

# MINEIRO: Um Mecanismo de Incentivo para Aplicações em Redes Oportunísticas\*

Vinícius F. S. Mota<sup>1,2</sup>, Daniel F. Macedo<sup>1</sup>, Yacine Ghamri-Doudane<sup>3</sup>,  
José Marcos Silva Nogueira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Brazil

<sup>2</sup>LIGM – Université Paris Est  
Paris – France

<sup>3</sup>L3i Lab – Université de La Rochelle  
La Rochelle – France

{v fsmota, damacedo, jmarcos}@dcc.ufmg.br, yacine.ghamri@univ-lr.fr

**Abstract.** *In the recent years, the research community has proposed several protocols and applications for opportunistic networking. These protocols require that all users are willing to cooperate with the network. However, users could have selfish behavior, which can lead to degradations in the network performance. In this work, we propose an incentive mechanism to improve routing, called MINEIRO, which aims to detect and avoid selfish nodes based on the source of the messages. We demonstrate that our algorithm leads to bayesian equilibrium. Moreover, we analyzed the impact of selfishness in opportunistic networks and showed that without an incentive mechanism, the delivery ratio is constant for up to 60% of nodes with selfish behavior in a network with random node mobility. Meanwhile, our proposal incentivizes rational users to forward messages regardless of the amount of selfish nodes.*

**Resumo.** *Nos últimos anos, a comunidade científica propôs diversos protocolos e aplicativos para redes oportunísticas. Estes protocolos requerem que todos os usuários estejam dispostos a cooperar com a rede. No entanto, os usuários podem ter comportamento egoísta, o que pode afetar o desempenho da rede. Neste trabalho, propomos um mecanismo de incentivo para melhoria do roteamento em redes oportunísticas, chamado MINEIRO, que tem como objetivo detectar e evitar os nós egoístas com base na origem das mensagens recebidas. O MINEIRO utiliza apenas informações locais. Demonstramos sob quais condições nosso algoritmo atinge o equilíbrio bayesiano em um jogo dinâmico. Além disso, analisamos o impacto do egoísmo em redes oportunísticas e mostramos que, sem nenhum mecanismo, a taxa de entrega é constante para até 60% de nós com comportamento egoísta em redes com mobilidade aleatória. Nossa proposta, por sua vez, incentiva os usuários racionais a encaminharem mensagens em qualquer quantidade de nós egoístas.*

---

\*Os autores gostariam de agradecer à CAPES, COFECUB, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro parcial a este trabalho.

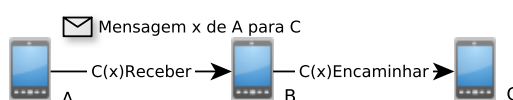
## 1. Introdução

Smartphones, *tablets* e outros dispositivos com capacidade de comunicação tornaram-se muito populares nos dias de hoje. A capacidade de armazenamento e processamento desses dispositivos têm aumentado significativamente, bem como suas tecnologias de comunicação têm ficado cada vez melhores, as quais incluem Bluetooth, Wi-Fi e as atuais redes LTE, popularmente chamadas de redes 4G.

Devido à explosão de tráfego em redes estruturadas e à dependência da existência de uma rede comum entre fonte e destino das mensagens, tem-se observado uma tendência de uso de comunicação *ad hoc* entre os dispositivos. Na comunicação *ad hoc*, os dispositivos encaminham mensagens entre si, sem necessidade de qualquer infra-estrutura. Como exemplo, o consórcio 3GPP está considerando o uso de tecnologia *ad hoc* em versões futuras do LTE [3GPPP 2013], e a WiFi Alliance padronizou o WiFi Direct [2014]. Tais tecnologias podem ser empregadas para a transmissão de dados com múltiplos saltos, utilizando um sistema de repasse oportunístico, no qual os dados são repassados sempre que ocorre um “contato” entre um par de nós [Fall 2003].

O repasse oportunístico depende de algoritmos de roteamento adequados. São descritos diversos algoritmos de roteamento na literatura, que se diferem pela decisão dos nós de repassarem ou não as mensagens quando entrarem em contato com outros nós [Mota et al. 2014]. Uma suposição comum é que todos os nós são confiáveis e irão participar da rede, isto é, irão encaminhar corretamente mensagens vindas de outros nós. Esta suposição é válida em redes nas quais todos os nós cooperam entre si para alcançar uma determinada tarefa, por exemplo, em uma rede de sensores sem fio para monitoramento ambiental ou em uma rede criada para uma missão de resgate após um desastre. No entanto, em aplicações nas quais os indivíduos executam tarefas não relacionadas, como por exemplo em uma rede LTE, o comportamento humano tende ao egoísmo, ou seja, o indivíduo deseja usufruir dos benefícios da rede, porém não deseja cooperar com a mesma [Miao et al. 2013]. Por essa razão, o comportamento humano deve ser considerado pelos algoritmos de roteamento.

Existem diversos motivos para o comportamento egoísta em redes oportunísticas, entre os quais podemos citar: a necessidade de economia de energia do dispositivo; economizar gastos de transmissão de dados; questões de privacidade [Lee and Hoh 2010]. A Figura 1 representa os custos envolvidos ( $C(x)$ ) na tomada de decisão do nó  $B$  quando uma mensagem originária de  $A$  deve ser repassada a  $C$ . Porém, não há garantias que  $B$  irá encaminhar a mensagem para  $C$ , pois o nó  $B$  pode considerar o custo (por exemplo o consumo de energia) para receber e retransmitir a mensagem alto. Por isto, mecanismos de incentivo visam aumentar a probabilidade dos nós cooperarem efetivamente com a rede.



**Figura 1.** Um exemplo de transmissão em uma rede *ad hoc*. O dispositivo  $B$  deve considerar o custo para receber e retransmitir a mensagem  $x$ .

Neste trabalho propomos um mecanismo de incentivo ao repasse de dados batizado de MINEIRO - *Message-based INcentive mechanism for End-user Improvement of Routing Opportunities*. O MINEIRO constrói uma tabela de reputação dos nós baseada na origem da mensagem recebida e qual nó está encaminhando a mesma. Esta tabela é construída com base apenas em informações locais, evitando assim entidades certificadoras centrais. Utilizando a Fig. 1 como exemplo, se o dispositivo *B* retransmite a mensagem *x* de *A* para *C*, então o MINEIRO em *C* aumentará a reputação do dispositivo *B*.

Apresentamos uma modelagem de nossa proposta baseada em teoria dos jogos. Por meio desta modelagem, mostramos para quais parâmetros o MINEIRO atinge o equilíbrio Bayesiano, o qual especifica uma distribuição de probabilidades sobre as ações de cada tipo de jogador de forma que cada um desses tipos maximize seus resultados [Gaoning et al. 2010].

Além disto, analisamos o impacto do comportamento egoísta no algoritmo de encaminhamento Epidêmico [Vahdat and Becker 2000] em dois cenários de mobilidade: com mobilidade aleatória e em um modelo de mobilidade baseado em registros de movimentação humana. A avaliação mostra que o MINEIRO apresenta melhores resultados em relação às métricas de taxa de entrega e atraso quando considerado que os nós podem ser egoístas, mas são racionais. Isto é, cooperam com a rede quando necessário para que possam aumentar o seu desempenho. As contribuições deste trabalho são sumarizadas a seguir:

- Proposta de um mecanismo de incentivo baseado em informações locais para a construção de uma tabela de reputação.
- Modelagem do mecanismo de incentivo como um jogo *Bayesiano*.
- Análise do impacto do comportamento egoísta em redes oportunísticas considerando dois tipos de egoísmo: *i*) Nós não reencaminham as mensagens, porém as mantêm em seu *buffer*; *ii*) Nós descartam todas as mensagens.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: Na Seção 2 contextualizamos o trabalho e apresentamos a revisão da literatura relacionada aos mecanismos de incentivo. Apresentamos o nosso mecanismo de incentivo e de detecção de egoísmo na Seção 3. Uma abordagem de teoria dos jogos é utilizada para mostrar sob quais condições nosso algoritmo atinge o equilíbrio Bayesiano na Seção 4. A avaliação de desempenho e os resultados obtidos são apresentados na Seção 5. Por fim, as considerações finais são apresentadas na Seção 6.

## **2. Comportamentos Humanos e Mecanismos de Incentivo**

O comportamento social do ser humano, como egoísmo e altruísmo, tem sido extensivamente estudado na filosofia, psicologia, economia e no contexto da ciência da computação. Neste último, ele tem sido estudado em sistemas par-a-par, redes *ad hoc* e redes oportunísticas [Miao et al. 2013]. O egoísmo pode ser definido como o ato de beneficiar somente a si próprio ao invés do outro. Por outro lado, o comportamento altruísta ou generoso leva a pessoa a favorecer outros ao invés de si próprio. Levine demonstrou experimentalmente com um jogo simples que existem pessoas egoístas e altruístas em qualquer população [Levine 1998]. A cooperação ocorre quando um indivíduo dedica um esforço, que implica em um custo, em alguma atividade coletiva de forma que outros participantes da atividade recebam um benefício maior do que o custo [Bowles and Gintis 2003].

A diferença entre cooperação e altruísmo é que na cooperação o indivíduo espera algum benefício por ter cooperado.

O comportamento egoísta tem sido um gargalo para aplicações na Internet que dependem de colaboração do usuário. Por exemplo, no Gnutella, um popular sistema de compartilhamento de arquivos par-a-par de alguns anos atrás, 70% dos usuários não compartilhavam nenhum arquivo e 50% dos pedaços de arquivos transmitidos na rede eram enviados pelos 1% dos usuários mais ativos [Adar and Huberman 2000].

Para redes móveis ad hoc, Crowcroft *et al.* modelaram um mecanismo de incentivo com base no uso da banda e energia de cada nó [Crowcroft et al. 2004]. Neste modelo, cada nó recebe um crédito inicial. Um usuário aumenta o seu crédito ao encaminhar o tráfego de outros nós e diminui o crédito com base no custo da energia e consumo da largura de banda do tráfego criado.

No primeiro estudo sobre o impacto do egoísmo em redes oportunísticas, Panagakis *et al.* mostram que a taxa de entrega diminui linearmente com a quantidade de nós egoístas [Panagakis et al. 2007]. Hui *et al.* analisaram o impacto do egoísmo e do altruísmo usando vários *traces* reais de contato e de trânsito [Hui et al. 2009]. Em todos os cenários analisados, a rede formada somente por nós altruístas obteve um atraso 20% inferior ao atraso obtido quando houveram nós egoístas. Portanto, mecanismos de incentivo visam engajar os nós a cooperarem entre si, atenuando o impacto do egoísmo no desempenho da rede.

Os mecanismos de incentivo em redes oportunísticas podem ser classificados como: baseados em permutação - *barter-based* (também conhecido como *tit-for-tat*); baseados em créditos; e baseados em reputação [Miao et al. 2013].

Nas estratégias *baseadas em permutação*, os nós trocam a mesma quantidade de mensagens entre si, proporcionando assim um equilíbrio na utilização dos recursos entre os nós [Buttyán et al. 2010]. No entanto, esta estratégia impõe um limite forte sobre o número de mensagens trocadas entre os nós.

Nas estratégias *baseadas em créditos*, os usuários recebem um pagamento para incentivar a colaboração. O pagamento pode ser feito por cada mensagem encaminhada ou somente quando a mensagem alcança seu destino. Em [Yang et al. 2012], os autores propuseram dois mecanismos de incentivo à base de crédito para redes de sensoriamento participativas. O objetivo é incentivar os usuários a utilizarem seus *smartphones* para coletar e analisar dados de forma descentralizada. Como desvantagem, os mecanismos baseados em crédito exigem um coordenador central para validar o pagamento.

Nas estratégias *baseadas em reputação*, os nós visam detectar e evitar outros nós egoístas, classificando-os de acordo com algumas métricas. Por exemplo, no mecanismo *Ironman*, são atribuídas reputações positivas a todos os nós que participaram do encaminhamento de uma mensagem da origem ao destino [Bigwood and Henderson 2011]. Um mecanismo semelhante é o *MobiGame* [Wei et al. 2011], o qual funciona como se segue: Um nó *A* cria uma mensagem *x* para um nó *C*, e em seguida *A* encaminha *x* para o nó *B*. *B*, por sua vez, a reencaminha para *C*. Após recebê-la, o nó *C* envia para *B* um recibo autenticado de retransmissão da mensagem *x*. Finalmente, quando o nó *A* reencontrar o nó *B*, que estará com o recibo de retransmissão de *x*, o nó *A* aumentará a reputação de *B*.

Todos os mecanismos citados anteriormente requerem uma entidade central para garantir que um nó esteja dizendo a verdade sobre outro nó ou para certificar a autenticidade dos recibos de transmissão das mensagens entregues. Quando possível, o uso de entidade central facilita tarefas como autenticação e gerenciamento da rede. No entanto, a utilização de uma entidade central pode não ser viável em redes oportunísticas, uma vez que nós não certificados também deveriam participar da rede para aumentar as chances de repasse da mensagem. Assim, mecanismos de incentivo para as redes oportunísticas devem empregar apenas métodos que envolvam somente interações entre os participantes da rede.

Com base nesta observação, apresentamos um novo mecanismo de incentivo, batizado de MINEIRO, no qual um nó atribui reputação a outros nós conforme eles retransmitam mensagens de outros nós ou apenas as mensagens de si mesmos. Quanto mais mensagens de terceiros, maior a reputação atribuída. A principal diferença da nossa proposta em relação ao estado da arte é que nosso mecanismo classifica como egoístas todos os usuários que enviam mais mensagens próprias do que mensagens de terceiros. Deste modo, evitamos depender de informação sobre a reputação de um nó vinda de outros nós, o que requer mecanismos de autenticação, algo complexo em redes abertas.

### 3. Um Mecanismo de Incentivo Baseado na Origem da Mensagem

Nesta seção apresentamos o MINEIRO<sup>1</sup>, *Message-based INcentive mechanism for End-user Improvement of Routing Opportunities* em redes oportunísticas. Primeiramente, apresentaremos o modelo de rede e os pressupostos exigidos pela nossa proposta. Em seguida, apresentaremos o nosso algoritmo.

#### 3.1. Modelo de Rede

Uma rede oportunística pode ser modelada como um grafo de alcance temporal, ou grafo temporal [Whitbeck et al. 2012]. Neste tipo de rede não há garantias que exista um caminho fim-a-fim entre dois nós  $(u, v)$  em um determinado momento  $t$ . Porém, este caminho pode ser obtido quando considerado um intervalo entre  $t$  e  $t + \delta$ , no qual  $\delta$  representa o limite superior do tempo para construção de um caminho entre dois nós. Whitbeck *et al.* definem como *jornada* o caminho construído durante o intervalo  $[t, t + \delta]$ .

Consideramos uma rede oportunística modelada como um grafo temporal  $\mathcal{G}_\delta(V, A)$ , sendo  $V$  o conjunto de vértices representando os nós da rede e  $A$ , o conjunto de arestas representando os enlaces entre os nós da rede. Devido à mobilidade, as arestas (enlaces) são adicionadas ou removidas ao grafo  $\mathcal{G}_\delta$  do instante  $t$  até o tempo  $t + \delta$ . Existe uma jornada  $\mathcal{J}$  de  $u$  para  $v$  se forem adicionadas arestas ao grafo  $\mathcal{G}_\delta$ , de tal forma que, o tempo total  $t'$  para  $u$  alcançar  $v$  satisfaça à equação  $t' \leq t + \delta$ .

Neste trabalho estendemos o modelo de Whitbeck para considerar o comportamento dos usuários. Consideramos que cada nó  $v \in V$  possui uma variável contínua  $\mathcal{R} = [0, 1]$  representando o comportamento de  $v$  ao transmitir as mensagens armazenadas em seu *buffer*. Um nó altruísta,  $\mathcal{R} = 1$ , retransmite todas as mensagens. Enquanto um nó egoísta,  $\mathcal{R} = 0$ , encaminha somente as mensagens próprias. Portanto, a proba-

---

<sup>1</sup>O acrônimo MINEIRO também é uma homenagem ao povo de Minas Gerais, conhecido por sua hospitalidade e por sempre darem um voto de confiança a estranhos.

bilidade de entrega de mensagens de  $u$  para  $v$  empregando uma jornada  $\mathcal{J}_p$  é dada por  $P(\mathcal{J}_p) = \prod_{f \in \mathcal{J}_p} \mathcal{R}_f$ , sendo  $f$  os nós intermediários.

### 3.2. O Mecanismo de Incentivo Proposto

O objetivo do MINEIRO é classificar os nós de acordo com a origem das mensagens que os mesmos transmitem, para, desta forma, reconhecer e evitar os nós egoístas. Como consequência, para aumentar a probabilidade de terem suas mensagens entregues ao destino, os nós deverão encaminhar mensagens de outros nós.

O Algoritmo 1 descreve o nosso mecanismo de incentivo. O MINEIRO pode ser utilizado em conjunto com qualquer algoritmo de roteamento oportunístico, sendo necessário apenas que o roteamento envie para o MINEIRO uma lista contendo as informações sobre os remetentes das mensagens recebidas pelo nó  $u$  que foram encaminhadas por  $v$  (linha 1). O MINEIRO segue uma regra de prova de confiança: quando um par de nós,  $u$  e  $v$ , se encontram pela primeira vez, ambos os nós assumem uma reputação inicial maior que zero em relação ao outro e marcam a data e hora em que o evento ocorreu (linhas 2-4). Em seguida, e nos próximos encontros entre  $u$  e  $v$ , o nó  $u$  analisará as mensagens que o nó  $v$  deseja encaminhar. O nó  $u$  aumenta a reputação do nó  $v$  se a origem da mensagem for diferente de  $v$  (linhas 7-8). Caso contrário, o nó  $u$  diminui a reputação de  $v$ , isto é, quando  $v$  encaminha suas próprias mensagens (linhas 10-11). A tabela de reputação não sofre alterações se a mensagem é de  $v$  para  $u$ , visto que neste caso  $v$  deseja entregar uma mensagem própria, porém  $u$  tem interesse em recebê-la.

Após a atualização da tabela de reputação ( $\mathcal{R}$ ), o MINEIRO classificará como egoísta todos os nós com reputação igual a zero, e mensagens provenientes destes nós serão rejeitadas, com exceção de quando a mensagem transmitida tem o nó que a recebeu como destino. Um nó com reputação positiva maior que zero terá sempre suas mensagens encaminhadas.

---

#### Algorithm 1 MINEIRO

---

```

1: Input: Nó  $u$  recebe lista das mensagens  $M$  encaminhadas por  $v$ 
2:  $T_v = now()$ ; {Atualizando data e hora}
3: if  $\mathcal{R}_v \notin R$  then
4:    $\mathcal{R}_v = r_{init}$ ;
5: end if
6: for all  $M_j \in M$  do
7:   if  $origem(M_j) \neq v$  then
8:      $\mathcal{R}_v = \min(\mathcal{R}_v + \Delta_{incremento}, 1)$ ;
9:   else
10:    if  $destino(M_j) \neq u \wedge origem(M_j) = v$  then
11:       $\mathcal{R}_v = \max(\mathcal{R}_v - \Delta_{decremento}, 0)$ ;
12:    end if
13:  end if
14: end for

```

---

Portanto, após a execução do algoritmo, o nó  $u$  tenta aproximar o valor da reputação de um nó  $v$  em relação ao comportamento do mesmo:

- **Altruísta** -  $\mathcal{R}_v = 1$ : O nó  $v$  encaminha todas as mensagens de todos os nós.

- **Racional** -  $\mathcal{R}_v = ]0, 1[$ : O nó  $v$  rejeita as mensagens de nós egoístas.
- **Egoísta** -  $\mathcal{R}_v = 0$ : O nó rejeita todas as mensagens de todos os nós. Neste caso, o nó  $u$  rejeitará todas as mensagens encaminhadas por  $v$ .

Como um nó sempre recebe uma reputação inicial, o algoritmo permite que qualquer nó tenha oportunidade de transmitir suas próprias mensagens em um primeiro encontro. Um valor inicial alto da reputação faz com que o algoritmo demore mais a reconhecer um nó como egoísta, enquanto um valor muito baixo pode levar um nó a ser considerado erroneamente como um nó egoísta. O nó não encaminha mensagens enviadas por um nó  $v$  que seja considerado egoísta em suas tabelas de reputação, isto é,  $\mathcal{R}_v = 0$ . Consequentemente, isto diminui a probabilidade de entrega de mensagens de  $v$ .

O MINEIRO difere de outras propostas devido ao fato de não ser necessário que um nó tenha conhecimento prévio de outros nós ou que seja feita a troca de chaves públicas. O algoritmo evita entidades centrais para garantir a reputação de outros nós, uma vez que o tempo para atingir um terceiro nó em uma rede oportunística pode ser muito alto. Isto faz com que o cálculo de reputação seja mais rápido, uma vez que ele se baseia apenas em informações locais. No entanto, ressaltamos o compromisso que existe entre calcular a reputação rapidamente e calculá-la de maneira precisa, visto que um par de nós pode se encontrar somente uma vez durante o tempo de vida da rede.

O MINEIRO visa incentivar um comportamento racional nos nós. Enquanto o comportamento egoísta diminui a probabilidade de entrega de mensagens para o próprio nó, o comportamento puramente altruísta pode consumir os recursos de um nó rapidamente. Portanto, o comportamento racional faz com que um nó coopere com a rede a fim de melhorar sua própria qualidade de serviço e ao mesmo tempo economize recursos evitando os nós egoístas. Na próxima seção modelamos o MINEIRO como um jogo bayesiano e mostramos que encaminhar mensagens de terceiros é a melhor estratégia que um nó pode tomar para que ele aumente a própria reputação na rede e, por consequência, a probabilidade de ter suas mensagens entregues.

## 4. Modelagem Utilizando Teoria dos Jogos

A teoria dos jogos modela as situações em que o resultado de um participante de um sistema é afetado por sua decisão e pelas decisões tomadas por todos os outros participantes com quem esteja interagindo [Gaoning et al. 2010]. Nesta seção, daremos uma breve introdução sobre conceitos básicos de teoria dos jogos e modelaremos o nosso algoritmo como um jogo Bayesiano.

### 4.1. Fundamentos Básicos

Os participantes de um jogo são chamados de *jogadores*, enquanto que suas decisões são conhecidas como *movimentos* ou *estratégias* (usaremos o termo *estratégia* no restante do texto). Um jogador recebe um *pagamento* em função da sua estratégia e daquela escolhida pelos outros jogadores. Formalmente, um jogo consiste em um conjunto de jogadores, no qual cada jogador  $i$  seleciona uma estratégia  $s_i \in S$ . O conjunto das estratégias selecionadas por todos os jogadores é denotado por um tupla  $P_i = (s_{i=1}, \dots, s_n)$ , e  $p_i$  é o pagamento a cada jogador, sendo  $p_i$  uma função de  $P_i$ .

As situações nas quais os jogadores possuem informações privadas e desconhecidas por outros jogadores são modeladas por meio de jogos de *informações incompletas*,

também chamados *jogos Bayesianos*. O envio de mensagens em redes oportunísticas é um exemplo de jogo Bayesiano, uma vez que um nó (um jogador) sabe seu comportamento, se será egoísta ou não, mas não sabe como o outro nó irá agir. Neste caso, um nó somente associa uma probabilidade em relação ao comportamento do outro nó. Três conceitos fundamentais na teoria dos jogos são necessários antes de apresentarmos nossa modelagem: *Melhor Resposta*, *Equilíbrio de Nash* e o *Equilíbrio Bayesiano*.

A *melhor resposta* é a estratégia escolhida por um jogador, que maximize seu pagamento independentemente da estratégia escolhida por outros jogadores. Formalmente, considerando dois jogadores  $(i, j)$ :

$$P_i(s_i, s_j) \geq P_i(s'_i, s_j) \forall s'_i \in S$$

O *equilíbrio de Nash* é alcançado quando todos os jogadores escolhem estratégias que representam suas melhores respostas. A ideia por trás desse equilíbrio está no fato de que se um jogador escolher a estratégia mais segura, em que irá ganhar mais pontos independentemente das escolhas dos outros jogadores, então os outros jogadores irão fazer o mesmo.

Finalmente, O *equilíbrio Bayesiano* é a distribuição das probabilidades para cada tipo de estratégia para que cada jogador maximize seus pagamentos. O equilíbrio baseia-se na probabilidade de um jogador de um dado tipo escolher determinada estratégia.

## 4.2. MINEIRO como um Jogo Bayesiano

Consideramos como jogadores os participantes de uma rede oportunística. Estes jogadores podem apresentar dois comportamentos distintos: Serem egoístas ou serem cooperativos. O comportamento de um jogador não é conhecido *a priori* pelos outros jogadores. O MINEIRO permite a um jogador assumir que um outro jogador é egoísta ou não após uma quantidade de iterações entre os mesmos. Contudo, um jogador não sabe como o outro o enxerga, isto é, se o vê como egoísta ou não. Portanto, a racionalidade deverá fazer com que um jogador contribua com a rede visando que os outros jogadores o enxerguem com uma boa reputação para que suas mensagens sejam enviadas.

Modelamos o MINEIRO como um jogo bayesiano para analisar os valores de racionalidade  $\mathcal{R}$  e quais parâmetros do algoritmo induzem ao equilíbrio bayesiano. O modelo considera o que ocorre quando um nó da rede encontra com outro. Assim, o jogo é modelado com somente dois jogadores. Formalmente:

Considere o jogo bayesiano  $\mathcal{G}_{MINEIRO} = \langle \mathcal{N}, \mathcal{T}, \mathcal{A}, \mathcal{Q}, \mathcal{U} \rangle$ :

- $\mathcal{N} = \{n_1, n_2\}$ , o conjunto de jogadores, representando os participantes da rede.
- $\mathcal{T} = \{Eg : \text{Egoísta}, Co : \text{Colaborador}\}$ , o conjunto de tipos de jogadores.
- $\mathcal{A} = \{Pr : \text{Enviar mensagem própria}, Te : \text{Enviar mensagem de terceiros}\}$ , o conjunto de estratégias que cada jogador pode tomar.
- $\mathcal{Q} = \mathcal{Q}_1 \times \mathcal{Q}_2$ , onde  $\mathcal{Q}_k = [0, 1]$ , representa a distribuição da probabilidade de acordo com o tipo do jogador. Assumimos  $p(\mathcal{T}_1 = Eg) = \mathcal{R}$ , logo  $p(\mathcal{T}_1 = Co) = 1 - \mathcal{R}$
- $\mathcal{U} = \mathcal{U}_1 \times \mathcal{U}_2$ , o conjunto de pagamento recebido pelos nós  $k$  baseado no tipo que pertencem e nas estratégias escolhidas.



Eg	$\mathcal{R}_1$		Co	$1 - \mathcal{R}_1$	
	Pr	Te		Pr	Te
Pr	$I - \Delta_{dec}, I - \Delta_{dec}$	$I - \Delta_{dec}, I + \Delta_{inc}$	Pr	$I - \Delta_{dec}, I - \Delta_{dec}$	$I - \Delta_{dec}, I + \Delta_{inc}$
Te	$0, I - \Delta_{dec}$	$0, I + \Delta_{inc}$	Te	$I + \Delta_{inc}, I - \Delta_{dec}$	$I + \Delta_{inc}, I + \Delta_{inc}$

**Tabela 1. Matriz de utilidades do jogo. Cada entrada  $(u_1, u_2)$  representa o pagamento (reputação) que cada jogador  $n_k$  recebe em relação à sua estratégia e à estratégia adotada pelo outro após o encontro do jogador  $n_1$  com  $n_2$ .**

A Tabela 1 representa a matriz de utilidades do jogo. As linhas da matriz representam a estratégia do jogador 1, enquanto as colunas representam a estratégia do jogador 2. Cada tupla  $(u_1, u_2)$  define os pagamentos  $\mathcal{U}_k$  para cada conjunto de tipo e estratégia do nó  $n_k$ , sendo  $\mathcal{R}_1$  a probabilidade do nó  $n_1$  ser do tipo *Egoísta* e  $1 - \mathcal{R}_1$  a probabilidade do mesmo nó ser *Colaborador*. A partir desta tabela, derivamos o Teorema 1.

**Teorema 1** *Para o comportamento de cooperação ser motivado é necessário que  $\Delta_{inc} \geq \Delta_{dec}$  e que  $\mathcal{R}_k < \frac{\Delta_{inc} + \Delta_{dec}}{I + \Delta_{inc}}$ , sendo (Colaborador:enviar mensagem de terceiros, enviar mensagem terceiro) um equilíbrio bayesiano para o MINEIRO.*

Para demonstrarmos o Teorema 1, considere o encontro dos jogadores  $n_1$  e  $n_2$ , onde cada jogador possui em seu *buffer* um conjunto de mensagens próprias e mensagens de terceiros, das quais nenhum dos jogadores são os destinos. Seja  $I$  o pagamento inicial que cada nó recebe quando não se conhecem, igual a  $r_{init}$ ,  $\Delta_{inc}$  e  $\Delta_{dec}$  os parâmetros do MINEIRO referentes ao incremento e decremento de reputação, respectivamente.

A estratégia *enviar mensagem de terceiros* (*Te*) é estritamente dominante para o jogador  $n_2$ , se satisfeita a equação  $I + \Delta_{inc} \geq I - \Delta_{dec}, \forall (\Delta_{inc} \geq \Delta_{dec})$ .

Sejam  $\sigma_1(Pr)$  e  $\sigma_1(Te)$  os perfis de estratégias mistas que representam as probabilidades do jogador  $n_1$  escolher a estratégia *enviar mensagem própria* ou a estratégia *enviar mensagem de terceiros*, respectivamente.

$$\sigma_1(Pr) = \sigma_1(Pr|Eg) + \sigma_1(Pr|Co) = \mathcal{R}_1(I - \Delta_{dec}) + (1 - \mathcal{R}_1)(I - \Delta_{dec}) = (I - \Delta_{dec})$$

$$\sigma_1(Te) = \sigma_1(Te|Eg) + \sigma_1(Te|Co) = (1 - \mathcal{R}_1)(I + \Delta_{inc})$$

Como desejamos saber em quais condições a estratégia *enviar mensagens de terceiros* é melhor para o jogador 1, então devemos encontrar em quais situações  $\sigma_1(Te) > \sigma_1(Pr)$ . Para que  $\mathcal{R}_1$  satisfaça a equação  $\sigma_1(Te) > \sigma_1(Pr)$ , temos que:

$$0 < \mathcal{R}_1 < \frac{\Delta_{inc} + \Delta_{dec}}{I + \Delta_{inc}}$$

Nestas condições,  $n_1$  ser colaborador e enviar mensagem de terceiros e  $n_2$  enviar mensagem de terceiros define um perfil de estratégia que leva ao equilíbrio bayesiano.

## 5. Avaliação de Desempenho

Avaliamos o desempenho de nossa proposta utilizando o *Opportunistic Networking Evaluator* (ONE) [Keränen et al. 2009]. ONE é um simulador de eventos discretos para redes oportunísticas. No ONE uma mensagem é totalmente entregue ou descartada, sem fragmentação.

### 5.1. Configurações da Simulação

A rede simulada possui 50 nós em uma área de 1000m x 1000m. O tempo simulado foi de 28800s. Os nós são equipados com interfaces 802.11 com um alcance de rádio de

50 metros e largura de banda 10Mbps. Estas configurações representam usuários em um shopping, por exemplo. A cada intervalo de [10-50]s é gerada uma mensagem para um par origem-destino escolhido aleatoriamente até o tempo de 20000s.

Os nós utilizam o protocolo de encaminhamento Epidêmico [Vahdat and Becker 2000]. Ressaltamos que o MINEIRO pode ser aplicado sobre qualquer protocolo de roteamento. No entanto, o Epidêmico pode replicar uma mensagem entre todos os nós da rede e, com isto, apresenta melhores resultados em relação à taxa de entrega e atraso quando comparado a outros protocolos. Comparamos o MINEIRO em relação a duas outras políticas:

- **Sem Incentivo:** Algoritmo Epidêmico sem qualquer política de incentivo.
- **Barter [Buttyán et al. 2010]:** Os nós trocam somente a mesma quantidade de mensagens.

Quando não há incentivo, o comportamento dos nós é *egoísta*. Quando há uma política de incentivo, o comportamento dos nós é *racional* de acordo com o mecanismo de incentivo utilizado.

Consideramos dois modelos de mobilidade:

- **Random Waypoint model (RWP)**, comumente utilizado em simulações de redes móveis. No entanto, o RWP abstrai o padrão de mobilidade humana. Os nós se movem com velocidade entre 0.5m/s e 1.5m/s.
- **Small World in Motion (SWIM)**, explora a regularidade da mobilidade humana e gera uma mobilidade sintética com padrões similares a diversos registros de mobilidade reais (*traces*) disponíveis na literatura. Mei *et al.* mostraram que os protocolos de encaminhamento oportunistas apresentam resultados semelhantes quando analisados utilizando o SWIM ou registros de mobilidade humana reais. Os parâmetros do SWIM foram definidos com os mesmos valores utilizados em [Mei and Stefa 2009].

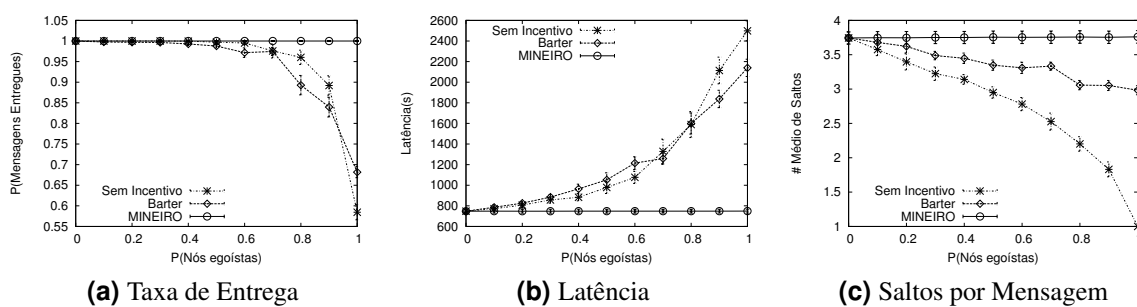
Por uma questão de simplicidade, todos os nós têm capacidade de armazenamento no *buffer* infinita,  $\Delta_{inc}$  e  $\Delta_{dec}$  são iguais a 0.1 e  $I$  é igual a 0.5, e estes valores seguem a equação derivada para o equilíbrio bayesiano.

Todos os resultados apresentam a média e o intervalo de confiança de 95% das quinze execuções para cada cenário. Analisamos as seguintes métricas para avaliar o desempenho da rede em relação à percentagem de nós egoístas na rede.

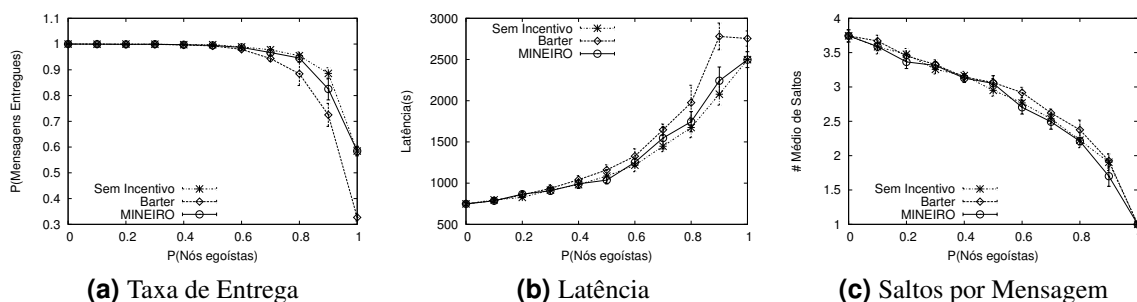
- **Taxa de Entrega de Mensagens:** A quantidade de mensagens enviadas que atingiram o destino dividido pelo número de mensagens criadas.
- **Latência Média:** O tempo entre a criação de uma mensagem até o seu destino.
- **Média de Saltos por mensagem:** Número médio de nós que retransmitiram uma mensagem da origem até seu destino.

## 5.2. Impacto do Comportamento Egoísta nas Redes Oportunistas

A percentagem de nós egoístas na rede,  $\mathcal{R}_v = 0$ , variou de 0 a 100%. Consideramos dois tipos de egoísmo: i) *não-encaminhamento*: nós mantêm a mensagem em seu *buffer* sem encaminhá-la; ii) *descarte de mensagem*: nós descartam a mensagem recebida e todas as informações sobre ela.



**Figura 2. Comportamento egoísta de não-encaminhamento de mensagens no modelo de mobilidade RWP.**



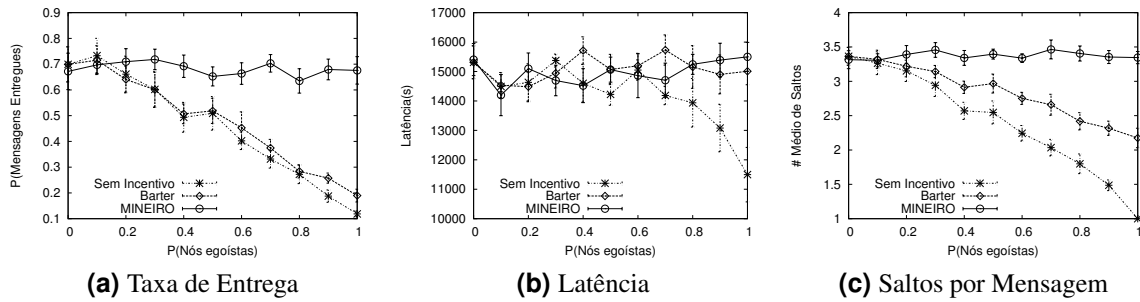
**Figura 3. Comportamento egoísta de descarte de mensagens no modelo de mobilidade RWP.**

Estes dois tipos de egoísmo diferem-se pelo impacto causado nas retransmissões de mensagens. Quando dois nós se encontram, eles trocam uma lista com os identificadores das mensagens que possuem em seus *buffers*, verificam as mensagens em comum, e encaminham apenas as mensagens que o outro nó não possui<sup>2</sup>. O comportamento de *não-encaminhamento* evita que o nó egoísta receba uma mensagem que já possui. Já no *descarte de mensagem*, as retransmissões de uma mesma mensagem para o mesmo nó aumentam, pois um nó descarta uma mensagem e pode recebê-la em outras ocasiões.

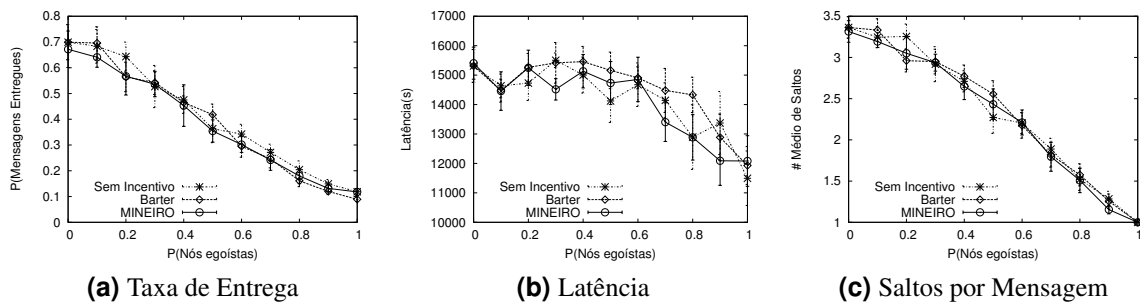
Nas Figuras 2 e 3 são mostrados os resultados para o cenário utilizando o modelo de mobilidade RWP. Neste cenário, a taxa de entrega mantém-se constante até a presença de 60% de nós egoístas, Figura 2a. A entrega nos mecanismos sem incentivo e com incentivo por permutação de mensagens (*barter*) decresce rapidamente após este valor. Além disso, a latência aumenta linearmente após 60% (Figura 2b), enquanto o mecanismo MINEIRO mantém-se constante para estas métricas. Isto indica que neste cenário a rede tolera até 60% de nós com comportamento egoísta sem queda de desempenho.

A Figura 2c explica este resultado: com o aumento de nós egoístas, o número de saltos médios diminui. No pior caso, quando todos os nós se tornaram egoístas, o número de saltos médio foi igual a um (Sem Incentivo), o que significa que as mensagens foram entregues diretamente ao destino. No MINEIRO e no *Barter* os nós são racionais, ou seja, um nó deve repassar mensagens para que possa transmitir suas próprias mensagens. No MINEIRO, os nós egoístas recebem um crédito inicial, o que incentiva os nós a trocarem mensagens de terceiros, mantendo assim o número de saltos constante.

<sup>2</sup>A identificação das mensagens que cada nó possui em seu *buffer* antes de transmiti-las é comum na maioria dos protocolos de contato em redes oportunísticas, pois evitam retransmissões desnecessárias.



**Figura 4. Comportamento egoísta de não-encaminhamento de mensagens no modelo de mobilidade SWIM.**



**Figura 5. Comportamento egoísta de descarte de mensagens no modelo de mobilidade SWIM.**

Na Figura 3 são apresentados os resultados quando os nós egoístas descartam as mensagens. Neste caso, a rede tem uma tolerância de até 60% de egoísmo. No entanto, os mecanismos de incentivo não foram capazes de manter o desempenho da rede.

Os resultados para o modelo de mobilidade SWIM são apresentados nas Figuras 4 e 5. A taxa de entrega é menor que a obtida no cenário utilizando o RWP devido à criação de comunidades. Mensagens geradas para nós externos à comunidade da fonte têm probabilidade menor de alcançar o destino. A taxa de entrega para o MINEIRO permanece constante quando o comportamento egoísta é de *não-encaminhamento* (Figura 4). Novamente, o MINEIRO mantém o número de saltos constante, estimulando os nós a encaminharem as mensagens de terceiros. O comportamento egoísta de *descarte de mensagens*, Figura 5, causa uma degradação quase linear em todas as métricas para todos os mecanismos analisados. Essa degradação é causada principalmente pelo fato de que as mensagens foram geradas entre pares aleatórios de origem e destino. Se o destino da mensagem não pertence ao grupo da origem, as chances de uma mensagem ser entregue são menores. No entanto, o MINEIRO manteve um comportamento quase linear quando o comportamento dos nós egoístas foi de não encaminhar.

Entre todos os cenários analisados, como mostrado nas Figuras 3 e 5, o comportamento egoísta com a política de *descarte de mensagens* apresentou os piores resultados em termos de desempenho da rede. De fato, quando os nós egoístas descartam as mensagens recebidas, o MINEIRO tem resultados semelhantes aos demais. A política de descarte de mensagens causa um aumento no número de retransmissões de uma mesma mensagem para um mesmo nó intermediário, pois o nó pode solicitar uma mensagem que já descartou diversas vezes.

## 6. Conclusão

Neste trabalho propusemos MINEIRO, um mecanismo de incentivo que atribui reputação a nós com base na origem das mensagens que os mesmos enviaram. O MINEIRO dispensa o requisito de uma entidade central para garantir informações sobre reputação dos nós, tal como é feito em outros mecanismos.

Os resultados das simulações mostraram que, em uma rede com mobilidade aleatória, a taxa de entrega e o atraso não sofrem alterações se até 60% dos participantes da rede tiverem comportamento egoísta. Após este valor, somente o MINEIRO manteve a taxa de entrega e o atraso constante. Em redes baseadas em comunidades sociais, o comportamento egoísta degrada o desempenho da rede rapidamente. Nossos estudos também mostraram que descartar as mensagens degrada a taxa de entrega mais rapidamente do que quando estas são mantidas no *buffer* mas não são encaminhadas.

Há diversas questões de segurança associadas às redes oportunísticas que estão fora do escopo deste trabalho, e as deixamos como trabalhos futuros. Como exemplo, citamos a falsificação da origem da mensagem, que poderia levar o MINEIRO a calcular erroneamente a reputação. Uma solução para garantir a autenticidade das mensagens é certificá-las por meio de mecanismos de chaves públicas e privadas, o que exigiria uma entidade central para criação e gerenciamento destas chaves. Contudo, assumimos que redes oportunísticas formadas por dispositivos móveis são redes abertas, nas quais novos participantes podem entrar a qualquer momento. Neste caso, manter uma entidade central para gerenciar estas chaves torna-se um desafio.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o suporte da Capes, CNPq e Fapemig.

## Referências

- (Updated September 2014). Wi-fi certified wi-fi direct: Personal, portable wi-fi to connect devices anywhere, anytime. *WiFi Alliance*.
- 3GPPP (2013). Study on Architecture Enhancements to Support Proximity Services (ProSe) (Release 12). Report 23.703 V0.4.1, 3rd generation partnership project.
- Adar, E. and Huberman, B. A. (2000). Free riding on gnutella. *First Monday*, 5(10).
- Bigwood, G. and Henderson, T. (2011). Ironman: Using social networks to add incentives and reputation to opportunistic networks. In *Privacy, security, risk and trust Workshop in IEEE Socialcom*, pages 65–72. IEEE.
- Bowles, S. and Gintis, H. (2003). *Origins of human cooperation*. In: *Genetic and cultural evolution of cooperation*. MIT Press Cambridge, MA.
- Buttyán, L., Dóra, L., Félegyházi, M., and Vajda, I. (2010). Barter trade improves message delivery in opportunistic networks. *Ad Hoc Networks*, 8(1):1–14.
- Crowcroft, J., Gibbens, R., Kelly, F., and Östring, S. (2004). Modelling incentives for collaboration in mobile ad hoc networks. *Performance Evaluation*, 57(4):427–439.
- Fall, K. (2003). A delay-tolerant network architecture for challenged internets. *Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pages 27–34.

- Gaoning, H., Debbah, M., and Lasaulce, S. (2010). *Game Theory for OFDM Systems with Incomplete Information*. In: *Game Theory for Wireless Communications and Networking*. CRC Press.
- Hui, P., Xu, K., Li, V., Crowcroft, J., Latora, V., and Lio', P. (2009). Selfishness, altruism and message spreading in mobile social networks. In *INFOCOM Workshops 2009*, IEEE, pages 1–6.
- Keränen, A., Ott, J., and Kärkkäinen, T. (2009). The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. In *2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*.
- Lee, J. and Hoh, B. (2010). Sell your experiences: a market mechanism based incentive for participatory sensing. In *PerCom*, pages 60–68. IEEE.
- Levine, D. K. (1998). Modeling altruism and spitefulness in experiments. *Review of economic dynamics*, 1(3):593–622.
- Mei, A. and Stefa, J. (2009). Swim: A simple model to generate small mobile worlds. In *IEEE INFOCOM*, pages 2106–2113. IEEE.
- Miao, J., Hasan, O., Mokhtar, S. B., Brunie, L., and Yim, K. (2013). An investigation on the unwillingness of nodes to participate in mobile delay tolerant network routing. *International Journal of Information Management*, 33(2):252–262.
- Mota, V. F. S., Cunha, F. D., Macedo, D. F., Nogueira, J. M. S., and Loureiro, A. A. F. (2014). Protocols, mobility models and tools in opportunistic networks: A survey. *Computer Communications*.
- Panagakos, A., Vaios, A., and Stavrakakis, L. (2007). On the Effects of Cooperation in DTNs. *2nd International Conference on Communication Systems Software and Middleware*, pages 1–6.
- Vahdat, A. and Becker, D. (2000). Epidemic routing for partially connected ad hoc networks. *Tec. Report, Duke University*.
- Wei, L., Cao, Z., and Zhu, H. (2011). MobiGame: A User-Centric Reputation Based Incentive Protocol for Delay/Disruption Tolerant Networks. *Communications Society*.
- Whitbeck, J., Lopez, Y., Leguay, J., Conan, V., and Amorim, M. (2012). Push-and-track: Saving infrastructure bandwidth through opportunistic forwarding. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(5):682 – 697.
- Yang, D., Xue, G., Fang, X., and Tang, J. (2012). Crowdsourcing to smartphones: incentive mechanism design for mobile phone sensing. In *Mobicom*, pages 173–184.