pacotes do DSR, enquanto que a Figura 3(b) ilustra a estrutura original.
- Os nós podem graduar o seu comportamento quanto a cooperação. As filas de encaminhamento e de envio são escalonadas de forma cíclica de acordo com seus pesos (*Weighted Round-Robin - WRR*) (ver Figura 3(a)), portanto, a quantidade de pacotes servidos por cada fila a cada rodada, depende dos seus pesos. O nó egoísta prioriza o envio de seus pacotes, logo o peso da fila de envio é superior ao peso da fila de encaminhamento. A graduação é definida de acordo com sua política de economia de recursos. O nó cooperativo prioriza o envio de pacotes com graduação variada de acordo com a política de QoS para seus fluxos. Vale ressaltar que a política de economia de recursos também é utilizada pelo nó cooperativo, mas com graduação mais branda.



**Figura 3.** Fila de pacotes do DSR

## 4.2. Determinação dos Parâmetros

Os testes de calibragem da estratégia foram realizados com o objetivo de determinar os parâmetros da equação (1) e os parâmetros das filas de envio e de encaminhamento. Esses parâmetros foram determinados de forma empírica, ainda não otimizada, apresentados a seguir:

- Quantidade inicial de créditos atribuídos a cada nova entrada da tabela local ( $n$  da equação (1), atribuído o valor 1000);
- Quantidade de créditos atribuídos nas entradas dos nós intermediários a cada serviço prestado (valor  $\beta$  da equação (1), atribuído o valor 3);
- Quantidade de créditos debitados na entrada do nó fonte a cada serviço consumido (valor  $\alpha$  da equação (1), atribuído o valor 1);
- Definição da faixa de graduação do comportamento do nó egoísta e do nó cooperativo. No modo egoísta o nó envia 3 pacotes a cada 1 encaminhado. No modo cooperativo o nó encaminha 2 pacotes a cada 1 enviado;
- Quantidade máxima de vezes que a fila de encaminhamento é servida sem que um determinado pacote seja escalonado (atribuído o valor 70). Quando isso acontecer a prioridade do pacote é maximizada levando-o para a cabeça da fila.



### 4.3. Testes

A análise da estratégia foi feita através de testes comparativos entre as simulações executadas no NS-2 sob o DSR modificado e DSR puro. Foram realizados dois tipos de simulação. No primeiro tipo, foi testado o controle do incentivo, mostrando o benefício alcançado pelo fluxo do nó cooperativo. No segundo tipo, foi testado a influência do comportamento (cooperativo ou egoísta) do nó sobre os fluxos roteados e sobre seus fluxos.

A Figura 4 ilustra o cenário estático utilizado nos dois tipos de testes. Foi utilizado um cenário simples para facilitar sua descrição e apresentação dos resultados obtidos. No primeiro teste foram definidos 5 fluxos de tráfego CBR sobre transporte UDP. O fluxo 0 – 1 – 2 foi iniciado primeiro com objetivo de creditar o nó 1 e debitar o nó 0 na tabela do nó 4 (modo promíscuo ativado). Passados 60 segundos o nó 0 pára de enviar pacotes. Após decorridos 30 segundos sem tráfego, foi iniciado o processo de transmissão dos outros 4 fluxos (0 – 4 – 5, 1 – 4 – 3, 3 – 4 – 1, e 5 – 4 – 0) iniciem o processo de transmissão. A partir desse instante comparamos o resultado da aplicação da estratégia sobre o fluxo do nó 1 cooperativo e sobre o fluxo do nó 0 utlizador.

O segundo tipo de simulação usou o mesmo cenário da Figura 4, mas foi adicionado o novo fluxo 4 – 5. O fluxo foi iniciado no mesmo instante dos outros 4 fluxos citados anteriormente. Este segundo tipo de simulação visa a análise da influência do comportamento do nó 4 sobre os fluxos roteados por ele e sobre seu próprio fluxo.

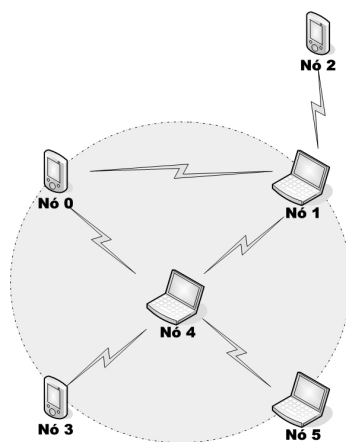


Figura 4. Cenário dos Testes

A análise dos dois tipos de simulação foi iniciada após 95 segundos do início de cada simulação, com duração de 90 segundos. A análise é ativada após o início dos fluxos que passam pelo nó 4, para permitir a criação das rotas e o estabelecimento das comunicações. A simulação foi finalizada após 300 segundos.

Cada experimento foi executado uma dezena de vezes para cada valor de taxa de transmissão. Foram utilizadas taxas de [1, 5, 10, 20, 25, 30, 35 e 40] pacote/s (pacotes por segundo). A cada iteração foram utilizadas novas distribuições de dados. As distribuições foram obtidas atribuindo diferentes sementes de geração de dados aleatórios no NS-2. Dessa forma, foi possível calcular a média aritmética e o percentil noventa dos retardos de cada fluxo em relação a cada semente. Finalmente, foi calculado um intervalo de confiança de 95% para cada média e percentil obtidos.

#### 4.4. Resultados Obtidos

Nos resultados apresentados não foi considerado o caso de erro no encaminhamento de pacotes, o que poderia indicar um nó falho ou malicioso. A primeira medida apresenta a comparação do retardo do fluxo 1 – 4 – 3 utilizando o DSR puro e o DSR modificado. A Figura 5(a) mostra claramente que o retardo do fluxo do nó 1, cooperativo com a rede, foi menor quando utilizado a estratégia proposta. A Figura 5(b) mostra que apesar do fluxo do nó 1 obter menor retardo, não houve aumento da taxa de descarte comparado a situação sem o uso da estratégia. Foi verificado também que o efeito da estratégia só é percebido quando as taxas de envio são superiores a 20 pacotes/s. Isto ocorre devido o fato das taxas com valores inferiores a 20 pacotes/s não acumularem pacotes na fila de encaminhamento do nó 4, não causando efeitos na QoS.

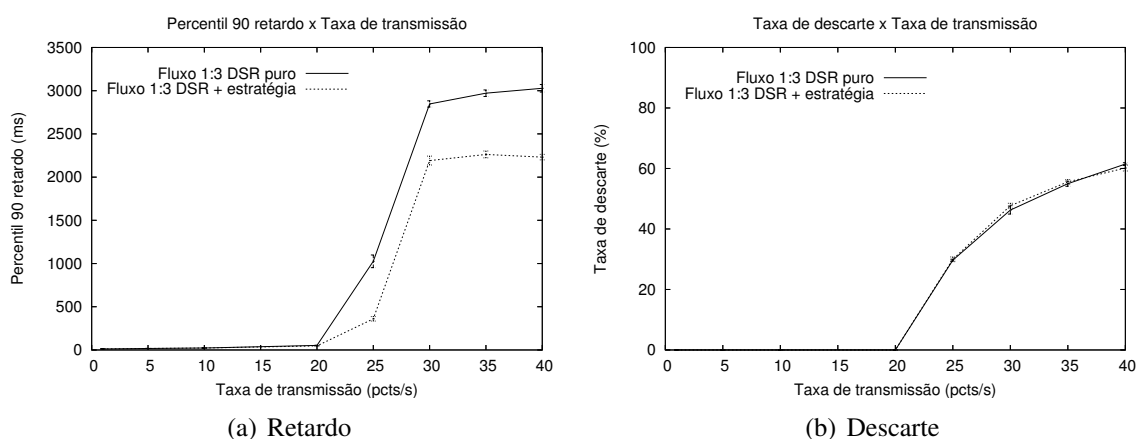
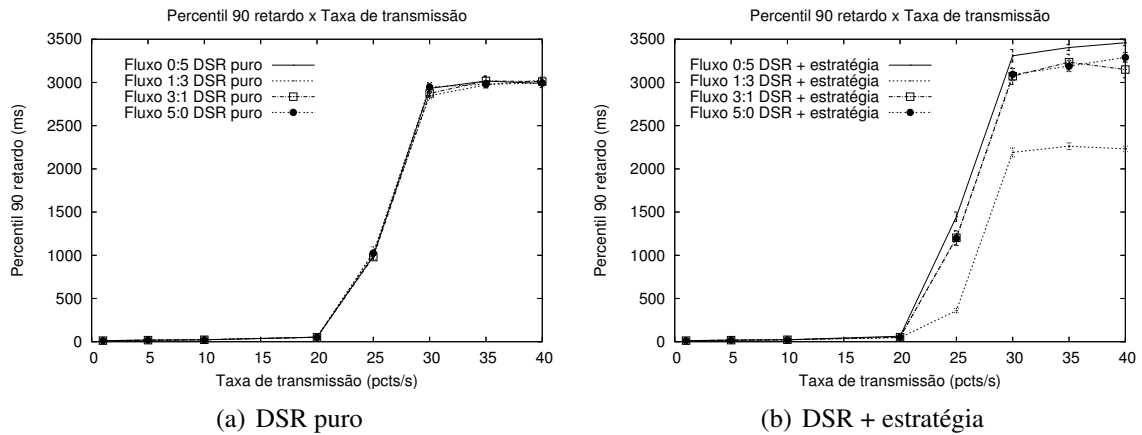


Figura 5. Descarte e Retardo do fluxo 1 – 4 – 3

A Figura 6(a) ilustra o retardo dos 4 fluxos quando simulado com o DSR original. O DSR não escalona os fluxos através prioridades e sim pela disciplina FIFO. Portanto, os fluxos obtiveram retardos semelhantes. A Figura 6(b) ilustra o efeito da estratégia proposta sobre os 4 fluxos. Neste caso fica claro o benefício prestado ao nó 1 e a penalidade imposta ao nó 0. Como o nó 1 cooperou no encaminhamento de pacotes do fluxo 0 – 1 – 2, ele adquiriu créditos na tabela do nó 4, que escutou a transmissão. Entretanto, o nó 0 sofreu débito na tabela do nó 4, pois utilizou o serviço de encaminhamento para enviar pacotes seus ao nó 2. Quando se iniciaram os outros 4 fluxos, o nó 4 priorizou o fluxo do nó 1, que obteve uma melhor QoS, enquanto que o fluxo do nó 0 foi penalizado. Os fluxos dos nós 3 e 5 obtiveram retardos menores que o do nó 0, devido ao fato de só utilizarem os recursos da rede na segunda parte da simulação.

Na segunda fase de testes foi analisado o efeito do comportamento do nó 4 sobre os fluxos roteados e sobre seu próprio fluxo. Para esta simulação foi adicionado o fluxo 4 – 5, com o objetivo de analisar o efeito do comportamento egoísta/cooperativo do nó 4, tanto sobre o fluxo 1 – 4 – 3 como sobre o seu fluxo 4 – 5.

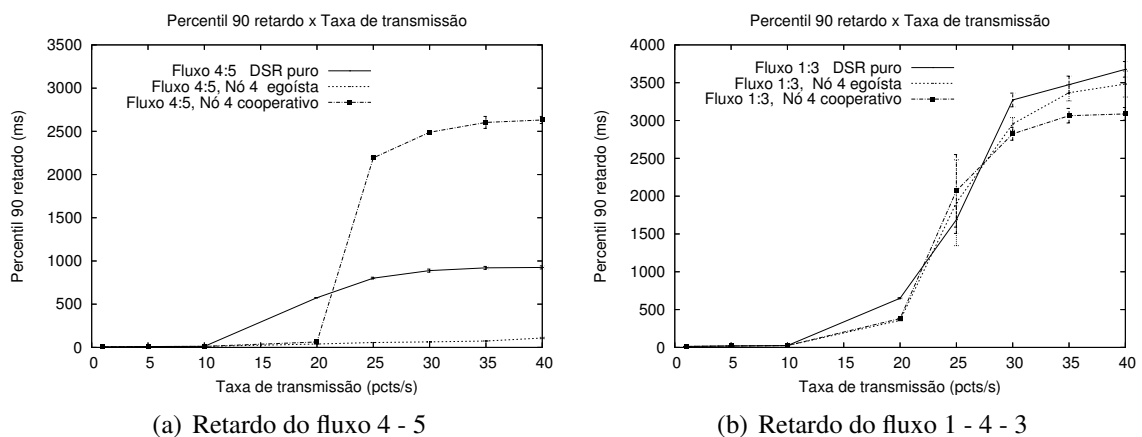
A Figura 7(a) ilustra o efeito do comportamento egoísta do nó 4 sobre seu fluxo. Vale ressaltar que para o DSR puro não foi simulado a variação de comportamento, pois manteve-se a estrutura original da fila de pacotes (ver Figura 3(b)). É notável que quando o nó 4 prioriza o envio de seus pacotes os retardos resultantes são inferiores aos obtidos



**Figura 6.** Retardo de cada um dos fluxos roteados pelo nó 4

quando utilizado o DSR original. Isso ocorre devido o fato do DSR original escalar os pacotes de envio e encaminhamento por ordem de chegada na fila. Quando o nó 4 prioriza o envio dos pacotes de encaminhamento, o retardo do seu fluxo atinge valores superiores aos obtidos quando utilizado o DSR original. Portanto faz-se necessário o uso de políticas de gerenciamento de comportamento, com o objetivo de evitar os extremos apresentados.

A Figura 7(b) ilustra o efeito da mudança de comportamento do nó 4 sobre o fluxo prioritário (DSR modificado) 1 – 4 – 3. Vale ressaltar que devido à adição do fluxo 4 – 5, todos os outros fluxos sofreram um acréscimo nos retardos. Quando o nó 4 apresentou um comportamento egoísta, o fluxo 1 – 4 – 3 sofreu um aumento no retardo, enquanto que no modo cooperativo o fluxo 1 – 4 – 3 ainda manteve retardo menor comparado ao DSR puro, onde não há o conceito de comportamento.



**Figura 7.** Comportamento Cooperativo X Comportamento Egoísta

No modo egoísta, o nó 4 encaminhou 1 pacote a cada 3 enviados, enquanto que no modo cooperativo o nó 4 enviou 1 pacote a cada 2 encaminhados. Estes valores foram atribuídos aos pesos das filas de envio e encaminhamento, permitindo a simulação da mudança de comportamento, como foi explicado na Subseção 4.1.

## 5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou uma estratégia autônoma de incentivo à cooperação baseada em reputação e créditos. Seu objetivo é o incentivo ao encaminhamento de pacotes pelos nós intermediários, mas com a preocupação de utilizar apenas informações locais e dispensar os uso de uma entidade central de controle dos incentivos.

Os testes apresentados mostram que a estratégia é eficaz, pois controla de forma autônoma os incentivos, utilizando apenas as informações locais dos nós. A eficiência foi testada através de comparações entre o desempenho do protocolo de roteamento DSR modificado pela estratégia e o DSR puro. Os testes mostraram que o protocolo DSR, quando munido da estratégia, é capaz de reconhecer os nós cooperativos e melhorar a QoS de seus fluxos, enquanto que o DSR puro trata os fluxos igualmente, independente do comportamento dos nós fontes.

Como trabalhos futuros pode-se tratar os seguintes casos identificados durante a produção deste trabalho:

- Os nós localizados nas bordas da rede, terão menos chance de encaminhar pacotes, portanto esses nós não conseguirão adquirir muitos créditos.
- A reputação de um determinado nó é conhecida apenas por uma porção da rede.
- O nó recebe pacotes de encaminhamento, mas não os encaminha. Faz-se necessário o uso de penalidades sobre este tipo de nó.
- Um nó qualquer tem interesse em estabelecer comunicações, mas não necessita de uma melhor QoS para seus fluxos.

A simulação de variação do comportamento dos nós mostrou a necessidade do uso de políticas para gerenciar a variação de comportamento, de acordo com suas metas e recursos disponíveis. Ainda como trabalhos futuros, pode-se utilizar esse gerenciamento para otimizar o custo benefício do uso dos recursos dos nós. Outro ponto que pode ser explorado no uso de políticas é a troca de políticas entres os nós que participam de uma mesma comunidade. O conceito de comunidade aqui está ligado ao grupo de nós utilizando aplicações (jogos em rede, bate papo, dentre outros) de mesmo interesse. As políticas determinadas pelos nós criadores das comunidades ditariam as regras que deveriam ser seguidas para evitar eventuais penalidades.

## Referências

- Buchegger, S. and Boudec, J. L. (2002). Performance Analysis of the CONFIDANT Protocol: Cooperation Of Nodes—Fairness In Dynamic Ad-hoc NeTworks. *Proceedings of IEEE/ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHOC)*, pages 226–236.
- Buttyán, L. and Hubaux, J. (2000). Enforcing service availability in mobile ad-hoc WANs. *Proceedings of the 1st ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*, pages 87–96.
- Buttyán, L. and Hubaux, J. (2003). Stimulating Cooperation in Self-Organizing Mobile Ad Hoc Networks. *Mobile Networks and Applications*, 8(5):579–592.

- He, Q., Wu, D., and Khosla, P. (2004). SORI: A Secure and Objective Reputation-based Incentive Scheme for Ad-hoc Networks. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2004), Atlanta, GA, USA*.
- Ileri, O., Mau, S., and Mandayam, N. (2005). Pricing for Enabling Forwarding in Self-configuring Ad Hoc Networks. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 23(1):151–162.
- Johnson, B. and Maltz, D. A. (1994). Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networking. In *Mobile Computing*, pages 234–244.
- Li, J., Blake, C., Couto, D. D., Lee, H., and Morris, R. (2001). Capacity of Ad Hoc Wireless Networks. *Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking*, pages 61–69.
- Marti, S., Giuli, T., Lai, K., and Baker, M. (2000). Mitigating Routing Misbehavior in Mobile Ad Hoc Networks. *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, pages 255–265.
- Michiardi, P. and Molva, R. (2002). Core: A Collaborative REputation Mechanism to Enforce Node Cooperation in Mobile Ad Hoc Networks. *Sixth IFIP conference on security communications, and multimedia (CMS 2002), Portoroz, Slovenia*.
- NS-2 (2006). The Network Simulator - ns-2. [www.isi.edu/nsnam/ns/](http://www.isi.edu/nsnam/ns/).
- Park, V. and Corson, M. (1999). Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) Version 1 -Functional Specification. Technical report, MANET Working Group.
- Perkins, C. E. and Bhagwat, P. (1994). Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers. In *ACM Conf. on Communications Architecture, Protocols and Applications*, pages 234–244.
- Perkins, C. E. and Royer, E. M. (1999). Ad-Hoc On Demand Distance Vector Routing. In *IEEE WMCSA '99*, pages 90–100.
- Raghavan, B. and Snoeren, A. (2003). Priority Forwarding in Ad Hoc Networks with Self-interested Parties. *Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems*.
- Zhong, S., Chen, J., and Yang, Y. (2003). Sprite: a simple, cheat-proof, credit-based system for mobile ad-hoc networks. *INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies IEEE*, 3.