

Protocolo de Roteamento para DTNs através de uma Otimização Gulosa por Colônia de Formigas

Ana Cristina B. Kochem Vendramin, Anelise Munaretto, Myriam Regattieri Delgado, Aline Carneiro Viana

Resumo— Este artigo propõe um novo protocolo de roteamento para Redes Tolerantes a Atrasos chamado GrAnt (*Greedy Ant*). O GrAnt utiliza uma regra de transição gulosa da meta-heurística de Otimização por Colônia de Formigas para prover a intensificação de bons caminhos previamente encontrados ou encaminhar as mensagens apenas para os nós mais promissores. Através do uso de feromônio e de uma função heurística, o protocolo GrAnt provê três módulos: escalonamento, roteamento e gerenciamento de *buffer*. Resultados de simulação mostram que em um modelo de mobilidade baseado em comunidades o protocolo GrAnt é capaz de alcançar uma taxa superior de entrega de mensagens a custo menor de mensagens replicadas na rede se comparado aos protocolos Epidêmico e PROPHET.

Palavras-Chave— Otimização Bio-inspirada, Redes Tolerantes a Atrasos, Roteamento.

Abstract— This paper proposes a new routing protocol for Delay Tolerant Networks (DTNs) called Greedy Ant (GrAnt). GrAnt uses a greedy transition rule of the Ant Colony Optimization (ACO) metaheuristic to provide the exploitation of good paths previously found or forward the message to the most promising nodes. By making use of pheromone and heuristic function, GrAnt protocol provides three modules: scheduling, routing, and buffer management. Simulation results show that in a community movement model GrAnt is able to achieve higher successfully message delivery and lower message replications than Epidemic and PROPHET.

Keywords—Bio-inspired Optimization, Delay Tolerant Networks, Routing.

I. INTRODUÇÃO

A meta de uma Rede Tolerante a Atrasos (DTN – *Delay Tolerant Network*) é suportar a mobilidade de usuários entre um grupo de redes heterogêneas para solucionar desafios como conectividade não-contínua, mudança constante de topologia e atrasos longos [1][2]. Para operar nessas redes, a transferência de custódia de mensagens é fornecida por nós intermediários até que o destino destas seja alcançado. Até que surja uma oportunidade de contato, um nó pode precisar manter as mensagens de outros nós em seu *buffer* por longo tempo [3]. Considerando que não há garantia de um caminho fim-a-fim entre dois nós, é importante selecionar mais de um caminho para transmitir uma mensagem, manter uma visão atualizada da dinâmica da rede e encaminhar as mensagens apenas aos nós mais promissores. Tais premissas caracterizam um ambiente favorável para a aplicação de paradigmas baseados em população de soluções, como a meta-heurística de Otimização por Colônia de Formigas [4][5]. O presente artigo propõe um protocolo chamado GrAnt (*Greedy Ant*) que

provê módulos para encaminhar, escalonar e descartar mensagens em DTNs.

II. OTIMIZAÇÃO POR COLÔNIA DE FORMIGAS

As características do comportamento adaptativo e coletivo de formigas reais para encontrar o menor caminho entre uma fonte de alimento e seu ninho resultaram na implementação bem sucedida da meta-heurística de Otimização por Colônia de Formigas (ACO - *Ant Colony Optimization*) [4][5] em inúmeros problemas de roteamento em redes. Para solucionar esse tipo de problema, uma formiga incorporará inteligência ao se deslocar de um nó para outro a procura de um caminho candidato entre uma origem e um destino, estocasticamente tomará sua decisão e construirá soluções passo-a-passo. As informações necessárias podem incluir a concentração de feromônio, que indica o quão útil é uma solução global, servindo como um histórico do movimento das melhores formigas, e valores de uma função heurística que, em geral, indicam uma influência explícita em direção a soluções boas locais. Para minimizar a carga de tráfego na rede com as mensagens de controle, a fase de busca é normalmente reativa, ou seja, ela é inicializada apenas sob demanda, quando for necessário estabelecer um caminho. Algoritmos de ACO reativos têm sido extensivamente estudados em Redes Móveis Ad-hoc [6][7]. No entanto, o roteamento em DTNs é mais desafiador devido aos particionamentos frequentes na rede. Em [7], os autores introduzem o ACO em redes ad-hoc com conectividade crítica. Porém, esse trabalho apresenta as seguintes desvantagens: a escolha do próximo nó em direção a um destino se baseia apenas no feromônio cuja disponibilidade não é garantida em DTNs devido às quedas de conexões que podem ocorrer durante o retorno das formigas; um valor constante de feromônio é depositado, ou seja, nenhuma informação sobre os nós de um caminho é considerada; não há evaporação de feromônio; as formigas são enviadas em uma taxa constante e este processo de envio é interrompido quando o primeiro nó considerado um bom candidato for encontrado segundo um limite de probabilidade pré-definido que indicará tal qualidade.

O presente artigo propõe um protocolo de roteamento que realiza uma busca completa, influenciada por uma função heurística de busca local e por uma busca global através de feromônio, com base em uma versão gulosa da meta-heurística de ACO, daí o nome GrAnt (*Greedy Ant*). O protocolo é capaz de analisar as informações mais relevantes que podem ser capturadas da dinâmica das DTNs, direcionar o tráfego apenas para nós mais promissores e, conseqüentemente, limitar o número de cópias de mensagens em circulação na rede.

III. PROTOCOLO GRANT

Para se adaptar às grandes variações que as DTNs sofrem em sua topologia e tentar reduzir a latência na entrega das mensagens, os protocolos ACO reativos tradicionais foram modificados pelo protocolo GrAnt: (a) Formigas de Avanço (FAs) são encapsuladas em mensagens de dados; (b) não há um número fixo de FAs geradas para encontrar um caminho para um destino desconhecido. Ao invés disso, este número é completamente dinâmico de acordo com a utilidade dos encaminhadores de mensagens previamente estabelecidos e com o sucesso da entrega das mensagens. Ou seja, FAs são criadas e enviadas somente quando contatos melhores surgirem e enquanto a recepção da sua respectiva mensagem não for conhecida; (c) uma regra de transição gulosa do ACO é usada para fornecer a intensificação das soluções boas já encontradas ou encaminhar cada mensagem apenas ao(s) nó(s) mais promissor(es), considerando uma função heurística e a concentração de feromônio. A exploração do espaço de busca proposta por um ACO clássico ainda é fornecida pela própria dinâmica das DTNs; (d) devido à dinâmica das DTNs, a escolha do melhor caminho não é o objetivo principal do protocolo. É importante permitir que caminhos redundantes sejam construídos. Então, ao contrário da evaporação de feromônio de um ACO tradicional baseada no tempo, o protocolo GrAnt realiza uma evaporação direcionada a eventos, o que só acontece se um nó detectar um caminho novo a ser construído para o destino. Esta modificação se adapta melhor às redes com conexões intermitentes.

A. Módulo de Roteamento

O protocolo GrAnt proposto observa os padrões de comportamento dos nós para garantir uma taxa boa de entrega de mensagens e um custo baixo em termos do número de réplicas de mensagens transmitidas. O módulo de roteamento do GrAnt é composto por duas fases: uma fase de busca por caminhos (incluindo o encaminhamento de mensagens) e uma fase de retorno das formigas.

A fase de busca por caminhos do GrAnt é inicializada sob demanda quando um caminho entre uma origem e um destino for solicitado. FAs são criadas, encapsuladas na mensagem de dados e enviadas para o destino via um ou mais nós intermediários. Se mais de um contato surgir o melhor será escolhido como o encaminhador da mensagem com base em sua utilidade (ver Seção III.D). Essa fase fornecerá um par <mensagem, contato> que será posteriormente utilizado pelo módulo de escalonamento (ver Seção III.B). A busca por novos caminhos para cada destino continua até que o nó tenha conhecimento da entrega bem sucedida da mensagem correspondente ao seu destino. Após a mensagem com sua FA chegar ao destino, uma mensagem de controle nova, chamada Formiga de Retorno (FR), será criada com as informações obtidas pela FA correspondente. A FR é enviada de volta para o nó que originou a mensagem através do caminho inverso selecionado pela FA. Durante seu retorno, a FR atualizará o feromônio nos nós visitados de acordo com a qualidade do caminho construído pela FA e aumentará a utilidade de intermediação de cada nó visitado (ver mais detalhes na Seção

III.D). Adicionalmente, a FR serve como uma confirmação da mensagem recebida no destino a qual permite aos nós que ainda mantêm a mensagem para descartá-la. Conforme descrito na Seção III.B, as FRs terão prioridade alta o que indica que elas sempre serão enviadas em primeiro lugar e descartadas por último. Um nó que entrar em contato com outro nó que já tenha recebido uma FR para uma determinada mensagem, descartará a mensagem correspondente. Ao chegar no nó de origem, a FR será destruída.

B. Módulo de Escalonamento

Depois de atribuir um contato para cada mensagem, de acordo com o protocolo de roteamento descrito anteriormente, os pares <mensagem, contato> passarão por um processo de classificação para determinar a ordem da sua transmissão. Inicialmente, os pares <mensagem, contato> serão enviados de acordo com suas prioridades. As mensagens de dados e FAs pertencem à classe de prioridade normal e as FRs à classe de prioridade alta. Se todas as mensagens pertencerem à mesma classe de prioridade, o módulo de escalonamento irá considerar o número de vezes que uma mensagem m foi enviada para outros nós (E_m). O par com menor valor E_m será transmitido primeiro. Se os pares tiverem o mesmo E_m , as mensagens cujos destinos são mais prováveis de serem encontrados pelo contato do par ($Social_m$) serão transmitidas primeiro. Finalmente, se os pares pertencerem à mesma classe de prioridade e tiverem os mesmos valores de (E_m) e ($Social_m$), os pares mais antigos serão transmitidos primeiro.

C. Módulo de Gerenciamento de Buffer

As seguintes ações são tomadas pelo módulo de gerenciamento de *buffer* do GrAnt: (a) regularmente ele verifica o tempo de vida (TTL - *Time to Live*) das mensagens e descarta aquelas cujo TTL expirou; (b) descarta as mensagens que foram recebidas com sucesso pelo nó destino; (c) determina quais mensagens serão descartadas quando o *buffer* atingir sua capacidade e uma nova mensagem precisar ser armazenada. Mensagens com prioridade baixa serão descartadas primeiro. Se as mensagens pertencerem à mesma classe de prioridade, aquela com o maior valor E_m será descartada. Se as mensagens tiverem o mesmo valor E_m , a mensagem cujo destino for menos provável de ser encontrado pelo seu contato ($Social_m$) será descartada. Finalmente, se as mensagens pertencerem à mesma classe de prioridade e tiverem os mesmos valores de E_m e ($Social_m$), a mais antiga será descartada.

D. Descrição Detalhada do Protocolo GrAnt

Ao longo de sua fase de busca por caminhos, uma FA carrega as seguintes informações: identificação do nó que originou a mensagem, a identificação do destino da mensagem, a identificação dos nós por onde passa, e a soma das previsões das qualidades futuras desses nós. Em particular, a soma da qualidade prevista dos nós irá atualizar a qualidade parcial do caminho $q(x_{od}^k(t))$ que está sendo construído pela FA k , no tempo t , contendo os nós entre a origem (o) e o destino (d), como na Eq. (1).

$$q(x_{od}^k(t)) = \sum_i Q_i(t) \quad (1)$$

onde $Q_i(t)$ é a qualidade de um nó i pertencente ao caminho. Esta medida é baseada na centralidade de grau de um nó [8]. Quanto mais popular for um nó (centralidade de grau alta) mais oportunidade ele terá de escolher o melhor encaminhador de mensagens. Para obter sua qualidade cada nó irá armazenar o número total de contatos estabelecidos por unidade de tempo dividido pelo número total de nós ($n-1$) na rede. Ao chegar no destino final, a qualidade total do caminho construído ($Q_{caminho}(t) = q(x_{od}^k(t)) / \text{Saltos} + 1/\text{Saltos}$) será calculada considerando a qualidade média de seus nós e o inverso do número de saltos no mesmo. Após calcular a qualidade do novo caminho, uma FR será criada com as informações obtidas pela FA e, então, a FA será excluída. A FR é enviada de volta para o nó que originou a mensagem através do caminho inverso selecionado pela FA. A recepção de uma FR k enviada por um nó j para cada vizinho i produzirá dois efeitos: (a) aumentará em uma unidade a utilidade de intermediação do nó i ($\text{Interm}_{i,d}$) para o destino d da mensagem; (b) atualizará a concentração de feromônio no enlace (i, j) em direção a d de acordo com a Eq. (2).

$$\tau_{(i,j),d}(t+1) = (1-\rho) \times \tau_{(i,j),d}(t-1) + \Delta\tau_{(i,j),d}(t) \quad (2)$$

onde $\tau_{(i,j),d}(t-1)$ é o valor corrente do feromônio no enlace (i, j) (com $\tau_{(i,j),d}(t=0) = \delta_{in}$ sendo o valor inicial do feromônio), $\Delta\tau_{(i,j),d}(t) = Q_{caminho}(t)$ é a concentração de feromônio a ser depositada pela FR no enlace (i, j) e j é o nó de quem recebeu a FR e que será considerado como um próximo salto candidato do nó i para o destino d . Um processo de evaporação $(1-\rho)$ é necessário para as formigas "esquecerem" as decisões anteriores, reduzindo assim a influência do histórico de busca. Na hora de atualizar a concentração de feromônio, todas as outras concentrações pertencentes ao mesmo destino d da mensagem serão evaporadas.

D.1 Fase de Encaminhamento de Mensagens

A fase de encaminhamento de mensagens do protocolo GrAnt determina por qual(is) rota(s) uma mensagem deve seguir para finalmente chegar ao seu destino. A decisão de encaminhamento é realizada mediante a adoção de uma regra de transição gulosa do ACO que considera o feromônio $\tau_{(i,j),d}$ no enlace (i, j) no caminho para um destino d e a função heurística $\eta_{(x),d}$ associada a um nó x no caminho para d .

Uma FA em um nó i decidirá se encaminhará ou não uma mensagem m para um novo vizinho j com base em três condições (ver Figura 1) que consideram a utilidade dos nós e que podem mudar de acordo com a condição do nó i : (a) o nó i é a origem de m ; (b) o nó i é um nó intermediário que recebeu a custódia de m de outros nós na rede.

A primeira condição encaminha m por um caminho de qualidade alta encontrado anteriormente. Essa condição sempre verificará se existe feromônio no enlace (i, j) para d

($\tau_{(i,j),d}$ como na Eq. (2)) e se a utilidade do novo contato j (U_j) é melhor do que a utilidade do nó i (U_i). Se as duas condições forem verdadeiras, a mensagem m e seu contato j serão armazenados no par <mensagem, contato>, como mostram as linhas 7 e 18 da Figura 1, e as condições 2 e 3 não serão testadas. A utilidade dos nós, que descreve o quão bom um nó pode ser como encaminhador da mensagem, é calculada de modo diferente em um nó origem e em um nó intermediário. Se o nó i for a origem de m , as utilidades de i e j considerarão apenas as suas proximidades sociais ($\text{Social}_{i,d}$ e $\text{Social}_{j,d}$) com d (ver mais detalhes na Seção III.D2), conforme mostra a linha 6. No entanto, se i for um nó intermediário as utilidades de i e j considerarão as métricas de proximidade social e utilidade de intermediação ($\text{Interm}_{i,d}$ e $\text{Interm}_{j,d}$), conforme mostra a linha 17. Essas duas métricas são somadas e integradas em uma função heurística ($\eta_{(x),d}$).

```

1 Dada uma mensagem m no buffer de um nó
2 Para todos os contatos j
3 //τ(i,j),d(t) é o feromônio no enlace (i,j) para o destino (d) no tempo t
4 η(x),d(t)= Socialx,d+ Intermx,d; // Função Heurística de um nó x={i or j}
5 se o nó i é a origem da mensagem m
6 se (τ(i,j),d(t) > δin e Socialj,d > Sociali,d)
7 novo Par <mensagem, contato> (m, j);
8 senão se (Umelhor_contm ≠ φ) e (τ(i,j),d(t) × η(j),d(t) > Umelhor_contm)
9 Umelhor_contm = τ(i,j),d(t) × η(j),d(t);
10 melhor_cont = j;
11 senão se (Umelhor_contm == φ) e (Socialj,d ≥ Sociali,d)
12 Umelhor_contm = τ(i,j),d(t) × η(j),d(t);
13 melhor_cont = j;
14 fimse
15 senão // (nó intermediário)
16 // τ(i,d),d(t) é a concentração de feromônio no enlace (i,d) no tempo t
17 se (τ(i,j),d(t) > δin e η(j),d(t) > η(i),d(t))
18 novo Par <mensagem, contato> (m, j);
19 senão se (Umelhor_contm ≠ φ) e (τ(i,j),d(t) × η(j),d(t) > Umelhor_contm)
20 Umelhor_contm = τ(i,j),d(t) × η(j),d(t);
21 melhor_cont = j;
22 senão se (Umelhor_contm == φ) e (τ(i,j),d(t) × η(j),d(t) ≥ τ(i,d),d(t) × η(i),d(t))
23 Umelhor_contm = τ(i,j),d(t) × η(j),d(t);
24 melhor_cont = j;
25 fimse
26 fimse
27 fimPara
28 se (Umelhor_contm ≠ φ)
29 novo Par<mensagem, contato> (m, melhor_cont);
30 fimse
    
```

Fig. 1. Fase de Encaminhamento de Mensagens do Protocolo GrAnt

A segunda condição busca encontrar um contato novo e melhor para m entre os contatos atuais j do nó i , considerando que um contato melhor (melhor_cont), com a sua utilidade armazenada em uma variável chamada $U_{\text{melhor_cont}}^m$, foi encontrado anteriormente. Assim, a variável $U_{\text{melhor_cont}}^m$ (linhas 9 e 20) e a variável que representa o melhor contato corrente para a mensagem m (linhas 10 e 21) são atualizadas com U_j e j , respectivamente, quando há um valor prévio para $U_{\text{melhor_cont}}^m$ (ela não está vazia) e a relação $U_j > U_{\text{melhor_cont}}^m$ é verdadeira. Nesse caso, a condição 3 não será testada. É importante salientar que a variável $U_{\text{melhor_cont}}^m$ é uma outra contribuição importante do protocolo GrAnt: de uma forma dinâmica ela limita o número de réplicas de m encaminhadas para outros nós. A utilidade de j e do melhor_cont consideram o produto da função heurística e do feromônio.

A terceira condição de encaminhamento é utilizada para inicializar os valores $U_{melhor_cont}^m$ e $melhor_cont$. Se nenhuma das duas condições anteriores for satisfeita, ela verificará se $U_{melhor_cont}^m$ está vazia e se $U_j \geq U_i$. Se essas condições forem verdadeiras, as variáveis $U_{melhor_cont}^m$ e $melhor_cont$ para m são inicializadas com U_j e j , respectivamente. As utilidades de i e j consideram: as métricas $Social_{i,d}$ e $Social_{j,d}$ se i for um nó origem de m (linha 11); o produto da função heurística e do feromônio se o nó i for um nó intermediário (linha 22).

Após analisar a utilidade dos contatos atuais e inferir o melhor deles (de acordo com a variável $melhor_cont$), o protocolo GrAnt criará o par <mensagem, contato> (linha 29) e atualizará a variável E_m que indicará o número de vezes que uma mensagem m foi enviada para outros nós.

D.2 Função Heurística

A função heurística utilizada pelo protocolo GrAnt se baseia em dois critérios: $Social_{i,d}$ que representa a proximidade social entre os nós i e d ; e $Interm_{i,d}$ que indica a utilidade de intermediação do nó i em relação ao destino d . Para obter a proximidade social entre dois nós uma métrica nova é utilizada. Esta métrica dá maior importância a duração de contato mais recente entre um par de nós como na Eq. (3).

$$Social_{i,j} = \lambda_{i,j} \times d_{i,j}(t+\Delta t) / T, \quad (3)$$

onde $\lambda_{i,j}$ é o número de vezes que os nós i e j estabeleceram um contato desde o início da simulação. T a duração do experimento. $d_{i,j}(t + \Delta t)$ é a duração prevista dos contatos entre i e j calculados como uma média móvel ponderada (ver Eq. (4)), onde $d_{i,j}(t-\Delta t)$ é a duração do contato entre i e j no tempo $t-\Delta t$. $d_{i,j}(t)$ é a duração desse contato no tempo t e o coeficiente α é um fator de redução entre 0 e 1.

$$d_{i,j}(t+\Delta t) = \alpha \times d_{i,j}(t-\Delta t) + (1-\alpha) \times d_{i,j}(t) \quad (4)$$

No presente artigo a utilidade de intermediação de um nó i é calculada de uma forma diferente da centralidade de intermediação tradicional, que considera que as interações entre dois nós não adjacentes dependem de nós que estão localizados nos caminhos mais curtos entre eles [8]. Como estamos interessados em caminhos diferentes para cada destino d , considera-se que para se ter uma utilidade de intermediação alta em relação a d , um nó i deve aparecer com muita frequência nos caminhos entre qualquer nó de origem e o destino d ($Interm_{i,d}$). Desta forma, a verificação de caminhos mais curtos não se faz necessária e, diferente de pesquisas como em [9], não há troca entre os nós de suas listas contendo todos os contatos anteriormente encontrados por eles. Na verdade, no protocolo GrAnt, os nós vizinhos apenas trocam informações locais sobre a sua centralidade de grau, sua proximidade social e sua utilidade de intermediação em relação a cada destino d .

IV. AMBIENTE DE SIMULAÇÃO E RESULTADOS

O cenário utilizado neste artigo consiste em uma área 8800x7800m dividida em cinco comunidades ou Pontos de

Interesse (PIs), que simula um grupo de pessoas em sua comunidade, que entrarão, eventualmente, em contato com alguma outra pessoa e trocarão dados. Existe uma pequena probabilidade de essas pessoas irem para outros PIs diferente da sua comunidade domiciliar, mas há uma grande probabilidade de que elas se encontrem em PIs em comum. Existem quatro grupos de nós, cada um com quarenta nós aleatoriamente inseridos em um PI. Cada nó tem um PI domiciliar que é mais provável de ele visitar. Nós selecionam um destino e uma velocidade entre 0,5-1,5 m/s, se movem até lá, esperam por um período de tempo de 100-200 segundos e, em seguida, selecionam o próximo destino. Mensagens são configuradas com TTL de 600 minutos e têm um tamanho igual a 500k. O tráfego é gerado a cada 5-10 segundos. O alcance da comunicação é de 10 metros e a velocidade de transmissão é de 250 Kbps. A simulação tem duração de 800.000 segundos. Existe um período de *warmup* de 5.000 segundos. O limiar δ_m é de 0,01 (valor inicial para a concentração de feromônio). O coeficiente α assume 0,3. A taxa de evaporação de feromônio (ρ) é de 0,3.

Neste trabalho estamos interessados em duas categorias de protocolos para DTNs que podem operar em vários ambientes com diferentes modelos de mobilidade dos nós: o protocolo Epidêmico baseado na inundação de mensagens [10] e o protocolo PROPHET baseado em previsões de contatos [11] são utilizados para comparação de desempenho com o protocolo GrAnt. Diferente do Epidêmico e do PROPHET, o GrAnt tira vantagem de uma adaptação rápida da estrutura de aprendizagem do ACO para conduzir uma busca global e obter informações relevantes dos nós DTN. Com essas informações o GrAnt é capaz de analisar a utilidade de cada contato como encaminhador de mensagens e limitar o número de mensagens replicadas na rede. As simulações foram realizadas através do simulador ONE [12]. Cada gráfico contém seis curvas para o GrAnt, Epidêmico e PROPHET, duas para cada um deles. As curvas com linhas contínuas e pontos cheios mostram os resultados dos protocolos sem o campo contador de saltos da mensagem, e as curvas pontilhadas com pontos vazios mostram os resultados com um contador de saltos de 11 para limitar a replicação de mensagens e, conseqüentemente, a utilização de recursos da rede. Foi variado o tamanho do *buffer* dos nós e o TTL das mensagens. Os resultados apresentam valores médios.

A Figura 2 mostra a taxa de entrega das mensagens em relação à variação do tamanho de *buffer*. É fácil perceber que conforme o tamanho do *buffer* aumenta, aumenta-se também o número de mensagens entregues com sucesso para os três protocolos. Isso porque quanto maior o tamanho do *buffer*, mais mensagens são armazenadas, reduzindo assim o risco de descarte de mensagens. Quando os protocolos PROPHET e Epidêmico usam o contador de 11 saltos para limitar o encaminhamento de mensagens, eles são capazes de entregar mais mensagens. Já o protocolo GrAnt sem considerar o campo contador de saltos ou limitando o encaminhamento em 11 saltos provê praticamente os mesmos resultados. Isso porque o protocolo GrAnt utiliza a variável $U_{melhor_cont}^m$ para limitar dinamicamente o número de repasses de mensagens. Para todos os tamanhos de *buffer*, o GrAnt obteve um desempenho muito melhor do que os outros protocolos. Por

exemplo, em um *buffer* de tamanho de 10MB, o protocolo GrAnt entrega praticamente 89% das mensagens contra 54% do PROPHET e 67% do Epidêmico.

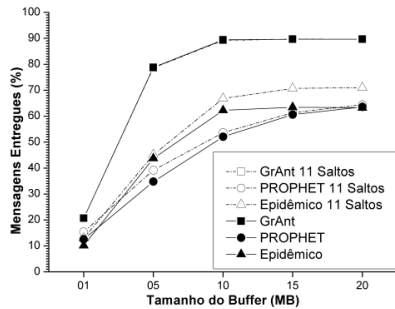


Fig. 2. Taxa de Entrega de Mensagens variando o Tamanho do Buffer.

A Figura 3 mostra a taxa de mensagens replicadas na rede calculada como $(M_{replicadas} - M_{entregues})/M_{entregues}$ para os três protocolos sem considerar o contador de saltos e com o contador de 11 saltos. $M_{replicadas}$ representa o número de mensagens replicadas para os nós e $M_{entregues}$ o número de mensagens entregues. É possível notar que o GrAnt gerou uma taxa bem menor de mensagens replicadas (entre 16,4 e 9,10) que o Epidêmico com 11 saltos (115,2 - 24,2) e que o PROPHET com 11 saltos (74,1 - 25,4), devido ao fato de que os nós candidatos a próximo salto são de número limitado.

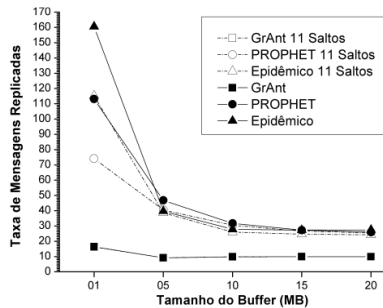


Fig. 3. Taxa de Mensagens Replicadas variando o Tamanho do Buffer.

As Figuras 4 e 5 mostram respectivamente a taxa de entrega de mensagens e a taxa de mensagens replicadas em relação à variação do TTL das mensagens, com um tamanho de *buffer* de 5 MB. Nesses casos, somente os melhores algoritmos foram considerados: GrAnt sem limitar o número de saltos; PROPHET e Epidêmico com contador de 11 saltos. Como pode ser visto na Figura 4, o protocolo GrAnt provê os melhores resultados para todos os valores de TTL em relação a entrega de mensagens (variando de 65% a 84%) se comparado ao Epidêmico (45% - 47%) e ao PROPHET (42% - 38%). O número de mensagens entregues com o protocolo GrAnt aumentou conforme o TTL aumentava. O Epidêmico entregou praticamente a mesma quantidade de mensagens para todos os valores de TTL. Ao contrário, o PROPHET entregou mais mensagens com um TTL menor. Na Figura 5, para todos os valores de TTL, o protocolo GrAnt gerou uma taxa bem menor de mensagens replicadas (entre 10,7 e 8,6) quando comparado aos protocolos Epidêmico (entre 39,2 e 37,3) e PROPHET (entre 35,8 e 41,9).

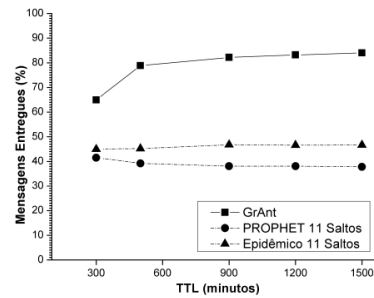


Fig. 4. Taxa de Entrega de Mensagens variando o TTL das Mensagens.

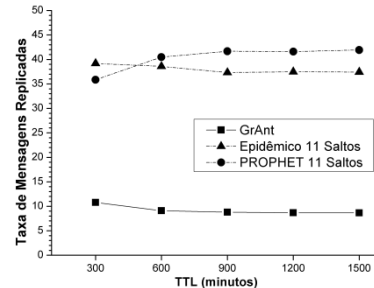


Fig. 5. Taxa de Mensagens Replicadas variando o TTL das Mensagens.

V. CONCLUSÕES

O presente artigo propõe um protocolo de roteamento baseado em previsões que usa uma versão gulosa da metaheurística ACO para realizar buscas locais e globais em DTNs. A principal motivação para o uso do ACO é aproveitar a rápida adaptação da sua estrutura de aprendizagem e de seu paradigma baseado em população de soluções. O protocolo GrAnt inclui módulos de roteamento, escalonamento e gerenciamento de *buffer*. As simulações mostraram que, em um modelo de comunidades, o GrAnt é capaz de alcançar uma taxa de entrega de mensagens muito superior e um número de mensagens replicadas bem menor se comparado aos protocolos Epidêmico e PROPHET. Isto se deve ao fato de o GrAnt fazer uso de informações sobre os encaminhadores candidatos como sua centralidade grau, utilidade de intermediação e proximidade social com cada destino.

REFERÊNCIAS

- [1] K. Fall. "A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets". Proc. of ACM SIGCOMM 2003, CCR, vol. 33, n. 4, pp.27-34, Oct. 2003.
- [2] K. Fall; S. Farrel. "DTN: An Architectural Retrospective," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 26, n. 5, pp. 828-836, 2008.
- [3] V. Cerf et al., "Delay-Tolerant Network Architecture", IETF RFC 4838, DTN Research Group, Apr. 2007, <http://www.ietf.org/rfc/rfc4838.txt>.
- [4] M.Dorigo, V. Maniezzo, A. Colomi. "The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents". IEEE Trans Syst Man Cybern B, vol.26, n.1, pp.1-13,1996.
- [5] M. Dorigo, G. Caro. "Ant Colony Optimization Meta-Heuristic". New Ideas in Optimization, pp. 11-32, McGraw-Hill, 1999.
- [6] L. Liu, G. Feng. "Swarm Intelligence Based Node-Disjoint Multi-path Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", Proceedings of the ICICS, pp. 598-602, Bangkok, Thailand, 2005.
- [7] L. Rosati, M. Berioli, G. Reali. "On ant routing algorithms in ad hoc networks with critical connectivity". Ad Hoc Networks. vol. 6, n. 6, pp. 827-859, 2008.
- [8] L. C. Freeman. "Centrality in social networks: Conceptual Clarification". Social Networks, vol. 1, no. 3, p. 215-239, 1979.
- [9] E. M. Daly, M. Haahr. "Social Network Analysis for Routing in Disconnected Delay-Tolerant MANETs". Proceedings of MobiHoc, pp. 32-40, 2007.
- [10] A. Vadhat, D. Becker. "Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks". Technical Report CS-2000-06, Duke University, 2000.
- [11] A. Lindgren, A. Doria, O. Schelén. "Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks". LNCS, vol. 3126, pp. 239-254, 2004.
- [12] A. Keränen, T. Kärkkäinen, J. Ott. "Simulating Mobility and DTNs with the ONE". Journal of Communications, vol.5, n.2, pp.92-105, 2010.