

## 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 baseada 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 às 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 ao controle das comunicações da rede. Desse modo, os próprios nós são responsáveis pelo gerenciamento das comunicações.

---

\*Bolsista de mestrado (MDCC/UFC) financiado pela Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP

Quando dois nós estão próximos, a comunicação pode ser realizada diretamente, entretanto, 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, todos os nós pertencem a uma mesma autoridade. Os nós são desenvolvidos para trabalharem juntos na busca dos objetivos determinados pela autoridade. Entretanto, nas redes civis os nós tendem a apresentar um comportamento indesejado. Como na fase de transmissão de pacotes é verificado o maior gasto de recursos (e.g., carga da bateria, processamento), 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.

Outro tipo de comportamento indesejado, não tratado neste trabalho, é o malicioso, em que os nós causam problemas relacionados à segurança da rede [Conti et al. 2004].

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 esse fim, a análise do comportamento dos nós é 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 que visam incentivar a cooperação entre os nós de uma rede *ad hoc*. 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

Os trabalhos costumam apresentar o estado da arte dividido em categorias de incentivo. Entretanto, em [Conti et al. 2006], [Felegyhazi et al. 2006] e [Buttyan et al. 2005] é defendido que a conectividade da rede pode ser mantida sem a necessidade de incentivar

a cooperação. A dependência mútua existente entre os nós da rede seria suficiente para provocar um equilíbrio cooperativo sobre o comportamento dos nós. Dessa forma, pelo menos uma estratégia cooperativa é seguida pelos nós.

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 às 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 indesejado. Repetindo esse comportamento várias vezes, o nó fica com baixa reputação.

Em [Marti et al. 2000] é proposta uma ferramenta de análise de comportamento chamada *watchdog*. Quando um nó apresenta comportamento indesejado, sua reputação é divulgada em toda a rede. Os autores criaram outra ferramenta chamada *pathrater* para evitar o uso de nós egoístas na formação das rotas. O trabalho em conjunto dessas duas ferramentas procura isolar os nós egoístas do encaminhamento de pacotes, no entanto, para isso, inundam a rede com informações de reputação.

Em [Buchegger and Boudec 2002] e [Michiardi and Molva 2002] são propostas abordagens semelhantes que também identificam e isolam os nós egoístas. Entretanto, essas estratégias dificultam o encaminhamento dos pacotes dos nós egoístas como forma de punição. A abordagem proposta em [Refaei et al. 2005] é semelhante, porém, os nós determinam o comportamento de seus vizinhos sem a necessidade de compartilhar informações.

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 não necessita de uma entidade central e não inunda a rede com 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 [Buttayan and Hubaux 2000] são propostas duas estratégias 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. Neste caso, 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 [Buttayan and Hubaux 2003] o trabalho foi continuado com algumas modificações na abordagem. 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.

Em [Shastry and Adve 2006] também é proposto um mecanismo de creditação, no entanto, o ponto de acesso é responsável pelo gerenciamento e contabilização da prestação de serviços da rede. Os autores demonstram que a estratégia atinge um equilíbrio cooperativo para redes mais densas.

Em [Raghavan and Snoeren 2003] propõe-se 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 ainda não estão interessados no encaminhamento prioritário, podem se comunicar. Cada nó deve conhecer as rotas para todos destinos possíveis e 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 como incentivo.

Em [Zhong et al. 2003] propõe-se 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), que é o jogador responsável por definir as regras do jogo e administra o sistema de recibos. Para os autores, a cooperação no encaminhamento de pacotes é uma boa estratégia para a conquista do jogo (otimização do número de pacotes enviados em relação ao consumo de recursos na cooperação). Em [Ileri et al. 2005] defende-se uma abordagem parecida, no entanto, 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, a qual 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 relacionados citados requerem a existência de uma entidade central ou o compartilhamento de informações de controle entre os nós ou ambas as características 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 trabalho objetiva o incentivo à cooperação em redes *ad hoc*. Seu funcionamento básico está voltado à priorizar o envio de pacotes dos nós cooperativos. Para isso, foi desenvolvido um sistema de creditação que é utilizado como parâmetro da priorização. Os nós utilizam informações locais, que estão disponíveis na

camada de rede (e.g., protocolo de roteamento), para atualizar os dados que são utilizados pelo sistema de creditação. Os nós com baixa reputação, devido a não-cooperação, sofrem retardos maiores que os fornecidos aos nós cooperativos e, dependendo do tráfego da rede, têm seus pacotes descartados em grande quantidade.

### 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 é necessário o uso de uma entidade central de administração e é utilizado 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 estão dispostos a se comunicarem com os demais e uma boa qualidade nessa comunicação pode ser desejada.
- Mudança de comportamento. Os nós podem variar seu comportamento de acordo com a necessidade de buscar QoS para seus fluxos ou de economizar seus recursos.
- Modo promíscuo habilitado. Todo nó da rede é capaz de escutar a transmissão de 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 que mantêm uma 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 é incrementa/decrementada na tabela local de acordo com sua atividade corrente (e.g., encaminhando ou enviando pacotes). A quantidade atual de créditos de um nó  $i$  é dado pela seguinte equação:

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

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) é utilizado pela estratégia como parâmetro de prioridade no encaminhado de pacotes.

Como não é exigido que os nós possuam créditos para enviar seus pacotes, o valor da equação (1) pode assumir valores negativos. Portanto, o sistema de prioridades também trabalha com créditos negativos. A quantidade de créditos de um mesmo nó pode assumir valores diferentes nas tabelas dos nós conhecidos. Essa variação é resultante das relações de consumo e prestação de serviços entre os nós da rede.

Novas entradas na tabela local são criadas quando novas rotas são definidas ou quando novos vizinhos são detectados. A atualização da tabela utiliza apenas as informações contidas nos 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 local é iniciado. No primeiro caso, o nó 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 são atualizados se o protocolo de transporte fornecer confirmação de entrega. Caso não haja essa confirmação, é atualizado 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 o protocolo de transporte forneça confirmação de recebimento, o nó fonte, ao receber confirmação, incrementa os créditos dos nós intermediários. 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.

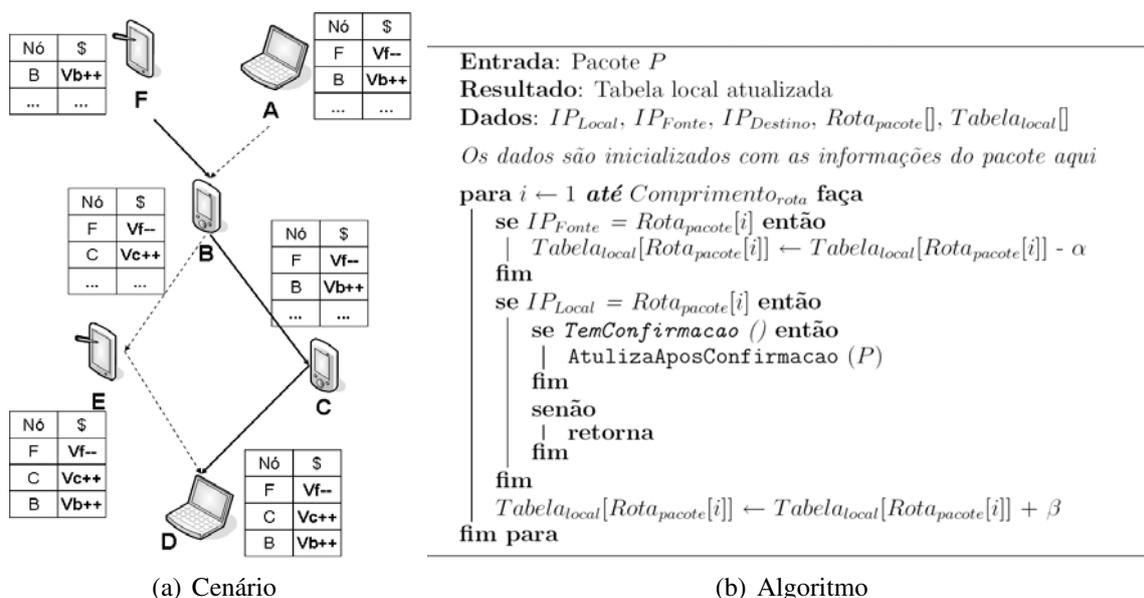


Figura 1. Atualização da tabela local

A Figura 1(a) ilustra o processo de atualização da tabela local de cada nó para o caso em que o protocolo de transporte não fornece confirmação de entrega. As setas cheias indicam a rota fornecida pelo algoritmo de roteamento. O nó  $F$  envia pacotes ao 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 escutam 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 do 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, ele está apenas escutando a transmissão. Nesse caso, o algoritmo usa no lugar da variável  $IP_{local}$  a variável  $IP_{vizinho}$  e credita também os créditos do nó  $IP_{vizinho}$ .

O processo de atualização da tabela local só é executado quando os pacotes estão trafegando na vizinhança de alcance do sinal. Uma alternativa seria atualizar as tabelas locais a cada pacote enviado na rede, entretanto, a sobrecarga gerada sobre os recursos da rede seria maior que o benefício trazido pelo aumento da justiça.

De acordo com o tráfego da rede e sua densidade, um mesmo nó pode rotear vários fluxos diferentes ao mesmo tempo. Neste trabalho, os pacotes de encaminhamento são armazenados em fila e são servidos de acordo com a quantidade de créditos dos nós fonte. O mecanismo da fila de encaminhamento é apresentado na Figura 2. O mecanismo utiliza quatro filas com níveis de prioridades diferentes (e.g., Alta, Média, Normal, Baixa). A quantidade de créditos é utilizada pelo classificador para distribuir os pacotes entre as quatro filas. As prioridades determinam os pesos ( $P1 > P2 > P3 > P4$ ) de cada fila, os quais são utilizados pelo escalonador cíclico como parâmetro de escalonamento. A cada rodada, o escalonador serve uma determinada quantidade de pacotes de cada uma das quatro filas. Quanto maior o peso, maior é a quantidade de pacotes servidos. Esse mecanismo é baseado no escalonamento *Weighted Round-Robin* (WRR).

Caso um nó esteja com baixa quantidade de energia, os pacotes que devem ser roteados começam a ser descartados em razão de sua prioridade. Este descarte funciona como uma espécie de penalidade para os pacotes dos nós com baixa prioridade.

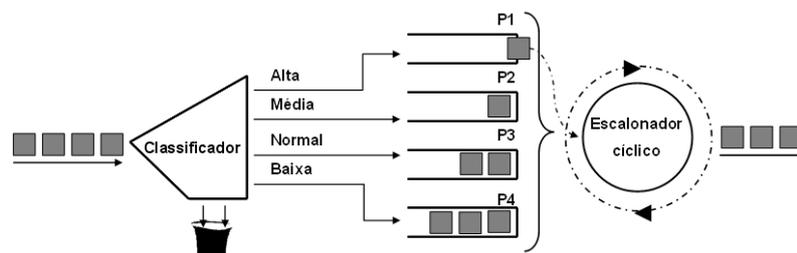


Figura 2. Fila dos pacotes de encaminhamento

Cada nó prioriza o envio de seus pacotes ou o encaminhamento dos pacotes dos outros nós. O gerenciamento de comportamento foi incorporado à estratégia através do uso de políticas de economia de recursos e busca de QoS. As políticas são definidas pre-

viamente e determinam até que ponto os recursos podem ser utilizados na cooperação. Neste trabalho não foi utilizada uma arquitetura de distribuição de políticas, portanto, as políticas são integradas à estratégia e possuem um aspecto geral (e.g., percentual mínimo da quantidade de energia restante que possibilite a cooperação).

As tabelas, as quais são utilizadas pelo sistema de creditação, são de escopo local e suas informações não são compartilhadas. Portanto, o simples fato de um nó malicioso não creditar os pacotes encaminhados pelos seus vizinhos, é insuficiente para influenciar o comportamento dos outros nós envolvidos. Vale ressaltar que este trabalho foca a prevenção ao comportamento egoísta através de incentivos. Não foi tratado, por exemplo, o tipo de ataque *Sybil* [Douceur 2002], onde um nó malicioso assume vários identificadores com o objetivo de burlar sistemas baseados em identificação. Entretanto, acreditamos que a proposta pode ser adaptada às soluções atuais, baseadas em distribuição de chaves, que combatem esse tipo de ataque.

Esta estratégia atua com menor controle sobre os nós que estão localizados na periferia da rede. Como esses nós participam pouco do roteamento de pacotes, eles não conseguem acumular créditos suficientes para serem beneficiados pela estratégia. Portanto, foi definido que esses nós teriam um serviço de melhor esforço para encaminhamento de seus pacotes.

#### 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

Esta estratégia está no nível de rede e pode ser incorporada aos protocolos de roteamento reativos que disponibilizam a rota completa que o pacotes devem seguir. Como o NS-2 não fornece muitas alternativas, a implementação foi realizada sobre o protocolo de roteamento DSR. Entretanto, o portocolo de roteamneto AODV também poderia ser testado, desde que modificado para fornecer a rota completa que os pacotes devem seguir. 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 também 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 duas 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 são encaminhados foi implementada como descrito na Seção 3.2. A Figura 3(b) ilustra a nova estrutura da fila de pacotes do DSR, enquanto que a Figura 3(a) 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 (WRR - ver Figura 3(b)), 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, no entanto, com graduação mais branda.

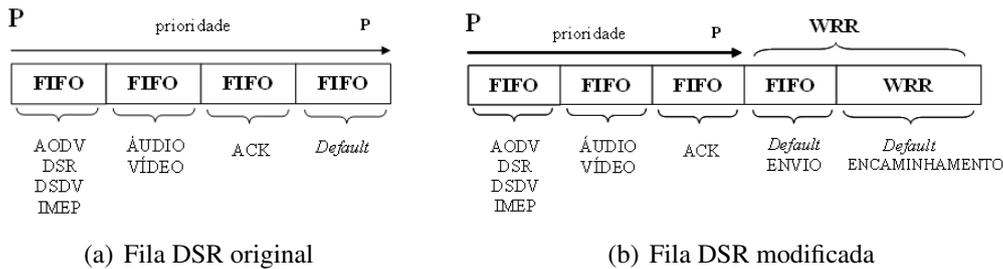


Figura 3. Fila de pacotes do DSR

#### 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. Devido à limitação de espaço deste trabalho, não foi possível apresentar os gráficos resultantes dos testes de calibragem. Esses parâmetros foram determinados de forma empírica, ainda não otimizada, apresentados a seguir:

- Quantidade de créditos adquiridos a cada pacote encaminhado pelo nó intermediário (valor  $\beta$  da equação (1), atribuído o valor 3);
- Quantidade de créditos perdidos a cada pacote enviado pelo nó fonte (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 de pacotes servidos de acordo com o nível de prioridade das filas (valores dos pesos P1(5), P2(3), P3(2) e P4(1)).

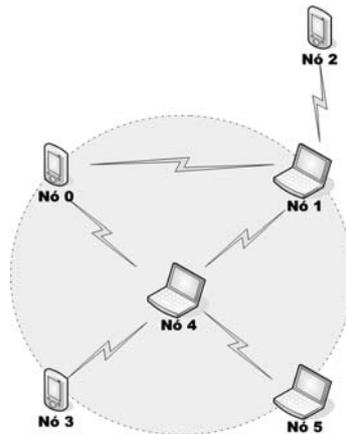
#### 4.3. Testes

A análise da estratégia foi realizada através de testes comparativos entre simulações executadas no NS-2 sobre o DSR modificado e o DSR puro. Foram realizados dois tipos de simulação. No primeiro tipo, foi testado o controle do incentivo sobre o fluxo do nó cooperativo. No segundo tipo, foi testado a influência do comportamento do nó (cooperativo ou egoísta) sobre os fluxos roteados por ele. Em todos os testes foram utilizados fluxos do tipo CRB sobre o transporte UDP. O protocolo de transporte UDP foi escolhido para mostrar que a ausência de confirmação não inviabiliza o funcionamento desta estratégia.

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. 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 quatro fluxos (0–4–5, 1–4–3, 3 – 4 – 1, e 5 – 4 – 0). 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 utilizador.

O segundo tipo de simulação usou o mesmo cenário da Figura 4, todavia, foi adicionado o novo fluxo 4 – 5. O fluxo foi iniciado no mesmo instante dos outros quatro 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 e 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.

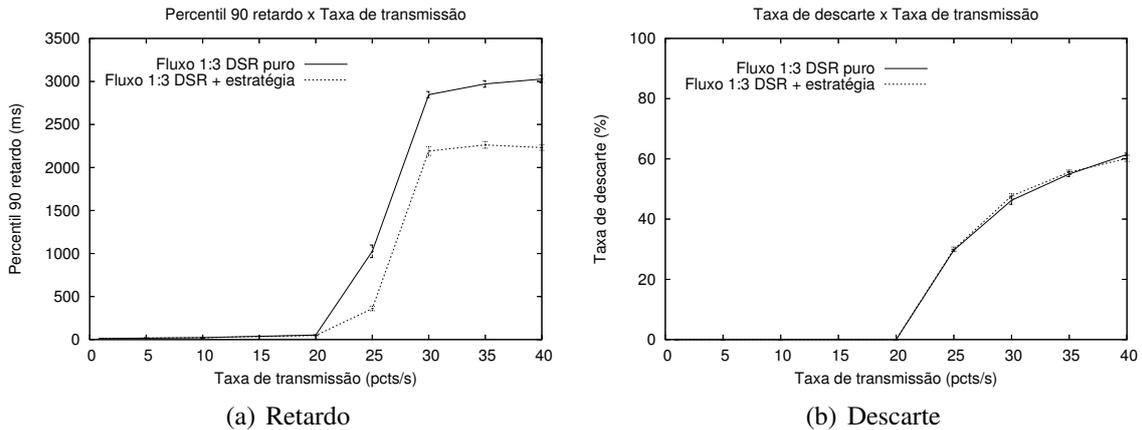
Cada experimento foi executado uma dezena de vezes (replicações) para cada valor de taxa de transmissão. Foram utilizadas taxas de [1, 5, 10, 20, 25, 30, 35 e 40] pct/s (pacotes por segundo). A cada nova iteração, foi modificada a semente de geração de números aleatórios, para que as replicações não se repetissem. 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.

Os instantes de inicio da observação dos dados e o de tempo de duração de cada simulação foram calculados, respectivamente, segundo os critérios de remoção do estado transiente e de parada da simulação abordado em [Jain 1991].

#### 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 quatro fluxos quando simulado com o DSR original. O DSR não escalona os fluxos através de prioridades e sim, pela disciplina FIFO. Portanto, os fluxos obtiveram retardos semelhantes. A Figura 6(b) ilustra o efeito da estratégia proposta sobre os quatro 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 seus pacotes ao nó 2. Quando se iniciaram os outros quatro 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 do 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(a)). É notável que quando o nó 4 prioriza o envio de seus pacotes, os retardos resultantes são inferiores aos obtidos quando utilizado o DSR original. Isso ocorre devido o fato do DSR original escalonar 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.

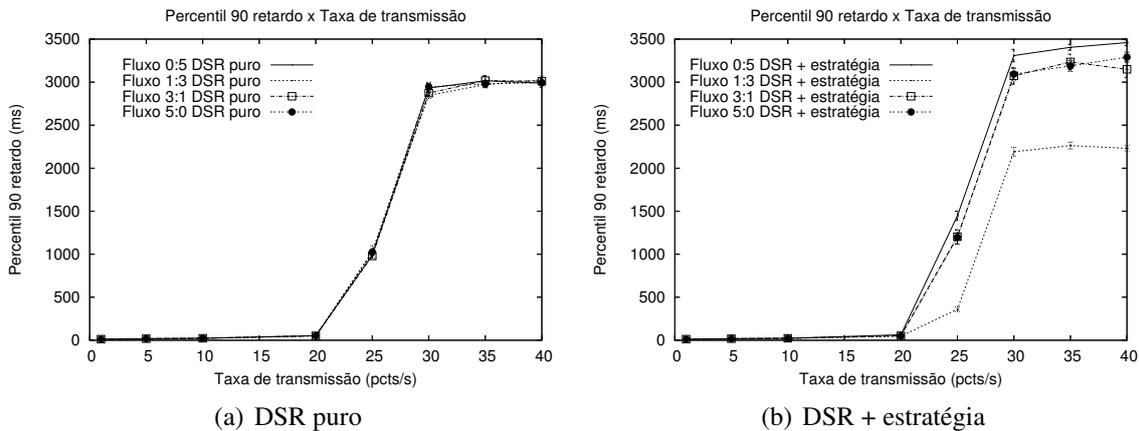


Figura 6. Retardo de cada um dos fluxos roteados pelo nó 4

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.

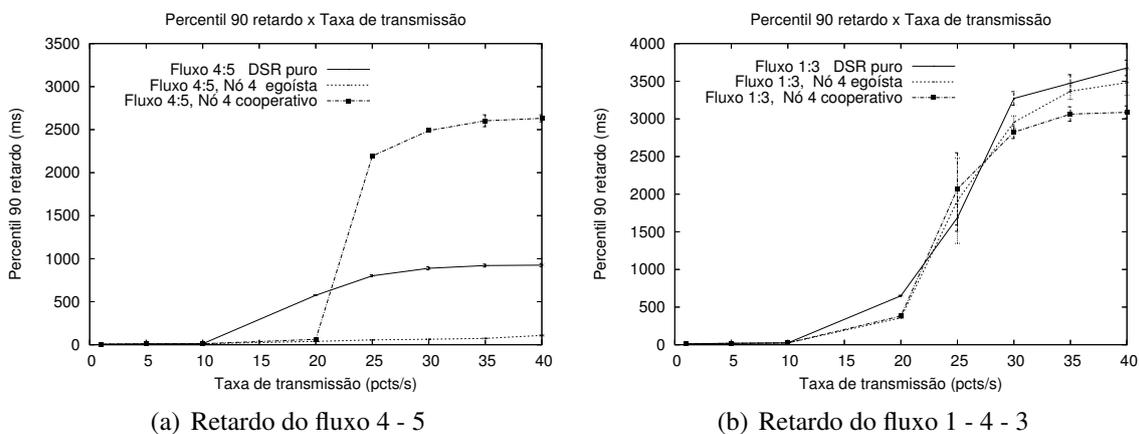


Figura 7. Comportamento Cooperativo X Comportamento Egoísta

No modo egoísta, o nó 4 encaminhou um pacote a cada três enviados, enquanto que no modo cooperativo o nó 4 enviou um pacote a cada dois encaminhados. Estes valores foram atribuídos aos pesos das filas de envio e encaminhamento, permitindo a simulação da mudança de comportamento como foi explicado na Seção 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, no entanto, com a preocupação de utilizar apenas informações locais e dispensar o 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, têm menos chance de encaminhar pacotes, portanto, esses nós não conseguem adquirir muitos créditos.
- A reputação de um determinado nó é conhecida apenas por uma porção da rede.
- Influência da heterogeneidade dos nós na definição das políticas de comportamento e encaminhamento.

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, neste contexto, está ligado ao grupo de nós utilizando aplicações (e.g., 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.
- Buttayan, L., Holczer, T., and Schaffer, P. (2005). Spontaneous Cooperation in Multi-Domain Sensor Networks. *LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE*, 3813:42.
- Buttayan, 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.
- Buttayan, L. and Hubaux, J. (2003). Stimulating Cooperation in Self-Organizing Mobile Ad Hoc Networks. *Mobile Networks and Applications*, 8(5):579–592.
- Conti, M., Gregori, E., and Maselli, G. (2004). Cooperation issues in mobile ad hoc networks. *Distributed Computing Systems Workshops, 2004. Proceedings. 24th International Conference on*, pages 803–808.
- Conti, M., Gregori, E., and Maselli, G. (2006). Reliable and Efficient Forwarding in Ad Hoc Networks. *Elsevier Journal of Ad Hoc Networks*, 4(3):398–415.
- Douceur, J. (2002). The Sybil Attack. *Proceedings for the 1st International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS'02)*.

- Felegyhazi, M., Hubaux, J., and Buttyan, L. (2006). Nash Equilibria of Packet Forwarding Strategies in Wireless Ad Hoc Networks. *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, 5(5):463–476.
- 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.
- Jain, R. (1991). *The art of computer systems performance analysis*. Wiley.
- 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*.
- Refaei, M., Srivastava, V., DaSilva, L., and Eltoweissy, M. (2005). A reputation-based mechanism for isolating selfish nodes in ad hoc networks. *Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, 2005. MobiQuitous 2005. The Second Annual International Conference on*, pages 3–11.
- Shastry, N. and Adve, R. (2006). Stimulating Cooperative Diversity in Wireless Ad Hoc Networks through Pricing. *Communications, 2006. ICC'06. IEEE International Conference on*, 8.
- 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.