

Uma Avaliação de Abordagens de Distribuição para Gerenciamento de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões*

Ewerton M. Salvador¹, Vinícius Mota¹, Virgil Almeida¹, Daniel F. Macedo¹,
José Marcos Nogueira¹, Jéferson C. Nobre², Pedro A. P. R. Duarte²,
Lisandro Z. Granville², Liane M. R. Tarouco²

¹ Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)
Departamento de Ciência da Computação
Belo Horizonte – MG – Brasil

²Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brasil

{ewerton,vfsmota, virgil, damacedo, jmarcos}@dcc.ufmg.br

{jcnobre, paprduarte, granville, liane}@inf.ufrgs.br

Abstract. *The absence of some key TCP/IP assumptions in Delay-Tolerant Networks (DTNs) makes the employment of conventional management approaches more difficult. This paper evaluates the strengths and weaknesses of the traditional centralized, hierarchical, and distributed management approaches being used in a DTN environment. A DTN simulator was used for evaluating two metrics regarding the use of these management approaches: the success poll rate and the latency of the monitoring operation. The results achieved in this work have potential for guiding the development of new solutions for managing Delay-Tolerant Networks and improving its fault tolerance.*

Resumo. *A ausência de pressuposições básicas do TCP/IP em Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (DTNs) faz com que o emprego de abordagens convencionais de gerenciamento seja mais difícil. Este artigo avalia as forças e fraquezas das tradicionais abordagens de gerenciamento centralizada, hierárquica e distribuída, quando empregadas em um ambiente DTN. Um simulador DTN foi usado para avaliar duas métricas relacionadas ao uso das abordagens de gerenciamento: a taxa de sucesso de operações de polling e a latência da operação de monitoramento. Os resultados alcançados no trabalho possuem potencial para guiar o desenvolvimento de novas soluções para o gerenciamento de DTNs e melhorar sua tolerância a falhas.*

1. Introdução

Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (*Delay-Tolerant Networks*, ou DTNs) foram desenvolvidas para permitir comunicação em ambientes com desconexões frequentes e longos atrasos de transmissão [Cerf et al. 2007]. Apesar da tecnologia DTN ter sido inicialmente criada para comunicações interplanetárias, essas redes também podem beneficiar aplicações terrestres, especialmente em cenários onde a comunicação é assíncrona

*Os autores gostariam de agradecer ao CNPq, à CAPES e à FAPEMIG pelo suporte a este trabalho.

e sujeita a grandes atrasos de entrega [Ivansic 2009]. Esse tipo de aplicação é comum em redes esparsas e/ou altamente móveis, ou em redes onde os links possuem altas taxas de erro. Como exemplos de DTNs aplicadas em cenários terrestres, pode-se citar redes para entrega de mensagens em áreas subdesenvolvidas ou rurais[wiz 2010], comunicação militar[Parikh and Durst 2005], ou para a coordenação de equipes de emergência trabalhando na mitigação de desastres[Fall 2003].

Assim como em qualquer rede de computadores, DTNs precisam ser gerenciadas a fim de identificarem e tratem falhas de forma eficiente e eficaz. Contudo, as abordagens de gerenciamento existentes podem não ser adequadas para DTNs porque elas geralmente assumem que o gerente se comunica com os elementos gerenciados usando caminhos fim-a-fim estáveis. Portanto, se faz necessária a observação dessas abordagens de gerenciamento em um ambiente de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões, de modo a se melhor compreender até onde essas abordagens precisam ser adaptadas para DTNs ou se elas precisam ser substituídas por abordagens completamente novas e específicas para DTNs. Por exemplo, não se pode ter certeza sobre o atraso que ocorrerá para que alarmes ou comandos de gerenciamento cheguem aos seus destinos, ou mesmo se eles chegarão aos seus destinos nas DTNs. Assim, o gerenciamento de redes DTN (*Delay-Tolerant Network Management*, ou DTNM) é um problema de pesquisa em aberto[Birrane and Cole].

A eficácia das abordagens de distribuição do gerenciamento depende dos tipos de tarefas de gerenciamento a serem realizadas na rede, assim como de seus requisitos de QoS. Tarefas de gerenciamento de tempo real, tais como o controle de parâmetros das camadas MAC e PHY, provavelmente irão exigir abordagens distribuídas. Contudo, a quantidade de mensagens de gerenciamento e o custo de se ter vários gerentes penalizam o uso de recursos dessa abordagem de distribuição. Outras abordagens poderiam ser empregadas, tais como as hierárquicas, onde os nós são organizados em um ou mais níveis de *clusters*. Finalmente, pode-se empregar a abordagem centralizada, onde um único nó gerencia a rede inteira. Obviamente essas abordagens devem funcionar apenas para operações de gerenciamento que são insensíveis a atrasos e altas taxas de perda de pacotes.

Para se melhor compreender quais abordagens de distribuição são mais adequadas para cada tarefa de DTNM, suas forças e fraquezas precisam ser investigadas. Seus desempenhos dependem das características da rede, tais como os padrões de mobilidade dos nós, o tamanho dos buffers de mensagens, as tarefas de gerenciamento a serem executadas, e a estratégia de roteamento.

Este artigo investiga através de simulações o comportamento de diferentes abordagens de distribuição do gerenciamento quando aplicadas ao gerenciamento de DTNs. Foram investigados os usos das abordagens centralizada, hierárquica e distribuída aplicadas em um cenário de redes de emergência. O objetivo dessa pesquisa é identificar quais classes de tarefas de gerenciamento são factíveis em cada abordagem de distribuição. Esse estudo é um primeiro passo em direção a uma melhor compreensão do problema de gerenciamento DTN, uma vez que ele proporciona resultados de desempenho quantitativos para guiar a construção de novas soluções para DTNM. Uma vez que esses comportamentos sejam compreendidos para cada abordagem de gerenciamento em um ambiente DTN, poderão ser desenvolvidos elementos de arquiteturas de gerenciamento para funções DTN

específicas, objetivando o estabelecimento do arcabouço básico necessário para se ter mecanismos de tolerância a falhas.

O restante desse artigo está organizado como se segue. A Seção 2 apresenta a contextualização necessária para a compreensão do restante do trabalho. A metodologia da simulação é fornecida na Seção 3. A Seção 4 apresenta e discute os resultados das simulações. Finalmente, conclusões e trabalhos futuros são descritos na Seção 5.

2. Contextualização

Recentemente, o conceito de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões tem recebido bastante atenção tanto da indústria quanto da academia. Nessas redes, algumas pressuposições assumidas na arquitetura TCP/IP são relaxadas, tais como a existência de um caminho fim-a-fim entre os nós fonte e destino, um tempo de *round-trip* (RTT) não excessivo entre qualquer par de nós, e uma baixa probabilidade de descarte de pacotes [Cerf et al. 2007]. As origens da pesquisa sobre DTN estão nos esforços conduzidos pela NASA Jet Propulsion Laboratory para estabelecer uma Internet Interplanetária (*InterPlanetary interNet*, ou IPN). Contudo, é possível se encontrar oportunidades para a utilização de recursos oriundos das DTNs em cenários terrestres, tais como acesso a internet para vilas remotas, redes veiculares, comunicação em campo de batalha e redes de emergência. É importante ressaltar que ainda são poucos os trabalhos existentes na literatura que abordam o gerenciamento de DTNs (DTNM).

Quando uma determinada região enfrenta uma situação de desastre é comum que sua infraestrutura de telecomunicação seja perdida. Objetivando a orquestração dos esforços para mitigar a emergência, a comunicação e a coordenação entre os times de resgate são essenciais, uma vez que um trabalho rápido e bem coordenado ajuda a salvar vidas e a controlar perdas econômicas. O padrão atual para comunicação em cenários de emergência é o uso de rádio de voz. Apesar do baixo custo e da simplicidade do emprego dessa solução, o uso de rádios possui uma série de limitações, tais como a incapacidade para transmitir informações gráficas (e.g., fotos e mapas), não permite o armazenamento e organização de informações históricas, e apresenta baixa velocidade de transmissão de dados [Calarco and Casoni 2011]. Uma rede de emergência é uma rede ad hoc montada em uma região que sofreu um evento desastroso, de modo a melhorar a diversidade de suportes informacionais (e.g., texto, mapas, imagens, vídeos e voz) que possam ser usados na tarefa de comunicação em uma operação de mitigação do desastre. Alguns fatores podem quebrar a conectividade de uma rede nesse tipo de cenário, tais como obstáculos naturais, destroços e o raio de comunicação limitado dos dispositivos móveis. Devido ao fato de desconexões serem um problema comum nesse tipo de rede, o uso da arquitetura DTN permite o uso de dispositivos computacionais móveis em ambientes de desastre. É possível encontrar na literatura um número de trabalhos apresentados soluções baseadas em DTN para esse tipo de ambiente [Jiang et al. 2011, Dong et al. 2009].

O gerenciamento de redes DTN pode ser implementado por diferentes modelos de produção de dados de gerenciamento. Algumas investigações preliminares indicam que esse gerenciamento deve ser específico a sub-redes, usando um protocolo de gerenciamento específico para sub-redes [Birrane and Cole]. Por exemplo, em ilhas de baixa latência, tarefas de gerenciamento podem ser desempenhadas usando protocolos que não sejam DTN, tais como SNMP ou NETCONF. Nesse contexto, dados de gerenciamento

podem ser posteriormente armazenados e processados em um nó intermediário (*i.e.*, um *peer* de gerenciamento) antes de ser enviado adiante. Esse procedimento pode ser visto como um modelo de “telemetria”, onde alguns dados de gerenciamento processados podem ser enviados em intervalos regulares (*e.g.*, a média de um objeto de uma *Management Information Base* - MIB). Dados de gerenciamento também podem ser enviados em resposta a uma requisição (*e.g.*, disponibilidade de um sistema de monitoramento através de uma ferramenta semelhante a um ping). Contudo, nenhum tipo de validação foi publicada até o momento.

Nesse contexto, soluções de gerenciamento DTN podem ser concretizadas por diferentes abordagens de gerenciamento de redes, dependendo das características almeçadas pelas diferentes soluções. Ao longo dos anos, houve algumas tentativas de organizar as abordagens propostas em taxonomias, especialmente no que diz respeito aos problemas de distribuição.

As principais taxonomias para gerenciamento de redes distribuídos na literatura foram propostas por Martin-Flatin *et al.* [Martin-Flatin *et al.* 1999] e Schoenwaelder *et al.* [Schönwalder *et al.* 2000]. Martin-Flatin *et al.* [Martin-Flatin *et al.* 1999] propôs uma taxonomia simples e uma melhorada. A primeira se baseia em critérios de organização e divide o gerenciamento de redes em centralizado, hierárquico fracamente distribuído, hierárquico fortemente distribuído, e cooperativo fortemente distribuído. Schoenwaelder *et al.* [Schönwalder *et al.* 2000] introduz uma taxonomia muito similar a versão simples de Martin-Flatin. Contudo, os autores categorizaram as abordagens de gerenciamento de redes considerando apenas o número de gerentes e agentes. Essa taxonomia possui quatro categorias de gerenciamento: centralizado, fracamente distribuído, fortemente distribuído e cooperativo.

Neste trabalho é utilizada uma taxonomia similar a versão simples de Martin-Flatin, onde se divide as abordagens de gerenciamento em centralizada, onde existe um único nó que gerencia todos os agentes da rede; distribuído, onde cada nó da rede atua tanto como gerente quanto como agente; e hierárquica, onde vários nós organizados hierarquicamente desempenham a tarefa de gerenciar os agentes da rede através da coordenação de suas ações, frequentemente através da delegação de tarefas de um para o outro. Acredita-se que essa organização permite uma boa investigação inicial da distribuição de nós de gerenciamento em uma rede DTN.

3. Metodologia

A investigação apresentada neste artigo sobre o uso de abordagens convencionais de distribuição do gerenciamento em DTN foi realizada através de simulações, uma vez que essa prática proporciona informação significativa sobre os possíveis problemas que podem ocorrer sem que se tenha o custo de se implementar um *testbed* com dispositivos reais. O simulador “Opportunistic Network Environment” (ONE) [Keränen *et al.* 2009] foi escolhido por já ser bem estabelecido em meio a comunidade que pesquisa redes DTN.

3.1. Os Cenários

O gerenciamento das Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões será influenciado pelas aplicações que irão ser atendidas pela rede, uma vez que várias decisões chave acerca da configuração da DTN são baseadas em aplicações, tais como: algoritmo de roteamento,

mecanismos de segurança, protocolo de transporte da rede subjacente, etc. Por conta disso, a avaliação descrita neste artigo precisa considerar um tipo de aplicação para guiar o preparo do experimento com simulação (e.g., padrões de mobilidade, requisitos de desempenho das tarefas de gerenciamento, etc.). Portanto, foi considerada uma rede de emergência para mitigação de desastre como nosso principal cenário de simulação. Essas são redes que podem ser prontamente instaladas em situações de desastres, onde a infraestrutura de comunicação local é perdida, de modo a apoiar a comunicação e coordenação dos times de resgate.

Cada uma das abordagens de distribuição (centralizada, distribuída e hierárquica) pode ser implementada em redes reais por um diferente número de arquiteturas de gerenciamento. Para esse estudo em específico, as simulações se guiam por tecnologias baseadas no Simple Network Management Protocol (SNMP) [Case et al. 1990], tais como o SNMP em si e o SCRIPT-MIB [Levi and Schoenwaelder 2001]. A razão para a escolha dessas tecnologias é o fato do SNMP ainda ser o padrão *de facto* para o gerenciamento de redes de computadores. Contudo, é importante ressaltar que foca-se nesse estudo apenas a forma como as entidades de cada uma das abordagens se comunicam entre si e o impacto das DTNs nessas comunicações. Outras características, tais como desempenho, estruturas de dados e segurança não são consideradas neste artigo. A única operação de gerenciamento que irá ser avaliada no escopo deste trabalho é **monitoramento**, uma vez que ela é uma das funções mais fundamentais em sistemas de gerenciamento e de tolerância a falhas.

3.2. Modelos de Mobilidade

Outro aspecto importante da simulação DTN é a escolha do modelo de mobilidade, a qual precisa estar de acordo com as aplicações que irão ser instanciadas na rede. Nas simulações realizadas neste trabalho, foram escolhidos dois modelos de mobilidade: *Random Way Point* (RWP) [Rojas et al. 2005] e *Reference Point Group Mobility* (RPGM) [Hong et al. 1999].

O RWP é um modelo de mobilidade simples onde um nó da rede escolhe um destino aleatório, se dirige para esse destino usando uma velocidade aleatória, e permanece parado naquele ponto por um período de tempo aleatório. Esse modelo de mobilidade é frequentemente usado em experimentos onde o objetivo é prover análises genéricas sobre o comportamento de uma tecnologia de rede que está sendo simulada.

O modelo RPGM é similar ao modelo *Random Way Point* no que diz respeito aos nós escolherem destinos, velocidades e pausas aleatórias. Contudo, no modelo RPGM os nós se movem em grupos, onde cada grupo possui um “centro” lógico, o qual define o movimento do grupo inteiro. Os nós estão geralmente uniformemente distribuídos ao redor desse “centro” lógico, e eles também podem se mover independentemente do movimento do grupo, dentro de uma distância máxima do centro lógico. Esse modelo de mobilidade é comumente utilizado em simulações de redes ad hoc onde a formação de grupos ocorre, como redes de emergência e comunicação em campo de batalha [Hong et al. 1999].

3.3. Métricas da Simulação

Uma vez que o interesse desse estudo é avaliar os aspectos de comunicação das abordagens de gerenciamento selecionadas, de forma a determinar até onde elas são adequadas

ou não para ambientes DTN, foram escolhidas duas métricas para a análise dos resultados das simulações: a taxa de sucesso de *polling*, que no escopo deste trabalho é o número de mensagens de resposta que os gerentes da rede receberam como resultado de mensagens de requisição de gerenciamento enviadas anteriormente, e a latência da operação de monitoramento. Aqui se considera a latência como o intervalo de tempo entre a criação da mensagem de requisição de monitoramento e a entrega de sua respectiva resposta. À medida que essas métricas forem sendo analisadas, será possível determinar quais aspectos das abordagens de gerenciamento estudadas funcionam corretamente num ambiente DTN, e quais irão apresentar algum tipo de problema ou deficiência, como será detalhado na próxima sessão.

3.4. Principais Parâmetros da Simulação

Neste trabalho, uma rede de emergência empregando abordagens de gerenciamento de rede convencionais (centralizada, hierárquica e distribuída) é simulada em um ambiente DTN. O número de nós em cada cenário variou de 20 a 61 (conforme detalhado na Seção 4), divididos em dois, quatro ou seis grupos de nós. Apesar das redes serem relativamente pequenas, esses números são suficientes para demonstrar os aspectos de comunicação que estão sendo estudados. Também foi feito uso de um algoritmo de roteamento ótimo hipotético. Nesse algoritmo, a largura de banda é infinita, todas as mensagens são entregues aos seus destinos sempre que isso for possível usando a menor quantidade de saltos, e o tempo de processamento da mensagem em cada salto é insignificante. Isso reduz o número de variáveis no nosso estudo, uma vez que não existe interesse em qual algoritmo de roteamento DTN irá se adequar melhor a um ambiente de gerenciamento DTN específico. Os cenários foram configurados para gerar requisições apenas nas três primeiras horas da simulação, de forma a proporcionar algum tempo para que todas as mensagens sejam entregues aos seus destinos durante a última hora de simulação. Os principais parâmetros da simulação estão descritos na Tabela 1. Cada um dos cenários simulados foi executado 15 vezes, e os resultados foram gerados com um intervalo de confiança de 95%.

Tabela 1. Principais parâmetros da simulação

Parâmetro	Valor
Área de Simulação	4000m X 4000m
Tempo Total de Simulação	4 horas
Alcance da Transmissão	250m (WiFi)
Modelos de Mobilidade	Random Way Point e RPGM
Velocidade dos Nós	0.5 m/s a 1.5 m/s
Tempo de Espera	0s a 120s

4. Resultados

Essa seção irá apresentar e discutir os resultados das simulações. Ela é dividida em subseções, uma para cada abordagem de gerenciamento. Cada simulação descrita foi executada 15 vezes, e os resultados apresentados nas próximas subseções possuem intervalo de confiança de 95%.

4.1. Abordagem Centralizada

A implementação de uma aplicação de gerenciamento centralizado de rede utilizada neste trabalho foi fortemente inspirada no protocolo SNMP. Um nó atua como o gerente da rede, monitorando todos os outros nós da rede. Os nós monitorados são os agentes da rede, os quais são responsáveis por responder às requisições do gerente com dados sobre o estado atual do nó.

Em cada um dos cenários estudados, existe um gerente estático localizado no centro da área da simulação ($x=2000$, $y=2000$). Além disso, existem 20, 40 e 60 agentes, divididos em grupos de 10 nós. É importante ressaltar que o gerente não pertence a nenhum desses grupos. O gerente envia uma mensagem *get-request* para todos os agentes a cada 5 minutos, requisitando dados de um objeto específico da MIB do agente, como por exemplo o nível de energia remanescente na bateria do dispositivo. Assim que a mensagem de requisição chega no agente, esse agente responde com o envio de uma mensagem *get-response* contendo os dados requisitados pelo gerente. É importante notar que o agente pode não conseguir se comunicar com o gerente da rede por longos períodos de tempo, e quando esse agente estiver finalmente conectado, ele pode receber múltiplas requisições ao mesmo tempo. De modo geral, esse comportamento não acomoda atualizações periódicas.

No contexto desse trabalho acredita-se que a dificuldade mais importante em se utilizar a abordagem centralizada em DTNs é que existe um único nó responsável por originar todas as requisições e receber todas as respostas da rede inteira. Esse comportamento dificilmente é desejável em DTNs, uma vez que as conexões entre o gerente e os agentes são esporádicas. Nos próximos parágrafos será demonstrado como essa abordagem desempenha na rede de emergência simulada neste trabalho, usando dois modelos de mobilidade: RWP e RPGM.

Modelo RWP: A distribuição uniforme de nós na área de simulação, causada pelo uso do modelo RWP, contribui para a alta probabilidade de uma mensagem ser entregue com sucesso ao seu destino através do uso das técnicas de roteamento DTN *multi-hop*.

A análise da Figura 1 (imagem esquerda) mostra que o gerente foi bem sucedido em receber a maioria das respostas dos agentes. Além disso, a Figura 1 mostra que a taxa de sucesso do processo de *polling* na abordagem centralizada aumenta à medida em que a rede vai se tornando mais densa. O cenário com 2 grupos de agentes apresentou uma taxa de sucesso nas requisições de *polling* de 83,15%. Com 4 grupos foi observada uma taxa de sucesso de 93,57% e com 6 grupos essa taxa foi de 98,01%. A lógica por trás desses resultados é simples: com mais nós espalhados na área de simulação, existe maior possibilidade da formação de um “caminho” ao longo do tempo que permite que uma mensagem viagem da sua origem ao seu destino. A densidade da rede também diminui a média de atraso registrada entre as emissões de uma mensagem *get-request* e a recepção de uma *get-response*. Com dois grupos foi registrado um atraso médio de 4254 segundos, com quatro grupos essa média foi de 2927 segundos e com 6 grupos ela foi de 2356 segundos, conforme apresentado na Figura 1 (imagem direita).

Modelo RPGM: Quando o modelo RPGM é empregado, os grupos de nós formam “ilhas”, devido a proximidade física entre os nós dentro do grupo, deixando uma quantidade considerável de espaços vazios na área de simulação. Esse modo de posicio-

nar os nós torna a disseminação de mensagens dentro do grupo mais fácil, uma vez que a quantidade de contatos entre os nós do grupo é consideravelmente alta. Contudo, um “caminho” entre o gerente e um agente é mais difícil de ser formado, uma vez que as oportunidades de contato surgem apenas quando um grupo passa pelo local onde o gerente está posicionado, ou quando um grupo encontra outro grupo de modo a repassar uma cópia da mensagem na esperança de que esse último possa entregá-la ao seu destino final. Esse fato é ilustrado na Figura 1 (imagem esquerda), a qual mostra a taxa de sucesso das operações de requisição-resposta entre o gerente e os agentes da rede para o modelo RPGM em comparação com o modelo RWP. Essa taxa de sucesso é 65,48% no cenário com dois grupos, 75,45% com quatro grupos e 79,80% com seis grupos.

O atraso médio nas comunicações entre o gerente e um agente na rede também apresentou um desempenho baixo no modelo RPGM, quando comparado com o modelo RWP. O cenário com dois grupos de agentes é o único que apresentou um desempenho maior no modelo RPGM, com um atraso médio de 3182 segundos. Os outros dois casos apresentaram desempenho mais fraco do que os das simulações com o RWP, tendo o cenário com quatro grupos apresentado um atraso médio na comunicação requisição-resposta de 3411 segundos e o cenário com 6 grupos apresentado 3132 segundos de atraso médio. Também se pode observar que o impacto da densidade da rede no nosso estudo foi mais fraco nos cenários com o modelo RPGM em comparação com os cenários com o modelo RWP.

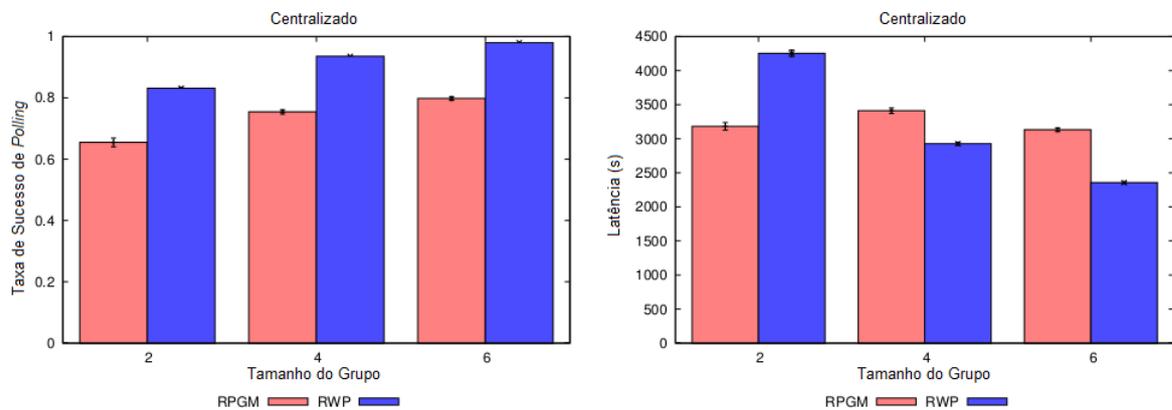


Figura 1. Análise das métricas na abordagem centralizada

4.2. Abordagem Hierárquica

Foi implementada uma aplicação de gerenciamento consistente com a abordagem hierárquica inspirada no Script-MIB [Levi and Schoenwaelder 2001], o qual é uma arquitetura de gerenciamento hierárquica desenvolvida para redes convencionais. Nessa aplicação, existe um gerente de nível mais alto (*top-level manager*, ou TLM) responsável por reunir informações acerca de toda a rede DTN, assim como delegar tarefas para gerentes secundários, conhecidos como gerentes de nível intermediário (*mid-level managers*, ou MLMs). Em nossos cenários simulados que usaram a abordagem hierárquica, os grupos de nós são formados por um MLM e nove agentes. Os agentes são responsáveis por responder as requisições enviadas pelos MLMs, os quais, por sua vez, são responsáveis por monitorar seus respectivos grupos.

Assim como ocorreu com as simulações usando a abordagem centralizada de gerenciamento, o TLM ficou localizado na área central da simulação ($x=2000$, $y=2000$), e ali permaneceu estacionário. O TLM não pertence a nenhum grupo de nós. O número de grupos foi variado em dois, quatro e seis, cada grupo sendo composto por 10 nós. O nó TLM enviou uma mensagem *MLM-request* para todos os MLMs da DTN a cada cinco minutos. Essa mensagem informa a um MLM que todos os agentes em seu grupo devem reportar o estado de um objeto específico da sua MIB. Em nosso exemplo, a energia restante nas baterias dos dispositivos foi sondada, assim como foi feito nas simulações usando a abordagem centralizada. O MLM executa sua ação enviando uma mensagem *get-request* para os agentes do seu grupo. Esses agentes respondem ao MLM com uma mensagem *get-response* contendo os dados requisitados. Ambos MLMs e os agentes podem receber múltiplas requisições de seus respectivos gerentes por conta das desconexões que ocorrem na DTN, assim como aconteceu quando foi utilizada a abordagem centralizada. Após 3 horas de simulação, o TLM parou de enviar mensagens *MLM-request* para dar às mensagens restantes na rede tempo para alcançarem seus destinos finais.

O principal interesse na simulação dessa aplicação é descobrir se a adição de um conjunto de gerentes organizados hierarquicamente pode melhorar o desempenho geral da tarefa de gerenciamento em uma DTN. A seguir será mostrado como essa abordagem desempenha nos cenários usando os modelos de mobilidade RWP e RPGM.

Modelo RWP: Nas simulações que empregaram o modelo RWP todos os nós DTN estão aleatoriamente espalhados ao redor da área de simulação, com exceção do TLM, o qual permaneceu estacionário no centro da área. É importante ressaltar que nós pertencentes ao mesmo grupo não estão necessariamente próximos um do outro fisicamente. Portanto, o principal problema esperado nesse cenário é a dificuldade de um MLM (o gerente local do grupo) consultar os agentes que estão sob sua supervisão, uma vez que esses agentes estarão espalhados por toda a área de simulação, misturados com agentes pertencentes a outros grupos na rede. Como consequência, os MLMs terão problemas em reunir as respostas de todos os agentes do seu grupo para responder as requisições do TLM.

A Figura 2 (parte superior esquerda) apresenta a porcentagem de requisições do TLM que são efetivamente respondidas por um MLM (Taxa de Sucesso de *Polling*). No cenário onde dois grupos foram envolvidos, apenas 14,67% das requisições do TLM foram respondidas por MLMs. Na configuração com quatro grupos foi obtida uma taxa de resposta de 33,52%, e na configuração com seis grupos foi observado que 59,05% das requisições do TLM foram respondidas. Assim pode-se concluir que a efetividade da abordagem hierárquica aumenta à medida que a rede vai se tornando mais densa. Contudo, apesar de ser uma abordagem mais “distribuída” do que a centralizada, a taxa de requisições que foram respondidas de fato é inferior a taxa que foi observada na abordagem centralizada empregando o mesmo modelo de mobilidade.

O atraso médio registrado entre o TLM enviar uma requisição para um MLM e o TLM receber a resposta do MLM é registrada na Figura 2 (parte superior direita). No cenário com dois grupos, esse atraso médio foi de 9935 segundos. Quando quatro grupos foram simulados usando essa abordagem, o atraso médio registrado foi de 8538 segundos. Finalmente, foi registrado um atraso médio de 7175 segundos com seis grupos atuando no cenário.

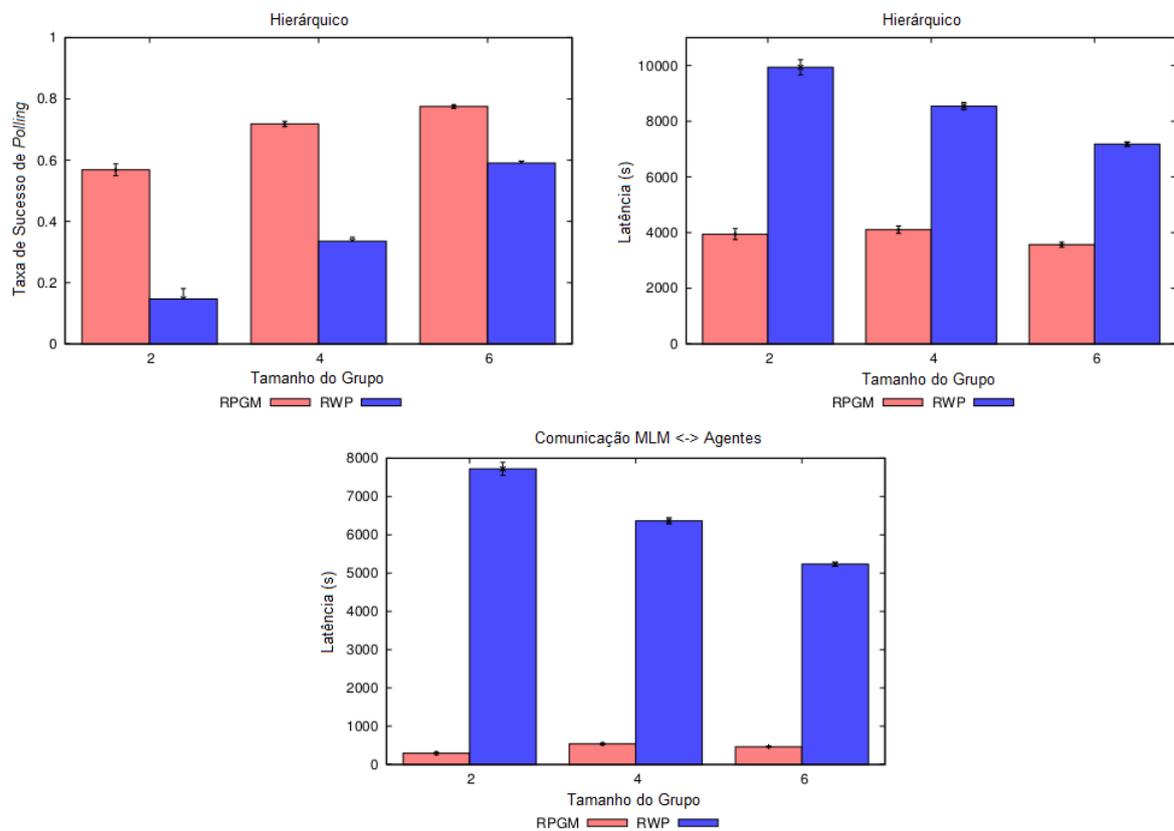


Figura 2. Análise das métricas na abordagem hierárquica

A Figura 2 (parte inferior) apresenta o atraso médio entre o momento em que o MLM recebe uma requisição do TLM e o momento em que ele reúne toda a informação necessário para responder a requisição do TLM. Ao medir esse tempo, pode-se estimar quando do atraso total envolvido no tempo de requisição-resposta do TLM é causado pelo MLM tentando reunir informação de todos os agentes do seu grupo. Nessa figura observa-se que MLMs na configuração com dois grupos apresentaram um atraso médio de 7723 segundos para responder a requisição do TLM. Na configuração com quatro grupos esse atraso médio foi de 6366 segundos, e na configuração com seis grupos esse atraso foi de 5232 segundos. Isso indica que, em todos os casos, ao menos 70% do atraso total envolvendo uma operação de requisição-resposta do TLM é causado pela dificuldade dos MLMs para consultar todos os agentes de seu grupo.

Modelo RPGM: Quando o modelo RPGM é aplicado nas simulações realizadas, cada conjunto de nós na rede passa a estar lógicamente e fisicamente agrupado. Essa forma de distribuição dos nós permite que os MLMs reúnam mais facilmente informação sobre os agentes que eles gerenciam por conta das características inerentes ao modelo de mobilidade empregado. Por outro lado, haverá uma maior quantidade de regiões vazias na área de simulação, o que tornará o roteamento inter-grupo mais desafiador.

A Figura 2 (parte superior esquerda) mostra que a quantidade de mensagens enviadas pelo TLM que foram efetivamente respondidas por MLMs (Taxa de Sucesso de *Polling*) aumentou em comparação aos cenários do modelo RWP. Na configuração com dois grupos foi observada uma taxa de sucesso de 56,86%. Já na configuração com quatro

grupos de nós, essa taxa de sucesso foi de 71,81%. Finalmente, observou-se uma taxa de sucesso de 77,52% na configuração com seis grupos. Também se percebeu que o número de requisições do TLM que foram respondidas aumentou à medida que a rede se tornou mais densa.

A latência média é significativamente reduzida quando o RPGM é usado, como se pode observar na Figura 2 (parte superior direita). O atraso médio quando dois grupos compõem o cenário de simulação é de 3943 segundos. Na configuração com quatro grupos o atraso médio é 4102 segundos, e quando o cenário possui seis grupos de nós o atraso médio é de 3565 segundos. Aqui não se observa muita variação à medida em que a rede se torna mais densa. Contudo, se observa a grande melhora quando se compara esses atrasos médios com aqueles registrados nas simulações empregando o modelo de mobilidade RWP. A análise da Figura 2 (parte inferior) revela que a causa disso é a dramática redução na quantidade de tempo que os MLMs gastam reunindo informação dos agentes sob suas responsabilidades. O tempo médio necessário para um MLM reunir informação de todos os agentes em seu grupo é de 293 segundos na configuração com dois grupos, 536 segundos na configuração com quatro grupos e 462 segundos na configuração com seis grupos. Esse tempo médio necessário para um MLM responder às requisições do TLM é menos de 15% do tempo médio do processo total de requisição-resposta do TLM.

4.3. Abordagem Distribuída

Uma abordagem de gerenciamento totalmente distribuída implica que todos os nós podem atuar tanto como gerentes quanto como agentes. Contudo, não existe muita informação acerca de implementações reais desse tipo de abordagem para o gerenciamento de redes tradicionais ou das chamadas “*challenged networks*”. Por isso, foi proposta uma aplicação de gerenciamento distribuída simples, que não se baseia em nenhuma implementação real.

Na aplicação da abordagem distribuída empregada neste artigo, a cada vez em que dois nós fazem contato, eles fazem uma troca de mensagens requisitando o valor de um objeto específico da MIB do outro nó. No exemplo da rede de emergência utilizada neste artigo, os nós trocam dados sobre a quantidade de energia remanescente. À medida que um nó acumula contatos com outros nós ao longo do tempo, ele ajusta a sua potência de transmissão de forma a otimizar o uso de sua bateria sem penalizar demais a capacidade de comunicação da rede. Dessa forma, se um nó pertence a uma região da rede onde os vizinhos são numerosos e possuem bastante energia remanescente, esse nó pode minimizar sua potência de transmissão sem criar um grande “buraco” na DTN. Por outro lado, se esse nó não conseguir encontrar vizinhos suficientes e/ou esses vizinhos possuem pouca energia remanescente na bateria, esse nó pode maximizar sua potência de transmissão de modo a aumentar a capacidade geral de comunicação da rede. Ao fazerem isso, cada nó está agindo como um gerente e como um agente, em um tipo de aplicação de gerenciamento sensível ao contexto.

A comunicação nessa aplicação apresenta a vantagem de confiar quase que completamente em comunicação local, sem depender de protocolos de roteamento DTN para a entrega de mensagens destinadas a porções da rede desconectadas ou de grandes atrasos. Contudo, a quantidade de informação que o nó possui para tomar decisões também é limitada ao número de encontros pelas quais esse nó passa na DTN. Assim, nessa abordagem distribuída é crucial que a aplicação de gerenciamento seja desenvolvida de modo

a considerar como um nó pode estimar o desempenho da rede DTN inteira conhecendo apenas informação relativa a parte da rede.

A seguir será avaliada a aplicação de gerenciamento distribuído sob os modelos de mobilidade RWP e RPGM.

Modelo RWP: Após o início da simulação, mensagens *get-request* são criadas apenas quando dois ou mais nós entram no raio de transmissão um do outro. Na maioria dos casos, a sessão de comunicação inteira entre dois nós ocorre antes desses nós saírem do alcance de comunicação do outro nó. Por conta desse comportamento, a taxa de sucesso do processo de *polling*, assim como os atrasos médios envolvidos na comunicação, é significativamente mais baixa do que nas outras duas abordagens de distribuição estudadas neste trabalho

Quase a totalidade das requisições foi corretamente respondida quando foi utilizada a abordagem distribuída nas simulações. Em outras palavras, a Taxa de Sucesso da *Polling* é próxima de 100% em todos os cenários simulados. Quando dois grupos de nós compuseram a DTN, 99,98% das requisições foram respondidas com sucesso. Nos casos de quatro e seis grupos foi obtida a mesma taxa de sucesso: 99,97%. As principais razões para explicar as mensagens não entregues nessa simulação é a ocorrência de contatos que ocorrem de forma extremamente efêmera (i.e., o nó mal cruza a fronteira do raio de transmissão do outro nó e em poucos instantes ele já se encontra fora do alcance de transmissão), como também os casos em que vários nós fazem contato um com o outro ao mesmo tempo, o que resulta na formação de filas que eventualmente podem não ser esvaziadas durante a duração do contato.

A Figura 3 apresenta o atraso médio registrado entre a emissão de uma mensagem *get-request* e a recepção da correspondente mensagem *get-response*. O tempo médio de resposta do processo de *polling* no cenário com dois grupos é 0,72 segundos, 1,21 segundos para o cenário com quatro grupos e 1 segundo para o cenário com seis grupos. Quando esses resultados são comparados com os resultados relacionados a outras abordagens, percebe-se uma dramática redução do atraso quando a abordagem distribuída é utilizada.

Modelo RPGM: No modelo RPGM, os nós DTN estão fisicamente agrupados, formando “ilhas” de nós na área de simulação. Essas concentrações tornam a ocorrência de contatos muito mais intensa em comparação com o uso do modelo de mobilidade RWP. Assim, é comum que mais de quatro ou cinco nós estejam em contato entre si ao mesmo tempo, o que leva a formação de filas nos dispositivos como o resultado da criação de múltiplas mensagens de resposta. Como algumas vezes a duração desses contatos não é suficiente para o esvaziamento dessas filas, algumas mensagens são entregues aos seus destinos em outras oportunidades, aumentando o tempo de resposta médio do processo de *polling*. Isso é observado na Figura 3, onde o atraso médio aumenta significativamente quando comparado aos cenários empregando o modelo RWP. Quando dois grupos de nós estão presentes na simulação, o atraso médio na comunicação requisição-resposta é 0,68s. Na configuração com quatro grupos, o atraso médio é de 9,37s, e na configuração com seis grupos é de 14,47s. Assim, uma alta concentração de nós pode levar a um aumento no tempo de resposta da aplicação de gerenciamento distribuído.

A taxa de sucesso de *polling* alcançada com o modelo RPGM praticamente não

apresentou diferença em comparação com os resultados obtidos com o modelo de mobilidade RWP. Na configuração com dois grupos, quase 100% das requisições foram corretamente respondidas. Na configuração com quatro grupos essa taxa foi de 99,89%, e na configuração com seis grupos ela foi de 99,73%.

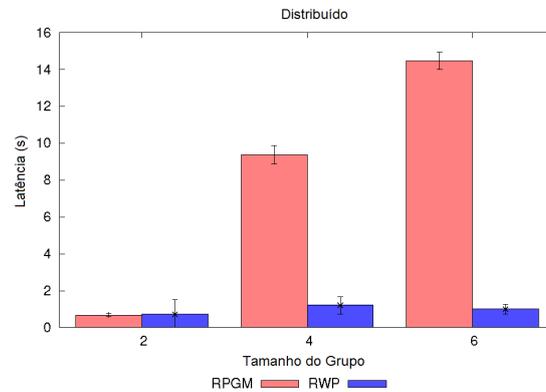


Figura 3. Atraso médio na abordagem distribuída.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Esse artigo estudou o desempenho das abordagens de distribuição comumente encontradas em arquiteturas de gerenciamento de redes convencionais, de modo a identificar suas fraquezas e forças. Foram analisadas três abordagens: centralizada, hierárquica e distribuída. Até onde estão cientes os autores, esse é o primeiro estudo que avalia as abordagens de gerenciamento existentes em um ambiente DTN simulado. Esse é um passo muito importante em direção ao desenvolvimento de soluções de gerenciamento e tolerância a falhas para DTNs, uma vez que os resultados alcançados neste trabalho não apenas dão informação sobre quais abordagens de gerenciamento são viáveis para DTNs, como também destacam vários aspectos da operação de DTN que são necessários de serem levados em conta no desenvolvimento de uma solução de gerenciamento DTN.

Resultados das simulações mostraram que existe um balanço a ser considerado entre a quantidade de informação que um nó pode ter sobre as condições gerais da Rede Tolerante a Atrasos e Desconexões e a taxa de entrega de mensagens de gerenciamento. As abordagens centralizada e hierárquica devem ser usadas para adquirir dados de gerenciamento que não são sensíveis a longos atrasos. Se os dados de gerenciamento são sensíveis a atrasos, eles devem ser transmitidos e processados apenas em porções conectadas da DTN. Além disso, pode-se observar que a abordagem hierárquica é adequada apenas em DTNs onde os nós de um grupo estão concentrados próximos uns dos outros. Finalmente, os resultados não levam em consideração outras limitações como algoritmos de roteamento realistas, consumo de energia e buffers finitos. Deve-se avaliar o impacto dessas características em uma DTN para se estimar como os resultados apresentados neste trabalho serão influenciados.

Como trabalho futuro planeja-se estender esse estudo para outras tarefas de gerenciamento, tais como configuração de dispositivos e serviços, e alarmes. Também se planeja avaliar o impacto de outras características de DTNs em uma solução de gerenciamento, como algoritmos de roteamento, tamanho do buffer e overhead de mensagens de gerenciamento sobre a rede.

Referências

- (2010). Wizzy digital courier. <http://www.wizzy.org.za/>.
- Birrane, E. and Cole, R. G. Management of Disruption-Tolerant Networks: A Systems Engineering Approach. In *SpaceOps 2010 Conference*.
- Calarco, G. and Casoni, M. (2011). Virtual networks and software router approach for wireless emergency networks design. In *73rd IEEE Vehicular Technology Conference*.
- Case, J. D., Fedor, M. L., and Schoffstal, J. D. (1990). Simple network management protocol (SNMP). RFC 1157.
- Cerf, V., Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Durst, R., Scott, K., Fall, K., and Weiss, H. (2007). Delay-tolerant networking architecture. RFC 4838 (Informational).
- Dong, F., Hu, Y., Tong, M., and Ran, X. (2009). Supporting emergency service by retasking delay-tolerant network architecture. In *5th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks*, pages 360–365.
- Fall, K. (2003). A delay-tolerant network architecture for challenged internets. In *ACM conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pages 27–34.
- Hong, X., Gerla, M., Pei, G., and Chiang, C.-C. (1999). A group mobility model for ad hoc wireless networks. In *2nd ACM international workshop on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pages 53–60.
- Ivansic, W. (2009). DTN network management requirements. Internet Draft (Informational).
- Jiang, P., Bigham, J., and Bodanese, E. (2011). Adaptive service provisioning for emergency communications with dtn. In *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pages 2125–2130.
- Keränen, A., Ott, J., and Kärkkäinen, T. (2009). The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. In *2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques*.
- Levi, D. and Schoenwaelder, J. (2001). Definitions of managed objects for the delegation of management scripts. RFC 3165.
- Martin-Flatin, J.-P., Znaty, S., and Habaux, J.-P. (1999). A survey of distributed enterprise network and systems management paradigms. *Journal of Network and Systems Management*, 7(1):9–26.
- Parikh, S. and Durst, R. C. (2005). Disruption tolerant networking for marine corps condor. In *IEEE Military Communications Conference*, volume 1, pages 325–330.
- Rojas, A., Branch, P., and Armitage, G. (2005). Experimental validation of the random waypoint mobility model through a real world mobility trace for large geographical areas. In *8th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pages 174–177.
- Schönwalder, J., Quittek, J., and Kappler, C. (2000). Building distributed management applications with the ietf scriptmib. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 18(5):702–714.