

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
DA COMPUTAÇÃO**

Juliana Amaral Arantes

**AGENTES MÓVEIS VERSUS SNMP – UMA
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ANALÍTICA**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Carlos Becker Westphall
Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Felipe Custódio

Florianópolis, novembro de 2001

AGENTES MÓVEIS VERSUS SNMP – UMA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ANALÍTICA

Juliana Amaral Arantes

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação Área de Concentração Sistemas de Computação e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Prof. Dr. Fernando A. O. Gauthier – Coordenador

Banca Examinadora

Prof. Dr. Carlos Becker Westphall – Orientador

Prof. Dr. Ricardo Felipe Custódio

Prof. Dr. Pedro Alberto Barbeta

Prof. Dr. Otto Carlos Muniz Duarte

Dr. Marcelo Gonçalves Rubinstein

Epígrafe

Agradecimento

Ao meu orientador, Prof. Westphall, um imenso obrigado pela confiança, pelo incentivo, pela amizade e por toda a sua orientação ao longo destes anos.

Ao Prof. Custódio, muito obrigado por sua ajuda. Nossas reuniões e seus esclarecimentos foram indispensáveis para os resultados alcançados neste trabalho.

Aos meus pais, um obrigado especial pelo incentivo e apoio incondicional, sempre. Aos meus irmãos e amigos praticamente irmãos que sempre estiveram presentes, muito obrigado.

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
ÍNDICE DE EQUAÇÕES.....	X
ÍNDICE DE SIGLAS	XI
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIII
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVO GERAL	15
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.3. MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO / FERRAMENTAS UTILIZADAS	16
1.4. LIMITAÇÕES DO TRABALHO	16
1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	17
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. GERÊNCIA DE REDES	18
2.1.1. Modelo de Gerência SNMP	19
2.1.2. Análise da Gerência de Rede Centralizada	21
2.2. AGENTES MÓVEIS	23
2.2.1. Benefícios dos Agentes Móveis	25
2.2.2. Agentes Móveis na Gerência de Redes - Uma Alternativa para a Descentralização ..	26
2.3. TRABALHOS RELACIONADOS E ESTADO DA ARTE.....	28
CAPÍTULO 3 - MODELO ANALÍTICO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE AGENTES MÓVEIS E SNMP NA GERÊNCIA DE REDES	33
3.1. MODELO ANALÍTICO PARA O SNMP	38
3.2. MODELO ANALÍTICO PARA O PARADIGMA DE AGENTES MÓVEIS.....	41
CAPÍTULO 4 - ESTUDOS DE CASO – COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO SNMP X AGENTES MÓVEIS.....	45
4.1. ESTUDO DE CASO 1 – GERÊNCIA REMOTA DE UMA LAN	46

4.1.1. O Efeito da Latência do Enlace de Gargalo.....	47
4.1.2. O Efeito da Largura de Banda do Enlace de Gargalo	49
4.1.3. O Efeito da Tarefa de Gerência Executada	50
4.1.4. O Efeito do Tamanho Inicial do Agente Móvel.....	51
4.1.5. Conclusão – SNMP versus AM na Gerência Remota de uma LAN	53
4.2. ESTUDO DE CASO 2 – GERÊNCIA LOCAL DE UMA LAN.....	53
4.2.1. O Efeito da Largura de Banda da Rede.....	54
4.2.2. O Efeito da Tarefa de Gerência Executada	55
4.2.3. O Efeito do Tamanho Inicial do Agente Móvel.....	57
4.2.4. Conclusão – SNMP versus AM na Gerência Local de uma LAN	58
4.3. ESTUDO DE CASO 3 - GERÊNCIA INTER-REDES	58
4.3.1. O Efeito da Tarefa de Gerência Executada	59
4.3.2. Conclusão – SNMP versus AM na Gerência Inter-Redes.....	60
4.4. ESTUDO DE CASO 4 - GERÊNCIA DE REDES TRANSIT-STUB	61
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	63
5.1. PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES.....	65
5.2. TRABALHOS FUTUROS	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

Índice de Figuras

Figura 1 – Modelo de Gerência Centralizado	18
Figura 2 - Estrutura em árvore da MIB SNMP	20
Figura 3 – Interações nos paradigmas SNMP (1) e agentes móveis (2)	27
Figura 4 – Processo de Consulta à MIB no SNMP(1) e no Paradigma AM(2)	34
Figura 5 - Exemplo de rede a ser gerenciada	37
Figura 6 - Modelo de gerência SNMP	38
Figura 7 - Modelo de gerência com o paradigma de agentes móveis	41
Figura 8 - Topologias de Gerenciamento dos Estudos de Caso.....	45
Figura 9 - Gerência remota de uma LAN.....	46
Figura 10 - Tempo de gerência para diferentes latências do enlace de gargalo....	48
Figura 11 - Tempo de resposta para diferentes larguras de banda do enlace de gargalo.....	49
Figura 12 - Tempo de resposta para diferentes tarefas de gerência no enlace de gargalo.....	51
Figura 13 – Tempo de resposta para o SNMP e para AMs com diferentes tamanhos iniciais no estudo de caso 1.....	52
Figura 14 - Gerência local de uma LAN.....	54
Figura 15 - Tempo de resposta para diferentes largura de banda da rede local no estudo de caso 2	55
Figura 16 - Tempo para diferentes tarefas de gerência	56
Figura 17 - Tempo de gerência para diferentes tamanhos iniciais do AM	57

Figura 18 - Topologia da rede gerenciada no estudo de caso 3	58
Figura 19 – Tempos de resposta para diferentes tarefas de gerência no estudo de caso 3.....	59
Figura 20 – Tempos para diferentes tarefas de gerência.....	60
Figura 21 – Topologia de rede transit-stub	61
Figura 22 – Topologia transit-stub convertida	62

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Variáveis do modelo matemático.....	35
Tabela 2 - Parâmetros utilizados no estudo de caso 1.....	47
Tabela 3 - Valores de latência do enlace de gargalo no estudo de caso 1.....	47
Tabela 4 - Valores de largura de banda do enlace de gargalo no estudo de caso 1	49
Tabela 5 - Tamanhos de pacotes das operações de gerência no estudo de caso 1	50
Tabela 6 – Tamanho do código inicial do agente móvel no estudo de caso 1	52
Tabela 7 - Parâmetros do estudo de caso 2	54
Tabela 8 - Tamanhos de pacotes das operações de gerência - Estudo de caso 2..	55
Tabela 9 - Valores do tamanho inicial do AM no estudo de caso 2.....	57
Tabela 10 - Tamanhos de pacotes das operações de gerência - Estudo de caso 3	59

Índice de Equações

Equação 1 - Tempo de resposta do SNMP na gerência de um NE.....	39
Equação 2 - Tempo de resposta do SNMP na gerência de segmento de rede.....	39
Equação 3 - Tempo resposta do SNMP na gerência de um segmento genérico..	40
Equação 4 - Tempo de requisição no SNMP para um NE.....	40
Equação 5 - Tempo de resposta no SNMP para um NE.....	40
Equação 6 – Tempo de resposta do SNMP na gerência de uma rede.....	40
Equação 7 - Tempo de resposta do AM na gerência de uma rede.....	42
Equação 8 - Tempo de resposta do AM na gerência de uma sub-rede.....	42
Equação 9 - Tempo de ida do AM de uma rede para uma sub-rede.....	43
Equação 10 - Tempo do AM para percorrer um segmento de rede.....	43
Equação 11 - Tempo do AM para retornar a um segmento anterior.....	43
Equação 12 - Octetos resposta acumulados pelo AM na ida para um segmento.	44
Equação 13 - Octetos resposta acumulados pelo AM na visita a um segmento..	44
Equação 14 - Quantidade de NE de uma rede e todas as suas sub-redes.....	44

Índice de Siglas

AM	Agente Móvel
ASN.1	<i>Abstract Syntax Notation One</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
CMIP	<i>Common Management Information Protocol</i>
CORBA	<i>Common Object Request Broker</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MAF	<i>Mobile Agent Framework</i>
Mbps	Mega bits / segundo
MIB	<i>Management Information Base</i>
μs	Microsegundos
ms	Milisegundos
MSS	<i>Maximum Segmentation Size</i>
NE	<i>Network Element</i>
NMS	<i>Network Management Station</i>
ns	<i>Network Simulator</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
PVC	<i>Permanent Virtual Circuits</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RMON	<i>Remote Monitoring</i>
RPC	<i>Remote Procedure Call</i>
SMI	<i>Structure of Management Information</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

Resumo

O constante crescimento das redes de computadores e da diversidade de topologias interconectadas vem dificultando cada vez mais uma gerência eficiente destas redes. A gerência centralizada, modelo mais adotado atualmente, tem se mostrado inflexível e ineficiente diante deste crescimento. Por outro lado, a mobilidade de código tem sido considerada uma possível solução para este problema. Neste contexto, este trabalho propõe um modelo analítico para avaliar o desempenho de agentes móveis (AM) em comparação com o modelo de gerência tradicional e centralizado (SNMP), em uma topologia genérica de rede. O modelo matemático proposto é aplicado em diversas topologias e configurações de redes para identificar sob quais condições cada técnica de gerência, AM e SNMP, é mais eficiente.

Palavras Chaves: Gerência de Redes, SNMP, Agentes Móveis, Avaliação de Desempenho

Abstract

The constant growth of computer networks and the variety of topologies being interconnected are making the efficient management of these networks a hard task. Centralized management, currently the most used model, is becoming inflexible and inefficient in view of this growth. On the other hand, code mobility is being considered as a possible solution to this problem. In this context, the present work proposes an analytical model to evaluate the performance of Mobile Agents (MA) compared with the traditional and centralized management model (SNMP) in a generic network topology. The proposed mathematical model is applied in some network topologies and configurations in order to identify under which situations each management technique, MA and SNMP, is more efficient.

Keywords: Network Management, SNMP, Mobile Agents, Performance Evaluation

Capítulo 1 - Introdução

A grande maioria das aplicações de gerência de redes utilizadas atualmente adota os modelos centralizados de gerenciamento SNMP (*Simple Network Management Protocol*) ou CMIP (*Common Management Information Protocol*), baseados na arquitetura Cliente/Servidor. Mas, o constante crescimento das redes e, conseqüentemente, da quantidade de informações a ser processada e trafegada pela rede, tem comprometido a eficiência destes modelos centralizados de gerenciamento. Além disso, a expansão das redes trouxe a tona os problemas de escalabilidade desta arquitetura centralizada.

A necessidade da descentralização ou distribuição da gerência de rede já foi reconhecida e várias soluções vêm sendo propostas. As versões mais recentes das arquiteturas de gerenciamento já agregam características de distribuição. Além disso, várias arquiteturas de gerenciamento distribuído e paradigmas de gerência que visam a descentralização vêm sendo estudados e propostos. Segundo [RIVALTA 2000], o desenvolvimento de sistemas de gerência de rede baseados em paradigmas descentralizados estão sendo propostos para lidar com os problemas surgidos devido ao rápido crescimento, a natureza dinâmica, o ambiente heterogêneo e a distribuição administrativa e geográfica das redes atuais.

Por outro lado, os sistemas de código móvel, e principalmente o paradigma de agentes móveis (AM), vêm atraindo cada vez mais estudos e interesses visto que, devido às suas características, podem trazer benefícios em várias áreas, dentre elas a gerência de redes de computadores e telecomunicações. De acordo com [CHESS 1995], o paradigma de agentes móveis oferece vantagens qualitativas importantes em serviços de rede.

A mobilidade de código está sendo considerada como uma solução para descentralizar e, conseqüentemente, otimizar a gerência das redes, uma vez que ela oferece um nível de flexibilidade necessário para lidar com os problemas

advindos do gerenciamento centralizado e com a complexidade intrínseca das grandes redes. Segundo [PULIAFITO 2000], os agentes móveis são uma possibilidade desafiadora para se prover funcionalidades avançadas de gerenciamento de redes.

De acordo com [BALDI 1998], a utilização de código móvel não é uma vantagem por si só. Esta técnica tem que ser analisada como uma alternativa à abordagem tradicional, no contexto específico da aplicação que está sendo projetada.

Dentro deste contexto, este trabalho objetiva avaliar o desempenho dos agentes móveis enquanto técnica de gerência de redes, em comparação com o SNMP, modelo de gerência tradicional e centralizado. E, o mais importante, visa prover uma maneira simples de identificar a melhor técnica a ser utilizada em cada situação, ou seja, em cada topologia e configuração de rede.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo analítico que possa ser aplicado para avaliar o desempenho dos paradigmas SNMP (centralizado) e agentes móveis (descentralizado), através da métrica tempo de resposta, na gerência de uma topologia genérica de rede.

1.2. Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- ✓ Comparação do desempenho de agentes móveis e SNMP no gerenciamento de redes;

- ✓ Identificação das topologias e configurações de rede onde cada uma das técnicas (AM e SNMP) é mais eficiente e, conseqüentemente, sua utilização mais vantajosa.

1.3. Método de Desenvolvimento / Ferramentas Utilizadas

Este trabalho pode ser dividido basicamente em duas etapas, que são descritas a seguir.

Na primeira etapa é realizada toda a formulação matemática para o cálculo do tempo necessário para cada uma das técnicas, SNMP e Agentes Móveis, desempenhar uma tarefa de gerência, em qualquer que seja a topologia da rede a ser gerenciada. Assim, nesta primeira etapa, é apresentado o modelo analítico proposto para a avaliação de desempenho.

Em seqüência, na segunda etapa do trabalho, é realizada uma efetiva comparação das duas técnicas. Para tanto, os parâmetros de configuração de várias topologias de rede são empregadas diretamente nas equações do modelo analítico, gerando gráficos onde o comportamento das técnicas pode ser facilmente observado e analisado.

Em ambas as etapas foram utilizados os softwares matemáticos MAPLE V *Release 4* e MATLAB versão 5.3.

1.4. Limitações do Trabalho

Algumas considerações foram feitas na dedução do modelo analítico proposto. São elas:

- ✓ Os enlaces e nós da rede não possuem carga;
- ✓ Os enlaces e nós da rede não possuem perda;
- ✓ O tempo de processamento da camada de aplicação não foi considerado;
- ✓ Detalhes do protocolo SNMP, como protocolo de transporte e segmentação de pacotes, também não são considerados;
- ✓ Tempos referente aos serviços da plataforma do agente móvel não são computados.

1.5. Organização do Trabalho

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos. Neste primeiro capítulo é apresentada a introdução, fornecendo uma visão geral do trabalho, incluindo os objetivos gerais e específicos, as ferramentas utilizadas e limitações apresentadas.

Em seguida, no capítulo 2, é realizada uma revisão bibliográfica. Inicialmente são abordados conceitos de gerência de rede, com foco no modelo de gerência SNMP. É apresentada também uma análise da gerência de redes centralizada e dos problemas advindos da centralização. Na seqüência, são expostos os conceitos de agentes móveis e da aplicabilidade deste paradigma na descentralização da atividade de gerência. Finalizando, esta seção apresentada os trabalhos relacionados e o estado da arte do tema da pesquisa.

O modelo analítico para avaliação de desempenho de agentes móveis e SNMP na gerência de redes é efetivamente proposto no terceiro capítulo. O modelo analítico visa calcular o tempo necessário para cada uma das técnicas realizar uma determinada tarefa de gerência.

O capítulo 4 apresenta estudos de caso, onde o modelo matemático proposto é aplicado em diferentes topologias e configurações de rede e é realizada uma análise dos resultados obtidos.

Finalmente, o capítulo 5 apresenta as conclusões, as principais contribuições e perspectivas de trabalhos futuros.

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

2.1. Gerência de Redes

A gerência de redes engloba métodos para planejar, configurar, controlar, monitorar, corrigir falhas e administrar redes de computadores e telecomunicações. De acordo com [PULIAFITO 2000], monitoração, detecção de anormalidades e controle do comportamento dos recursos do sistema representam as principais funcionalidades que um sistema de gerenciamento deve prover.

Um modelo de gerência visa apresentar uma estrutura através da qual a atividade de gerência possa ser realizada. Os modelos de gerência mais adotados atualmente são baseado na arquitetura cliente/servidor ou gerente/agente. Nesta arquitetura uma estação gerenciadora solicita operações aos elementos de rede e é responsável por todo o controle e processamento da atividade de gerência. A Figura 1 mostra este modelo e seus componentes.

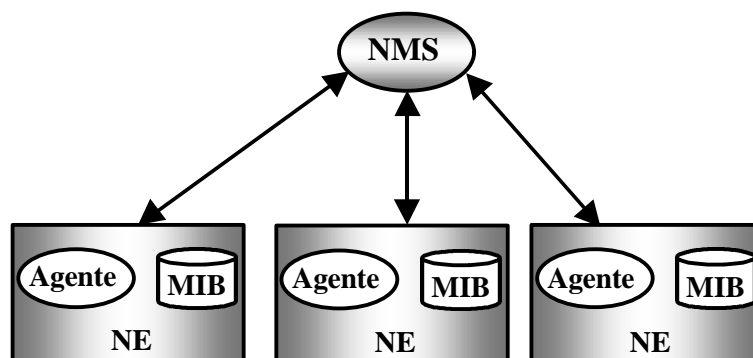


Figura 1 – Modelo de Gerência Centralizado

Os componentes do modelo de gerência são descritos a seguir:

- ✓ Estação Gerenciadora (NMS - *Network Management Station*): é a inteligência do sistema de gerenciamento, responsável por interagir com os elementos de rede.

- ✓ Elemento de Rede (NE - *Network Element*): também conhecido como nó, recurso ou elemento gerenciável. Cada NE contém um agente que consulta a MIB, responde a solicitações ou envia notificações ao gerente, que se encontra na NMS.

- ✓ Base de Informação de Gerenciamento (MIB - *Management Information Base*): base de dados onde é especificado o conjunto de informações de gerenciamento sobre os recursos, ou seja, a descrição dos objetos gerenciados.

- ✓ Estrutura de Gerenciamento de Informação (SMI - *Structure of Management Information*): define as regras de como os objetos gerenciados são descritos e como ter acesso às operações do protocolo de suporte.

- ✓ Operações de Gerenciamento: operações implementadas pelo protocolo de suporte que especificam as primitivas disponíveis para o usuário manipular as informações de gerenciamento.

Os modelos de gerência mais adotados atualmente são o SNMP (*Simple Network Management Protocol*) proposto pela IETF (*Internet Engineering Task Force*) e o CMIP (*Common Management Information Protocol*) proposto pela OSI (*Open System Interconnection*). Os dois modelos adotam uma arquitetura cliente/servidor centralizada e diferem basicamente no modo de operação, ou seja, na SMI (*Structure of Management Information*) e nas operações de gerenciamento empregadas. Este trabalho enfoca o modelo SNMP, também conhecido como modelo Internet.

2.1.1. Modelo de Gerência SNMP

O protocolo SNMP consiste de 3 tipos de operações de gerenciamento:

- ✓ GET: a NMS recupera uma informação específica do NE;
- ✓ SET: a NMS altera uma informação específica no NE;
- ✓ TRAP: um agente de um NE reporta um evento para a NMS.

Estas operações são utilizadas para recuperação, modificação, notificação e recepção de mensagens, através das primitivas disponibilizadas pelo modelo SNMP. Essas primitivas são:

- ✓ *GetRequest*: a NMS solicita o valor de uma variável da MIB do NE;
- ✓ *GetNextRequest*: a NMS solicita o valor da próxima variável na ordem lexicográfica da MIB;
- ✓ *SetRequest*: a NMS solicita a modificação em objetos (variáveis) da MIB do NE;
- ✓ *GetResponse*: o NE retorna uma resposta solicitada pela NMS;
- ✓ *Trap*: o NE notifica a NMS de um evento extraordinário.

Como foi mencionado anteriormente, as informações dos recursos gerenciados são armazenadas nas suas respectivas bases de dados ou MIBs. Para ambientes TCP/IP, a IETF especificou a MIB-I e uma segunda versão chamada MIB-II. Cada objeto gerenciado da MIB contém um nome, uma sintaxe e um identificador. A sintaxe define a estrutura de dados abstrata e é definida em ASN.1. O identificador de objeto é uma seqüência de inteiros que identificam a localização de um tipo de objeto na estrutura da árvore, como mostra a Figura 2.

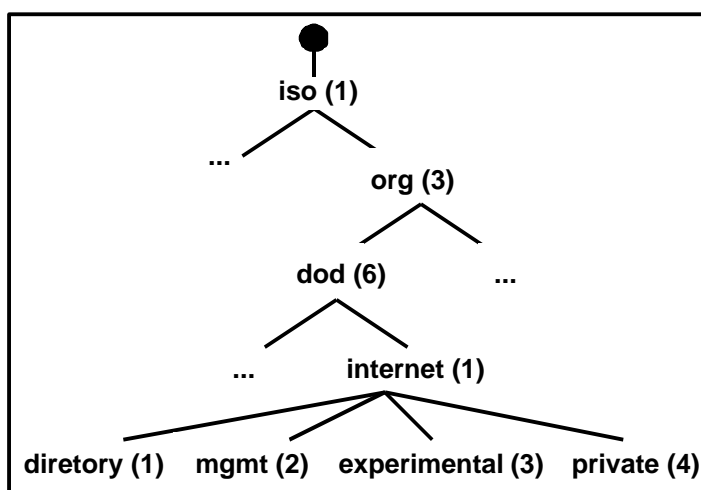


Figura 2 - Estrutura em árvore da MIB SNMP

Para realizar uma tarefa de gerência, a estação gerenciadora busca as informações dos recursos do sistema através das variáveis das MIBs de cada

recurso e, caso seja necessário intervir, atualiza variáveis. Por toda a estrutura descrita, é visível que o modelo de gerência Cliente/Servidor é totalmente centralizado na figura da NMS.

2.1.2. Análise da Gerência de Rede Centralizada

Na gerência de redes centralizada, a estação gerenciadora coleta os dados de gerenciamento nos recursos (NEs) distribuídos pela rede, sendo responsável por todo o processamento e análise das informações coletas. Este processo envolve uma grande transferência de dados dos NEs para a NMS, gerando limitações de flexibilidade, escalabilidade, desempenho, eficiência, além de produzir muito tráfego na rede, contribuindo para o congestionamento dos meios de transmissão.

Estas limitações não são percebidas na execução de tarefas simples de gerenciamento em redes de pequeno porte, mas os problemas se acentuam com o crescimento, a heterogeneidade e a intrínseca complexidade das redes atuais. Cada dia mais, existe a exigência de confiabilidade e de QoS (Qualidade de Serviço) dos serviços disponibilizados pelas redes. Gerenciar estas redes complexas requer a coleta e o processamento de uma grande quantidade de informações acerca dos recursos da rede, e é justamente neste cenário que as limitações da centralização do gerenciamento se tornam mais evidentes.

E ainda, contraditoriamente, a arquitetura centralizada se torna ainda mais ineficiente em períodos de congestionamento, justamente quando as ações imediatas de gerência são importantes para restaurar o estado normal da rede. Isto acontece porque, nestes períodos, a estação gerenciadora tende a interagir mais com os elementos de rede buscando informações, e os NEs por sua vez tendem a enviar notificações à NMS. Tudo isso gera um aumento de tráfego justamente na área congestionada, degradando ainda mais os serviços da rede.

Este é o retrato de uma arquitetura inflexível. A indiscutível solução é descentralizar as operações de gerenciamento. Com a monitoração e o controle perto dos recursos, há uma diminuição de informações trafegando pela rede e se desfaz o gargalo de processamento na NMS.

As limitações e problemas advindos da centralização já forma amplamente reconhecidos pela comunidade de gerência de redes e pelas organizações que introduziram os modelos centralizados de gerenciamento. Várias pesquisas e trabalhos vêm sendo desenvolvidos propondo formas de descentralização. Segundo [SIMÕES 1999], a descentralização da gerência resolve potencialmente a maioria dos problemas existentes nas soluções cliente/servidor centralizadas, tornando as redes mais escaláveis, robustas, facilmente atualizáveis e personalizáveis, além de reduzir o tráfego da rede.

A IETF e a OSI estão adaptando suas arquiteturas de gerenciamento, disponibilizando soluções de descentralização nas especificações mais recentes de seus protocolos [CASE 1996][STALLINGS 1999]. São exemplos de esquemas de descentralização introduzidos pela IETF:

✓ *Proxy Agents* do SNMPv2: Cada agente *proxy* funciona como um procurador de um conjunto de recursos. A NMS envia as requisições para este agente procurador quando necessita interagir com um dos recursos do conjunto. O procurador interage então com o agente SNMP do recurso e retorna a resposta para a NMS [STALLINGS 1999]. Entretanto, o SNMPv2 não foi vastamente utilizado como a primeira versão devido às poucas implementações disponíveis e críticas sobre o sistema de segurança empregado [PAGUREK 2000].

✓ *RMON (Remote Monitoring)*: Agentes conhecidos como *probes* são instalados em um recurso de um segmento da rede. Estes *probes* são responsáveis por prover à NMS informações estatísticas do seu domínio local e indicações detalhadas do tráfego do segmento [STALLINGS 1999]. De acordo com [ZAPF 1999], com a definição adequada dos *probes*, a carga na rede pode ser

consideravelmente diminuída. No entanto, o RMON apresenta algumas desvantagens como [PULIAFITO 2000][GAVALAS 2000]:

- ✓ Configurações estáticas, que gera inflexibilidade do sistema;
- ✓ A MIB RMON é designada para monitorar segmentos LAN na camada MAC, necessitando de extensões para outros meios e camadas;
- ✓ Os *probes* são adequados apenas para prover estatísticas orientadas ao tráfego;
- ✓ Normalmente, um *probe* monitora um único segmento, o que implica em um aumento de custo para gerenciar múltiplos segmentos.

Estas propostas representam ganhos quando comparadas à arquitetura completamente centralizada do modelo de gerência cliente/servidor. Estes ganhos são, principalmente, a compressão semântica das informações, já que os dados são de certa forma filtrados antes de serem enviados para a NMS, e uma conseqüente diminuição do tráfego. Entretanto, estas soluções ainda não apresentam o grau de descentralização e a flexibilidade necessários à gerência de grandes redes [BALDI 1998][COSTA 1999][RUBINSTEIN 2001].

Além disso, de acordo com [ZAPF 1999], o grau de descentralização não é igualmente aplicável a todas as áreas da gerência e a todas as redes. A situação deve ser cuidadosamente analisada com o intuito de se atingir os melhores resultados quanto a descentralização desejada, a utilização da largura de banda, a tolerância a falhas, e assim por diante.

2.2. Agentes Móveis

Existe uma grande dificuldade em se definir um agente, sem causar nenhuma controvérsia [RUBINSTEIN 2001][COSTA 1999][BIESZCZAD 1998]. De acordo com [WONG 1999], agentes são entidades autônomas, que realizam tarefas delegadas, executam regras flexíveis de acordo com suas necessidades atuais, cooperam entre si e interagem com o ambiente e com as pessoas. Esta é uma definição bem geral, mas que caracteriza bem um agente. A partir dela

podemos identificar propriedades chaves dos agentes, como: autonomia, delegação, flexibilidade, interação e cooperação. Existem outras propriedades ortogonais, como inteligência e mobilidade, pois são características que os agentes podem possuir mas que não os definem [BOHORIS 2000]. Assim, a capacidade de aprendizado é uma característica dos agentes inteligentes e inteligência não é inerente a todos os agentes. Da mesma forma, mobilidade é uma propriedade de agentes, nem todos os agentes são móveis. Os agentes estacionários, que não possuem a propriedade de mobilidade, executam apenas no sistema onde estão alojados, buscando informações necessárias por meios convencionais, como chamada remota de procedimentos (RPC – *Remote Procedure Call*) ou troca de mensagens.

Dentro da comunidade de sistemas distribuídos o termo “agente móvel” é usado para denotar um componente de software que apresenta propriedades de mobilidade, ou seja, seu código pode ser transferido para diferentes sistemas computacionais desde que estes possuam alguma comunicação, permanente ou não [COSTA 1999]. Assim, um AM não está amarrado ao sistema ao qual começou a sua execução, sendo livre para migrar pelos *hosts* da rede. De acordo com [SIMÕES 1999], um agente móvel é um pequeno programa que é capaz de migrar por algumas máquinas remotas, onde ele pode executar algumas funções ou coletar dados e em seguida migrar para outras máquinas, para executar outras tarefas.

Um AM é formado por um código, um estado e atributos [RUBINSTEIN 2001][LANGE 1999]. O código é o programa que define todo o comportamento do agente móvel. O estado é o valor dos atributos utilizado para retomar o processamento em um novo destino. O código de um AM deve ser executado em qualquer que seja o destino, independente das características deste destino. Por isso, as linguagens interpretadas oferecem mais vantagens para a implementação de AM, e a mais utilizada é Java [WONG 1999].

O agente móvel precisa de um ambiente de execução, também conhecido como infra-estrutura de agentes ou MAF (*Mobile Agent Framework*), em cada destino ou hospedeiro. Este ambiente provê todas as funcionalidades que fornecem o suporte necessário à execução de agentes móveis, disponibilizando serviços como segurança, tolerância a falhas, migração, execução e comunicação.

2.2.1. Benefícios dos Agentes Móveis

Vários estudos apontam para diversas vantagens na utilização de AM [CHESS 1995][BIESZCZAD 1998][LANGE 1999][GRAY 2000]. Os principais benefícios advindos da utilização de AM são:

- ✓ Redução do tráfego das redes: A essência do processamento dos agentes móveis é mover o processamento para os dados, ao invés de mover os dados para o processamento. Assim, os agentes móveis evitam que dados tenham que ser transferidos pela rede para que possam ser processados, migrando pelos diversos *hosts* da rede e processando os dados localmente. Como, normalmente, o tamanho do código é bem menor que os dados a serem processados, a transferência do AM gera menos tráfego na rede que a transferência dos dados.
- ✓ Superação da latência da rede: Como os agentes móveis reduzem o tráfego na rede, o processamento de informações se torna menos influenciado pela latência da rede.
- ✓ Execução assíncrona e autônoma: Depois que um AM é despachado ele se torna independente do sistema que o originou e opera de maneira assíncrona e autônoma. Assim, uma entidade do sistema pode delegar a execução de uma tarefa a um agente móvel mesmo que ela não permaneça ativa durante a execução da dada tarefa.
- ✓ Adaptabilidade dinâmica: Agentes móveis podem perceber seu ambiente de execução e reagir de maneira autônoma a mudanças que venham a ocorrer.

- ✓ Robustez e tolerância a falhas: A habilidade dos agentes móveis de reagir dinamicamente pode ser utilizada para o desenvolvimento de sistemas robustos e tolerante a falhas.

- ✓ Suporte a ambientes heterogêneos: Os agentes móveis são normalmente independentes de transporte e processamento, sendo dependentes apenas do seu ambiente de execução. Esta característica torna os AMs úteis na integração de ambientes heterogêneos, como é o caso das redes de computadores.

- ✓ Facilidade de atualização de software: Um agente pode ser facilmente substituído por uma nova versão com atualizações quando necessário, sem comprometer o nível de QoS (qualidade de serviço) da rede.

- ✓ Divisão de processamento: Como os agentes móveis processam os dados localmente, existe uma divisão do processamento.

2.2.2. Agentes Móveis na Gerência de Redes - Uma Alternativa para a Descentralização

Podemos observar, pelos benefícios descritos acima, que a utilização de agentes móveis provê vários benefícios que remetem a pontos importantes na atividade de gerência, como o resgate de informações distribuídas e a monitoração.

O paradigma de agentes móveis pode ser utilizado como uma possível solução para descentralizar o processamento e o controle da estação de gerenciamento [RUBINSTEIN 1999]. O agente móvel move o código da aplicação da estação gerenciadora para os elementos de rede. Assim, os dados das MIBs dos NEs podem ser processados localmente e apenas o resultado final é encaminhado para a NMS. Além disso, o AM pode migrar por diversos recursos da rede e executar as operações necessárias nestes recursos antes de retornar para a NMS. Este processo diminui a comunicação na rede, contribuindo para a

diminuição do tráfego, e ainda diminui a necessidade de processamento na estação gerenciadora. O esquema de interação entre a NMS e os NEs nos paradigmas SNMP e agentes móveis está ilustrado na Figura 3.

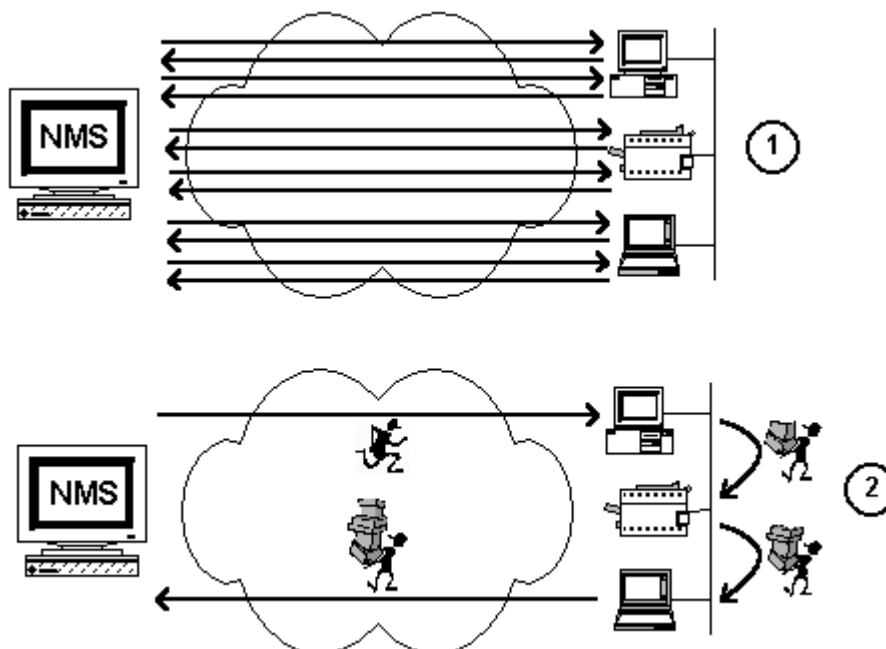


Figura 3 – Interações nos paradigmas SNMP (1) e agentes móveis (2)

De acordo com [PAGUREK 2000], o principal argumento a favor dos agentes móveis reside no fato deste paradigma distribuir a inteligência do gerenciamento pela rede, nos recursos individuais. Ou seja, disponibilizar as operações de gerência necessárias, nos locais (NEs) onde elas são necessárias, e quando necessário.

Além de benefícios como a compressão semântica e redução de tráfego obtidas com as propostas de descentralização da OSI e da IETF, os agentes móveis oferecem flexibilidade, autonomia, tolerância à falhas, maior nível de abstração, possibilidade de personalização e provisão de serviços de forma dinâmica [BALDI 1998][COSTA 1999].

Segundo [SIMÕES 1999], vários métodos já foram propostos para descentralizar o gerenciamento. Começando com a gerência por delegação, e

incluindo redes ativas, ambiente de gerenciamento baseado no CORBA (*Common Object Request Broker*), gerenciamento *web*, agentes inteligentes e agentes móveis. De todas estas possibilidades, AM é uma das mais promissoras, mas ainda requer estudos mais detalhados.

Dentro de todo o contexto apresentado, podemos verificar que os agentes móveis oferecem vários benefícios quando comparados ao SNMP ou à gerência de redes centralizada. Várias características dos agentes móveis, descritas anteriormente, os potencializam como uma solução efetiva para a descentralização da atividade de gerência.

2.3. Trabalhos Relacionados e Estado da Arte

O paradigma de agentes móveis vem sendo amplamente discutido, e vários trabalhos apontam as vantagens de sua utilização em diversos tipos de aplicações, dentre as quais a gerência de redes de computadores e telecomunicações.

De acordo com [CHESS 1995], diversos autores sugerem que os agentes móveis oferecem um importante método para executar transações e para o resgate de informações em redes. Em [LANGE 1999] são apontados os principais benefícios providos pelos agentes móveis em ambientes distribuídos. Principalmente dois dos benefícios descritos, redução de carga na rede e superação da latência da rede, remetem a pontos importantes na tarefa de gerência. Além disso, [LANGE 1999] enumera várias aplicações que se beneficiam do paradigma de agentes móveis. Algumas das aplicações citadas, como resgate de informações distribuídas e monitoração e notificação, são típicas da gerência de redes.

Segundo [GRAY 2000], a maior força dos agentes móveis reside no fato desta técnica oferecer uma estrutura para a execução de aplicações distribuídas em geral. Afirma ainda que, com o aprimoramento da técnica de agentes móveis, a

tendência é que a sua utilização se mostre atrativa para uma gama cada vez maior de aplicações distribuídas.

As pesquisas da utilização de agentes como forma de descentralização da atividade de gerência começaram com o paradigma de gerência por delegação [YEMINI 1991][GOLDSZMIDT 1995][GOLDSZMIDT 1998]. Neste paradigma de gerência, a estação gerenciadora delega aos recursos gerenciados a execução das tarefas através do envio de programas contendo as operações a serem executadas, substituindo assim a troca excessiva de mensagens entre a estação e os recursos.

A utilização de agentes móveis na descentralização da atividade de gerência vem sendo tema de diversas pesquisas. Em [BALDI 1997] e [BALDI 1998] é apresentada uma avaliação de vários paradigmas de código móvel (Código sob Demanda, *Remote Evaluation* e Agentes Móveis) em comparação com a arquitetura Cliente/Servidor no domínio da gerência de rede. Os autores concluíram, através de uma avaliação quantitativa, que a melhor solução a ser empregada na gerência de uma rede depende das características desta rede e das tarefas de gerência a serem executadas. [PULIAFITO 2000] também apresenta os benefícios da utilização de agentes móveis, comparando com outros paradigmas de código móvel. Já [BIESZCZAD 1998] discute o uso potencial de AM no gerenciamento de redes, lista vantagens, desvantagens e esforços de padronização. [BIESZCZAD 1998] também mostra várias aplicações de agentes móveis nas cinco áreas funcionais de gerenciamento definidas pela OSI (configuração, segurança, desempenho, falha e contabilização). [GRAY 2000] descreve as motivações e razões para a utilização de agentes móveis na gerência de redes e o estado da arte dos sistemas baseados em AMs. [WHITE 1999] mostra a utilização de delegação e agentes móveis para criar e manter um modelo de rede inteligente. Este modelo contém o comportamento e o estado da rede, podendo atualizá-los dinamicamente.

Vários *frameworks* (MAF – *Mobile Agent Framework*), infra-estruturas de suporte aos agentes móveis, vêm sendo propostos. [SAHAI 1998] desenvolveu a plataforma MAGENTA (*Mobile AGENT environment for distribution Applications*). Os autores utilizam esta plataforma para definir uma arquitetura onde um gerente de rede móvel se comunica com os agentes SNMP dos recursos da rede, e o desempenho desta arquitetura é comparado ao desempenho do modelo cliente/servidor em uma rede *Ethernet*. [SUSILO 1998] mostra a definição e implementação de uma infra-estrutura para agentes móveis no Projeto Perpetuum [PERPETUUM]. [GAVALAS 1999] também propôs uma infra-estrutura para utilização de agentes móveis na gerência de redes, e constatou que este paradigma resulta em um ganho tanto quanto ao tempo de resposta quanto a utilização da largura de banda, em comparação com o SNMP. [PULIAFITO 1999] propôs a plataforma MAP (*Mobile Agent Platform*) que foi utilizada, posteriormente, em [PULIAFITO 2000] para criar agentes que desempenham funcionalidade simples de gerenciamento, como consulta à MIB dos elementos de rede. [LI 2001], além de propor uma infra-estrutura para agentes móveis, desenvolveu uma API para que os agentes coletem dados das MIBs dos elementos de rede e uma interface que permite que os agentes sejam gerenciados remotamente por um gerente. Utilizando esta interface, as funcionalidades dos agentes podem ser estendidas sem a necessidade de recompilação do código do agente.

Alguns pesquisadores mostram a necessidade da integração de agentes móveis com SNMP para dar suporte às aplicações de legado e também por questões de migração e eficiência. De acordo com [SIMÕES 1999], esta integração é importante pelo fato do SNMP ser a única interface disponível para acessar as informações de gerenciamento. Neste contexto, [SIMÕES 1999] apresenta uma plataforma de agentes móveis, chamada JAMES, que provê suporte ao protocolo SNMP de maneira transparente para os recursos e aplicações. [ZAPF 1999] propõe um *framework* chamado *NetDoctor* para a monitoração de *hosts* utilizando agentes móveis e as funcionalidades do SNMP, e mostra como a integração destes dois paradigmas leva a uma arquitetura descentralizada flexível e ajustável. Além disso, [ZAPF 1999] apresenta uma pequena análise quantitativa

dos benefícios da solução baseada em AM na redução da carga da rede. Já [PAGUREK 2000] expõe argumentos da necessidade de integração e da maneira de se atingir esta integração, estendendo uma plataforma de AM já existente, definida em [SUSILO 1998]. A extensão da plataforma é utilizada em uma aplicação para configurar ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) PVCs (*Permanent Virtual Circuits*). [RIVALTA 2000] implementou a integração de agentes móveis e SNMP no Projeto Perpetuum [PERPETUUM].

A comparação de desempenho entre SNMP e agentes móveis na gerência de redes vem sendo tema de diversas pesquisas. [LIOTTA 1999] realiza uma análise comparativa de desempenho, através de modelos matemáticos, de soluções baseadas em agentes móveis e no modelo tradicional cliente/servidor em redes hierárquicas. [BOHORIS 2000] apresenta a arquitetura e implementação de um sistema de agentes móveis, no Projeto MIAMI [MIAMI], para a gerência de desempenho, em três versões: agentes móveis (com a plataforma *Grasshoper*), Java-RMI e CORBA. São comparados o tempo de resposta e o tamanho dos pacotes com o intuito de identificar a sobrecarga de informação introduzida pelos agentes móveis. [GAVALAS 2000] mostra as vantagens da utilização de AM na monitoração da rede, em comparação com a gerência por delegação e o RMON. Os autores apresentam também implementações de aplicações, como aquisição atômica de tabelas SNMP e filtro de dados SNMP, utilizando a plataforma de AM proposta em [GAVALAS 1999]. Através de testes e de uma avaliação quantitativa, os autores confirmam uma diminuição da sobrecarga de informação de tráfego da rede quando as aplicações foram utilizadas em um ambiente real, em comparação com a gerência centralizada tradicional. [GRAY 2001] realiza experimentos para comparar a escalabilidade e desempenho de quatro plataformas de agentes móveis (D'Agents, EMAA, KaoS e NIMADS) com a arquitetura centralizada de gerenciamento. [RUBINSTEIN 2001] realiza uma comparação de desempenho de agentes móveis e SNMP na gerência de redes locais e redes com topologia transit-stub, através de implementação e simulações. Em [COSTA 1999] é proposto um modelo analítico com o intuito de comparar o desempenho

das duas técnicas em redes hierárquicas, ou seja, redes que apresentam os segmentos conectados com roteadores em cascata.

Como pode ser observado, a utilização de agentes móveis como forma de descentralizar, e conseqüentemente otimizar, a gerência de redes vêm sendo bastante difundida. Vários autores [BALDI 1998][COSTA 1999][GRAY 2001] [RUBINSTEIN 2001] concordam que as vantagens da utilização do paradigma de agentes móveis no lugar da gerência tradicional dependem de vários fatores, tais como: topologia e configuração da rede a ser gerenciada e tarefa de gerência a ser executada.

Neste contexto, este trabalho propõe um modelo analítico para avaliação de desempenho de cada uma das técnicas, SNMP e agentes móveis, em uma topologia genérica de rede. Este modelo matemático é uma evolução do modelo proposto por [COSTA 1999] para redes hierárquicas. O objetivo final é identificar sob quais condições (topologias e configurações de rede) cada uma das técnicas apresenta melhor desempenho na atividade de gerência.

Capítulo 3 - Modelo Analítico para Avaliação de Desempenho de Agentes Móveis e SNMP na Gerência de Redes

Já vimos anteriormente que os métodos de gerência centralizados, como o SNMP, podem comprometer o desempenho da atividade de gerência, com o crescimento e aumento da complexidade da rede alvo do gerenciamento. Por outro lado, os agentes móveis foram apresentados como uma possível alternativa para a descentralização da gerência de redes. Neste contexto, este trabalho disponibiliza um modelo matemático que pode ser utilizado para avaliar e comparar o desempenho das duas técnicas de gerenciamento de redes, paradigma de agentes móveis e SNMP, em qualquer topologia e configuração de rede.

A métrica considerada na avaliação de desempenho foi o tempo de resposta resultante de uma operação de gerência em diversos recursos distribuídos por um ou mais segmentos da rede. Esta operação de gerência consiste da obtenção de variáveis SNMP da MIB de cada elemento gerenciado. Com a utilização desta métrica o trabalho mantém a homogeneidade com [RUBINSTEIN 2001] e [COSTA 1999], facilitando uma comparação efetiva dos resultados obtidos.

Assim, o modelo matemático proposto visa calcular o tempo necessário para a realização de uma determinada tarefa de gerência por cada uma das técnicas em uma topologia genérica de rede. Através do modelo pretende-se identificar as topologias e os limiares onde cada técnica apresenta melhor desempenho na atividade de gerência. Para tanto, posteriormente, o modelo será empregado em estudos de caso.

É importante salientar que o modelo analítico assume que os enlaces e nós da rede não possuem carga e não têm perda. Além disso, o tempo de processamento na camada de aplicação e os detalhes do protocolo SNMP, como segmentação de

pacotes e protocolo de transporte, não são considerados. Em acréscimo, o modelo também não computa o tempo referente à plataforma do agente móvel.

No caso de uma rede com roteamento dinâmico, o modelo proposto deve ser aplicado uma vez para cada possível configuração de roteamento, uma vez que este modelo não considera o algoritmo de roteamento.

O modelo considera o tempo de processamentos em cada elemento de rede a ser gerenciado, que é o tempo necessário ao agente SNMP contido no NE para buscar uma dada variável na MIB correspondente. Obviamente este tempo depende do poder de processamento de cada recurso. Contudo, as diferenças não são significativas, como pode ser observado em [RUBINSTEIN 2001] e, portanto, o modelo matemático considera o tempo médio de acesso à MIB para o SNMP e para o agente móvel. Este tempo é diferente para as duas técnicas, já que no caso do agente móvel existe a comunicação deste com o agente SNMP do elemento de rede, que por sua vez busca a variável na MIB correspondente. No caso do SNMP existe apenas a comunicação do agente SNMP com a MIB. Este processo de consulta a MIB está ilustrado na Figura 4.



Figura 4 – Processo de Consulta à MIB no SNMP(1) e no Paradigma AM(2)

As variáveis, que definem a topologia e a configuração da rede, utilizadas em toda a dedução matemática são descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis do modelo matemático

Variável	Descrição	Unidade
L_i	Latência da rede i	Segundos
B_i	Largura de banda da rede i	Mbps
E_i	Nº de NE da rede i	Inteiro
Q_i	Nº total de sub-redes da rede i	Inteiro
$SQ_i[1..Q_i]$	Identificadores das sub-redes da rede i	Vetor de inteiros
NI_i	Nível do roteamento de ida da NMS para a rede i	Inteiro
$SI_i[0..NI_i]$	Identificadores dos segmentos de ida da NMS até a rede i	Vetor de inteiros
NV_i	Nível do roteamento de volta da rede i para a NMS	Inteiro
$SV_i[0..NV_i]$	Identificadores dos segmentos de volta da rede i para a NMS	Vetor de inteiros
K	Tamanho inicial do código do AM	Bits
P	Tamanho do pedido/requisição (PDU <i>GetRequest</i>)	Bits
R	Tamanho da resposta (PDU <i>GetResponse</i>)	Bits
TMIBSNMP	Tempo médio de acesso a MIB para o SNMP por NE	Segundos
TMIBAM	Tempo médio de acesso a MIB para o AM por NE	Segundos

Cada segmento de rede tem um identificador com a finalidade de identificar seus parâmetros ou variáveis, representado pelo “ i ” na Tabela 1. Cada rede ou segmento de rede tem um parâmetro que indica a quantidade de sub-redes (Q_i). Neste caso, entende-se por sub-rede os segmentos que estão interconectados um nível abaixo da rede “ i ”, ou seja, via um roteador. O vetor SQ_i contém os identificadores das sub-redes da rede i .

A grande maioria das WANs atuais, incluindo a Internet, adotam um roteamento dinâmico, muitas vezes com rotas diferentes de entrada e saída, ou requisição e resposta. Para atender a este tipo de rede, cada segmento possui duas variáveis, NI_i e NV_i , que representam respectivamente o nível do roteamento de ida da NMS para a rede i e o nível de roteamento de volta da rede i para a NMS. O nível corresponde à quantidade de roteadores percorridos da estação de gerenciamento até a rede i em questão nas requisições, ou da rede i até a NMS nas respostas. O vetor SI_i contém os identificadores dos segmentos que devem ser percorridos pela requisição da NMS até se atingir a rede i . Já o vetor SV_i contém

os identificadores dos segmentos que devem ser percorridos pela resposta da rede i até a NMS.

Os tamanhos do pedido, e da resposta dizem respeito respectivamente ao tamanho das PDUs *GetRequest* e *GetResponse* do SNMP. Estas PDUs indicam a tarefa de gerência a ser executada, ou seja, identificam a variável a ser obtida das MIBs dos elementos de rede.

Para facilitar o entendimento da dedução do modelo analítico, a Figura 5 mostra um exemplo de topologia de rede a ser gerenciada com suas respectivas variáveis de configuração, que foram descritas anteriormente.

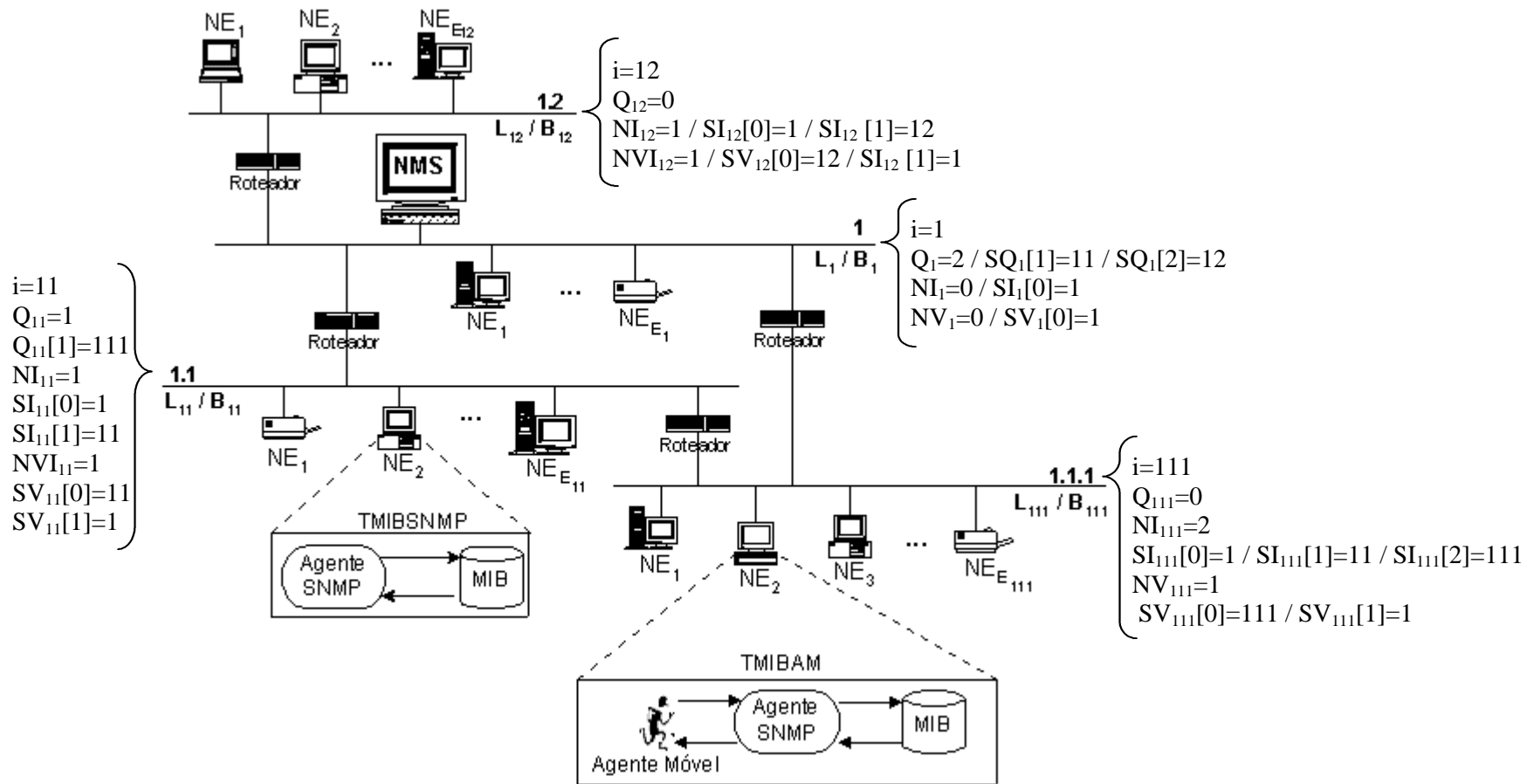


Figura 3 - Exemplo de rede a ser gerenciada

3.1. Modelo Analítico para o SNMP

Para realizar uma operação de gerência através do SNMP em um elemento de rede, a estação gerenciadora envia uma requisição (PDU *GetRequest*) ao agente SNMP do elemento a ser gerenciado, que consulta a MIB e retorna o valor da variável requisitada (PDU *GetResponse*) à NMS. Este processo está ilustrado na Figura 6.

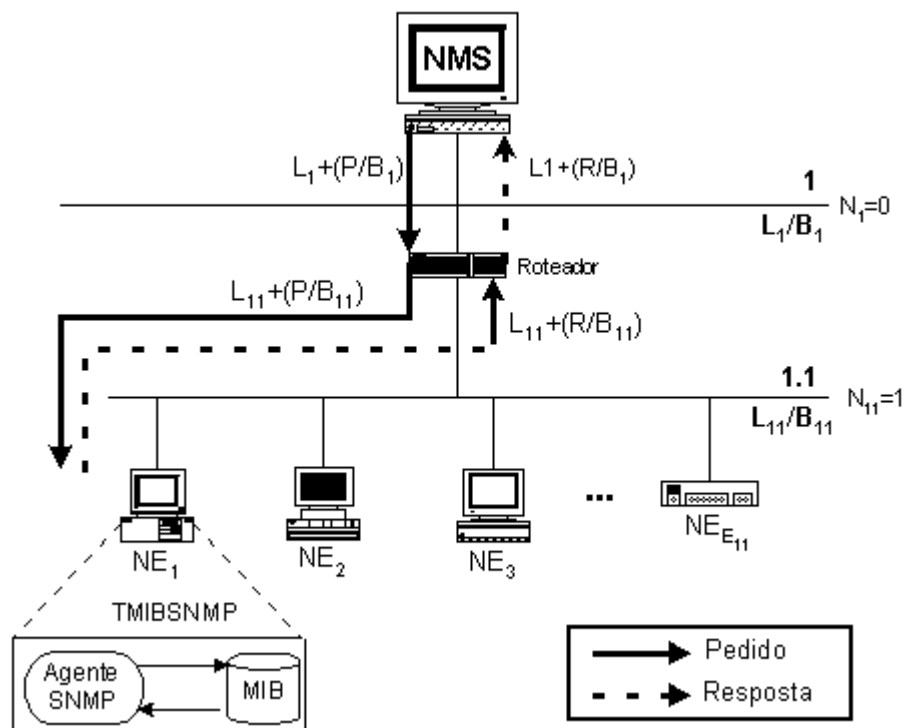


Figura 6 - Modelo de gerência SNMP

O tempo de resposta resultante de uma operação de gerência em um NE é função dos tempos necessários para a realização das seguintes tarefas:

1. Requisição trafegar pela rede até o NE;
2. Requisição ser processada no NE;
3. Resposta trafegar de volta até a NMS.

Os tempos de tráfego das informações (tarefas 1 e 3) são dados pela soma da latência (L) de todos os seguimentos por onde trafega o pacote SNMP somado

à divisão do tamanho da informação transitada (P e R) pela largura de banda (B) do segmento. O tempo de processamento no NE (tarefa 2) é o tempo médio de acesso a MIB no SNMP (TSNMPMIB). Assim, o tempo necessário para gerenciar o recurso NE_1 (T_{NE_1}), ilustrado na Figura 6, é dado por:

$$T_{NE_1} = \underbrace{L_1 + \frac{P}{B_1} + L_{11} + \frac{P}{B_{11}}}_{\text{Tarefa 1}} + \underbrace{TSNMPMIB}_{\text{Tarefa 2}} + \underbrace{L_1 + \frac{R}{B_1} + L_{11} + \frac{R}{B_{11}}}_{\text{Tarefa 3}} \quad (1)$$

Não podemos simplificar os termos referentes às tarefa 1 e 3 para não restringir o modelo. Neste caso, o roteamento de entrada e saída é o mesmo, tanto na requisição quanto na resposta os pacotes trafegam pelos mesmos segmentos da rede, e portanto a equação poderia ser simplificada. No caso de existirem diferentes rotas para entrada e saída isto não aconteceria.

O tempo necessário para gerenciar cada recurso de um mesmo segmento de rede é o mesmo, uma vez que o modelo considera o tempo médio de processamento nos elementos de rede. Então, para obtermos o tempo de resposta proveniente do gerenciamento de todos os recursos de um mesmo segmento de rede, basta multiplicar o tempo de gerenciamento de um recurso pela quantidade total de recursos do segmento. Desta maneira, o tempo de gerenciamento dos recursos do segmento de rede 1.1 é dado por:

$$T_{11} = E_{11} \times \left(L_1 + \frac{P}{B_1} + L_{11} + \frac{P}{B_{11}} + TMIBSNMP + L_1 + \frac{R}{B_1} + L_{11} + \frac{R}{B_{11}} \right) \quad (2)$$

No caso de um segmento genérico i , os níveis de roteamento de entrada e saída do segmento (NI_i / NV_i) são utilizados para obter a quantidade de sub-redes (segmentos de rede) por onde o pacote SNMP trafegou da NMS até o segmento em questão e do segmento até a NMS. Os identificadores dos segmentos (SI_i / SV_i)

são utilizados para obter a latência e a largura de banda de cada segmento. Assim, generalizando a Equação 2 para um segmento de rede genérico i , temos:

$$TSNMPSEG_i = E_i \times (TIDA_i + TMIBSNMP + TVOLTA_i) \quad (3)$$

Onde:

✓ $TIDA_i$ é o tempo da requisição trafegar pela rede da NMS até o NE (Tarefa 1 descrita anteriormente), e é dado por:

$$TIDA_i = \sum_{u=0}^{NI_i} \left(L_{SI_i[u]} + \frac{P}{B_{SI_i[u]}} \right) \quad (4)$$

✓ $TVOLTA_i$ é o tempo da resposta trafegar de volta do NE até a NMS (Tarefa 3 descrita anteriormente), e é dado por:

$$TVOLTA_i = \sum_{u=0}^{NV_i} \left(L_{SV_i[u]} + \frac{R}{B_{SV_i[u]}} \right) \quad (5)$$

Finalmente, o tempo gasto por uma operação de gerência SNMP em uma rede corresponde à soma dos tempos necessários para executar esta operação em cada um dos elementos a serem gerenciados, em cada um dos segmentos da rede, e é dado por:

$$TSNMP_i = \underbrace{TSNMPSEG_i}_{\text{Tempo de gerência dos NEs da rede } i} + \underbrace{\left(\sum_{u=1}^{Q_i} TSNMPSEG_{SQ_i[u]} \right)}_{\text{Tempo de gerência de cada sub-rede da rede } i} \quad (6)$$

A equação 6 utiliza a quantidade de sub-redes da rede i , dada por Q_i , e os identificadores de cada uma destas sub-redes, dados pelo vetor IQ_i , para calcular o tempo referente à execução da operação de gerência em cada uma destas sub-redes.

3.2. Modelo Analítico para o Paradigma de Agentes Móveis

O esquema de gerenciamento com agentes móveis é ilustrado na Figura 7. Para realizar uma operação de gerência no paradigma de agentes móveis, a NMS envia o agente para o primeiro recurso a ser gerenciado, este agente percorre cada um dos recursos em um ou mais segmentos da rede e retorna a estação gerenciadora. Em cada um dos recursos o agente móvel interage com o agente local do recurso que por sua vez consulta a MIB correspondente.

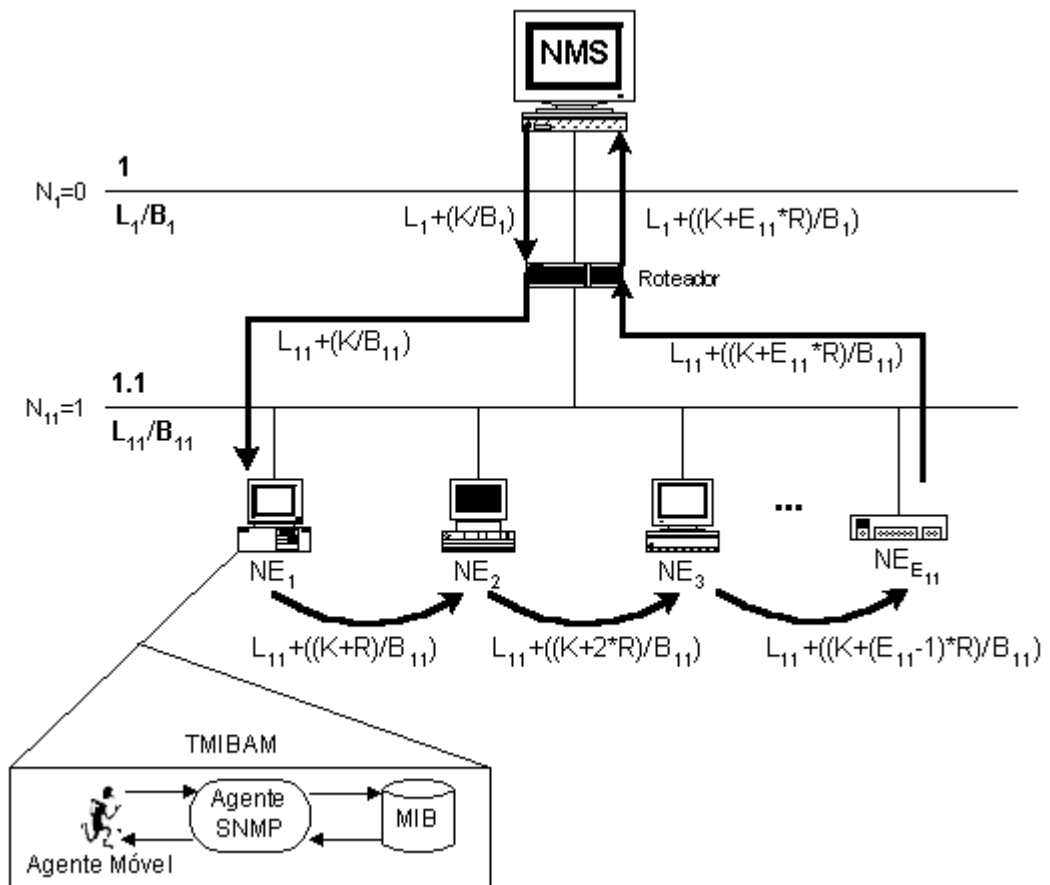


Figura 7 - Modelo de gerência com o paradigma de agentes móveis

O tempo total gasto para realizar a mesma operação de gerenciamento através do paradigma de agentes móveis é dado pela soma dos tempos necessários a execução das seguintes tarefas:

1. AM percorre a rede local da NMS, caso haja elementos a serem gerenciados, e envia os dados (respostas) para a NMS
2. AM percorre cada sub-rede. A tarefa 2 é executada tantas vezes quanto for a quantidade de sub-redes, e é assim subdividida:
 - 2.1. AM migra para a sub-rede
 - 2.2. AM percorre todas as sub-redes da sub-rede em questão, caso existam
 - 2.3. AM percorre a sub-rede em questão
 - 2.4. AM volta para sub-rede imediatamente superior.

Isto é, o agente móvel se desloca para a última sub-rede e vai “subindo” os níveis da rede até chegar à NMS.

Assim, o tempo total gasto pelo AM, de acordo com as tarefas descritas, é dado pela equação (7) abaixo:

$$TAM_i = \underbrace{L_i + \frac{K}{B_i}}_{1^\circ \text{ NE da rede}} + \underbrace{\left(\sum_{u=2}^{E_i} \frac{K + (u-1) \times R}{B_i} \right) + E_i \times TMIBAM + E_i \times L_i + \frac{R \times E_i}{B_i}}_{\text{Percorre toda a rede}} + \underbrace{\left(\sum_{u=1}^{Q_i} TAMSEG_{i_u} \right)}_{\text{Tempos das sub-redes}} \quad (7)$$

TAREFA 1
TAREFA 2

O agente móvel tem sempre definido o itinerário a ser percorrido para a realização das tarefas descritas no seu código. Neste caso, como a tarefa a ser executada consiste na gerência de todos os NEs de todos os segmentos da rede, o itinerário corresponde à rede local da NMS e todas as suas sub-redes.

O tempo gasto na gerência de uma sub-rede j da rede i é dado por:

$$TAMSEG_{i_j} = \underbrace{T_IDA_{i_j}}_{\text{Tarefa 2.1}} + \underbrace{\left(\sum_{u=1}^{Q_j} TAMSEG_{SQ_i[j]_u} \right)}_{\text{Tarefa 2.2}} + \underbrace{T_PERCORRE_{i_j}}_{\text{Tarefa 2.3}} + \underbrace{T_VOLTA_{i_j}}_{\text{Tarefa 2.4}} \quad (8)$$

Desta forma, o tempo de um segmento ou sub-rede j é dado pela soma dos seguintes tempos:

- ✓ Tempo de ida do agente móvel do segmento i para sua sub-rede j

$$T_IDA_{ij} = L_i + \frac{K + RACI_{ij}}{B_i} + L_{SQ_i[j]} + \frac{K + RACI_{ij}}{B_{SQ_i[j]}} \quad (9)$$

Onde $RACI_{ij}$ retorna as respostas acumuladas pelo AM na ida para o segmento e será definida adiante, pela Equação 12.

- ✓ Tempo gasto para percorrer todos os NE do segmento j da rede i

$$T_PERCORRE_{ij} = \left(\sum_{u=2}^{ESQ_i[j]} \frac{K + RAC_{ij} + (u-1) \times R}{B_{SQ_i[j]}} \right) + (ESQ_i[j] - 1) \times L_{SQ_i[j]} + ESQ_i[j] \times TMIBAM \quad (10)$$

Onde RAC_{ij} retorna as respostas acumuladas pelo AM no momento de percorrer o segmento e será definida adiante, pela Equação 14.

- ✓ Tempo de volta do AM do último recurso do segmento j para o segmento imediatamente anterior (i)

$$T_VOLTA_{ij} = L_{SQ_i[j]} + \frac{K + R \times ESQ_i[j] + RAC_{ij}}{B_{SQ_i[j]}} + L_i + \frac{K + R \times E_i + RAC_{ij}}{B_i} \quad (11)$$

As funções que acumulam as respostas obtidas pelo AM ($RACI$ e RAC) são muito importantes, já que quando o AM está se deslocando ou percorrendo um segmento ele já carrega junto com seu código todas as respostas acumuladas das visitas aos NEs dos segmentos já percorridos. Estas funções são definidas a seguir.

A função $RACI_{ij}$ retorna as respostas acumuladas, em octetos, pelo agente móvel quando este se desloca da rede i para sua sub-rede j . Neste momento o AM já percorreu todas as sub-redes de i anteriores a j , e a função é dada por:

$$RACI_{ij} = R \times \left(\sum_{z=1}^{Q_i-j} QTNE_{SQ_i[z]} \right) \quad (12)$$

Onde $QTNE_i$ retorna a quantidade de NEs da rede i e de todas as suas sub-redes, sendo definida como:

$$QTNE_i = E_i + \left(\sum_{z=1}^{Q_i} QTNE_{SQ_i[w]} \right) \quad (13)$$

A função RAC_{ij} retorna as respostas acumuladas em octetos pelo agente móvel, quando este percorre a sub-rede j da rede i . Neste momento o AM já percorreu todas as sub-redes de i anteriores a j e também todas as sub-redes do segmento j . Assim temos:

$$RAC_{ij} = RACI_{ij} + \left(\sum_{z=1}^{Q_{SQ_i[j]}} QTNE_{SQ(SQ_i[j])[z]} \right) \quad (14)$$

Onde $RACI$ e $QTNE$ são definidas nas Equações 12 e 13, respectivamente.

Capítulo 4 - Estudos de Caso – Comparação de Desempenho SNMP x Agentes Móveis

Com a finalidade de comparar efetivamente os dois paradigmas de gerência de redes, SNMP e Agentes Móveis, o modelo matemático proposto foi aplicado em diferentes topologias de rede. A Figura 8 mostra as três topologias consideradas, rede local (topologia 1), rede com enlace de gargalo (topologia 2) e inter-redes (topologia 3) que são descritas nos estudos de caso 1, 2 e 3 respectivamente. Em acréscimo, o estudo de caso 4 mostra como aplicar o modelo matemático em redes *transit-stub*.

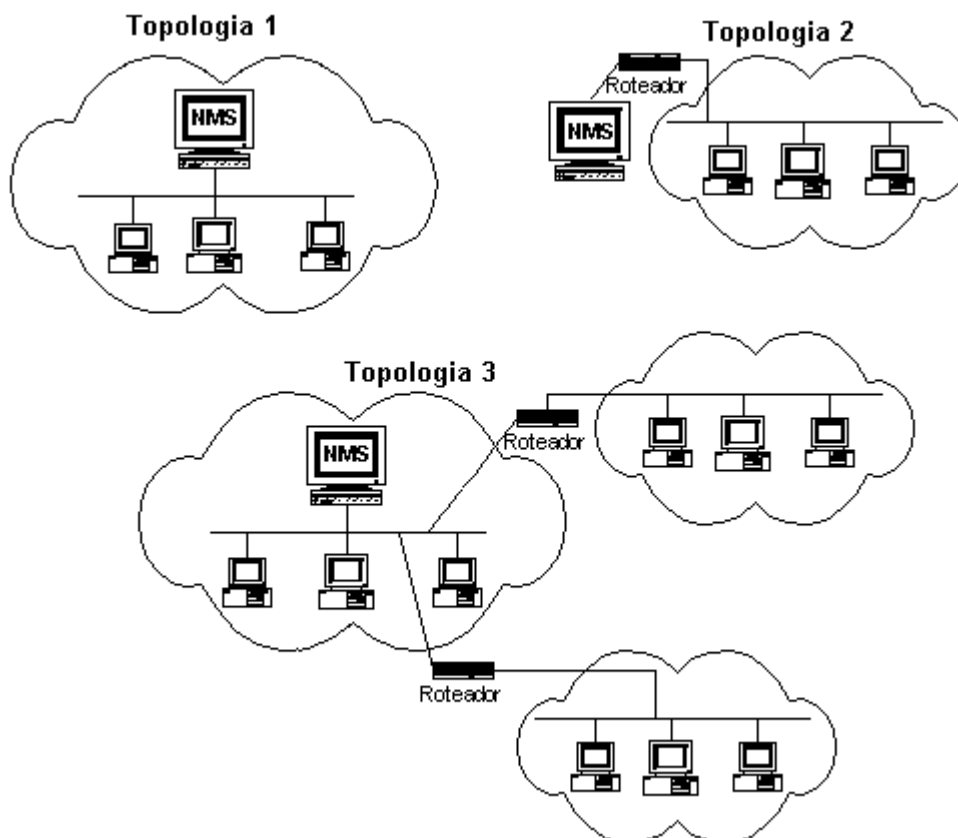


Figura 8 - Topologias de Gerenciamento dos Estudos de Caso

A tarefa de gerência realizada nos experimentos é a consulta da variável *ifInErrors* da MIB SNMP. Os valores dos parâmetros foram extraídos de [RUBINSTEIN 2001] e [COSTA 1999], com a finalidade de possibilitar uma comparação dos resultados obtidos através da aplicação do modelo matemático com os resultados da implementação e simulação apresentadas em [RUBINSTEIN 2001] e com os resultados do modelo analítico proposto em [COSTA 1999].

4.1. Estudo de Caso 1 – Gerência Remota de uma LAN

Na topologia utilizada neste estudo de caso, ilustrada na Figura 9, os elementos de rede estão distribuídos em uma rede local *Ethernet* (segmento 1.1) com largura de banda igual a 10Mbps e latência de 10 μ s. Esta rede é gerenciada remotamente pela NMS que se encontra em outro segmento da rede (segmento 1) conhecido como enlace de gargalo. Este enlace é também conhecido como de alto custo, por apresentar uma maior latência e uma menor largura de banda em comparação com a rede local.

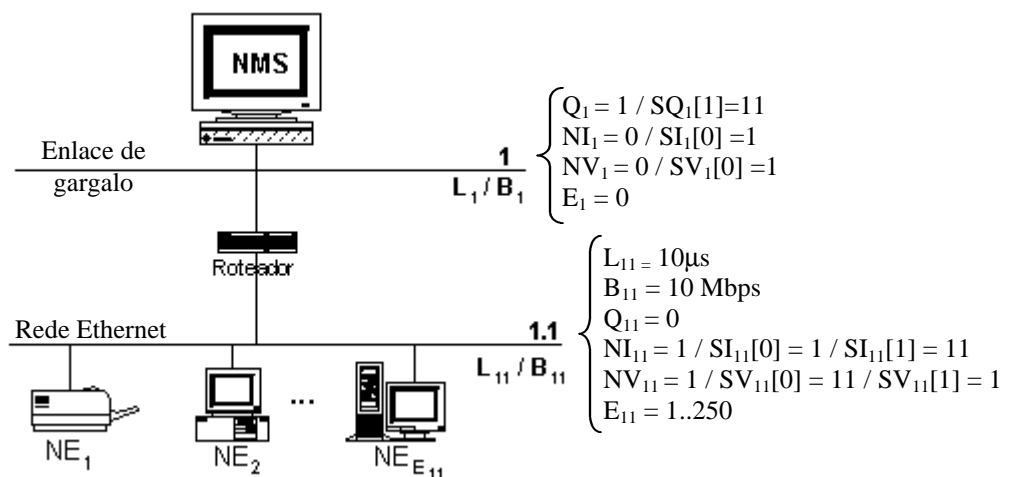


Figura 9 - Gerência remota de uma LAN

A quantidade de elementos de rede a serem gerenciados (E_{11}) foi variada de 1 até 250. Foram analisados os efeitos das seguintes variáveis no gerenciamento: latência e largura de banda no enlace de gargalo e tarefa a ser executada (tamanho das PDUs *GetRequest* e *GetResponse* da variável a ser

consultada na MIB). Para tanto, foram realizados diversos experimentos nesta topologia, e em cada um destes experimentos uma destas variáveis teve seu valor variado e pôde ter seu efeito avaliado.

Os demais parâmetros utilizados neste estudo são listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros utilizados no estudo de caso 1

Variável	Descrição	Valor
K	Tamanho inicial do código do AM	1500 octetos
P	Tamanho da PDU <i>GetRequest</i> da variável <i>ifInErrors</i>	42 octetos
R	Tamanho da PDU <i>GetResponse</i> da variável <i>ifInErrors</i>	51 octetos
TMIBSNMP	Tempo médio de acesso a MIB para o SNMP por NE	65 ms
TMIBAM	Tempo médio de acesso a MIB para o AM por NE	78 ms

4.1.1. O Efeito da Latência do Enlace de Gargalo

Neste experimento a variável a ser obtida é a *ifInErrors*, a largura de banda do enlace de gargalo (B_1) é de 2 Mbps e a latência do enlace de gargalo (L_1) foi variada de acordo com os valores apresentador na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de latência do enlace de gargalo no estudo de caso 1

Valor	Latência (L_1)
V1	120 ms
V2	90 ms
V3	60 ms
V4	30 ms
V5	1 ms

O gráfico da Figura 10 mostra o efeito da latência do enlace de gargalo no tempo de resposta das técnicas de gerência.

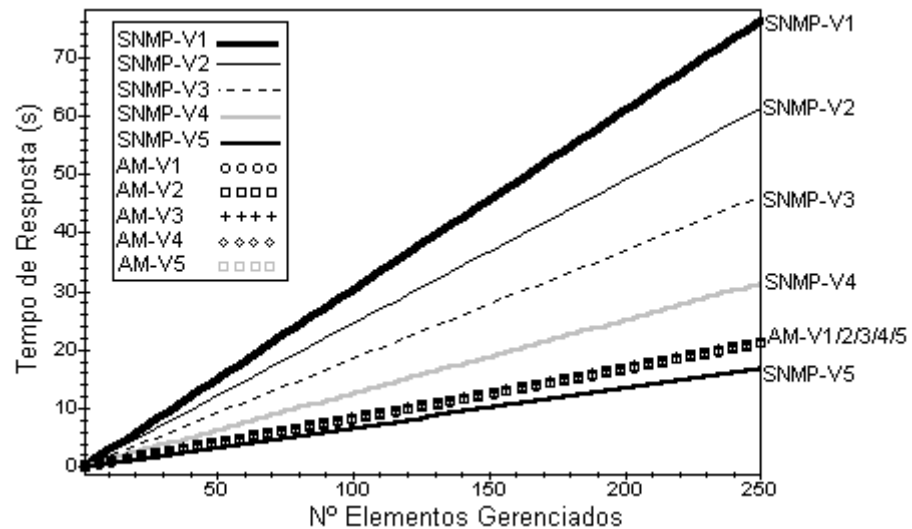


Figura 10 - Tempo de gerência para diferentes latências do enlace de gargalo

Analisando o gráfico podemos observar que as curvas referentes ao agente móvel estão praticamente sobrepostas, o que indica que a latência do enlace de gargalo não interfere no comportamento do AM, diferentemente do que ocorre com o SNMP. O SNMP é fortemente influenciado pela latência, principalmente com o aumento do número de recursos gerenciados. Este resultado pode ser considerado de certo modo esperado, já que para cada recurso gerenciado o pacote SNMP trafega duas vezes pelo enlace de gargalo. No caso do agente móvel este enlace só é percorrido pelo agente duas vezes ao longo de todo o processo de gerência, independente da quantidade de recursos a serem gerenciados. Dentre os valores utilizados no experimento, apenas no caso da latência de 1 ms o agente móvel apresentou um desempenho um pouco abaixo do SNMP, quando a quantidade de NE é superior a 50. Isso pode ser facilmente explicado pelo fato do valor da latência do enlace ser muito baixo, fazendo com que a quantidade de vezes que os pacotes trafegam pelo enlace não comprometa o tempo de resposta. Neste caso, a diferença no tempo de resposta só é visível a medida que aumentam os recursos a serem gerenciados, já que quanto mais recursos visitados, maior será o agente móvel no momento de retornar para a NMS passando pelo enlace de gargalo. Extrapolando os limites do gráfico, podemos afirmar que a diferença entre os tempos de resposta das duas técnicas para diferentes latências dos enlaces de gargalo aumenta proporcionalmente à quantidade de NEs gerenciados.

4.1.2. O Efeito da Largura de Banda do Enlace de Gargalo

Objetivando analisar o efeito da largura de banda do enlace de gargalo no desempenho do SNMP e do AM, foram utilizados quatro diferentes valores de banda passante descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de largura de banda do enlace de gargalo no estudo de caso 1

Valor	Largura de Banda (B_1)
V1	0.01 Mbps
V2	0.1 Mbps
V3	2 Mbps
V4	10 Mbps

A variável a ser obtida continua sendo a *ifInErrors* e foi considerada uma latência do enlace de gargalo (L_1) de 90 ms. O gráfico ilustrado na Figura 11 mostra o tempo de resposta para os diferentes valores de largura de banda do enlace de gargalo, para cada uma das técnicas de gerência

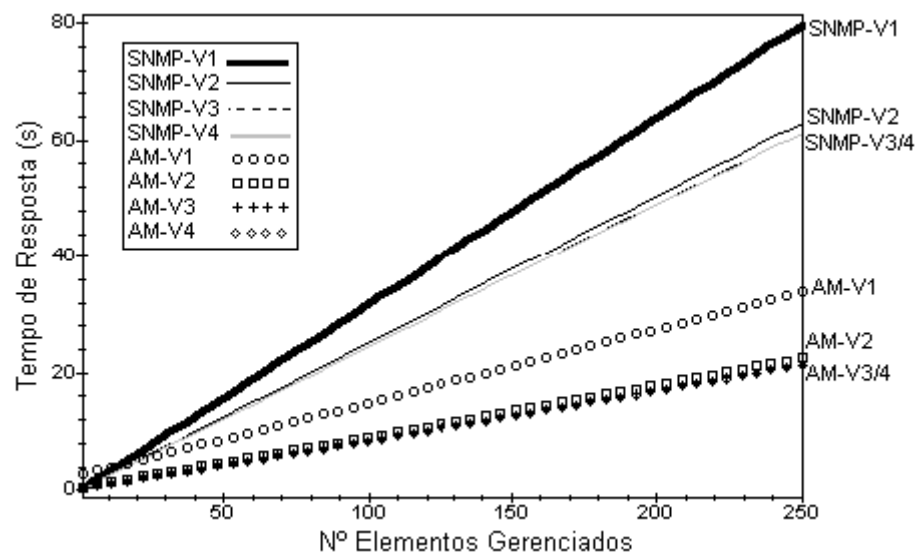


Figura 11 - Tempo de resposta para diferentes larguras de banda do enlace de gargalo

No gráfico da Figura 11 podemos observar que os tempos de resposta tanto para o SNMP quanto para o AM são bem maiores quando o enlace de gargalo apresenta uma pequena largura de banda (V_1). Isso ocorre porque uma pequena

banda passante compromete o tráfego tanto dos pacotes SNMP quanto do agente móvel. As demais larguras de banda praticamente não interferem nos tempos de ambas as técnicas. Isto ocorre porque, nestes casos, os tempos referentes à latência e à consulta a MIB são bem maiores que o tempo referente à largura de banda.

Podemos afirmar ainda que, independente da banda passante do enlace de gargalo desta topologia, o AM possui invariavelmente um desempenho melhor que o SNMP quanto maior for a quantidade de elementos gerenciados. Isso pode ser novamente explicado pelo fato do agente móvel trafegar menos vezes pelo enlace de gargalo.

4.1.3. O Efeito da Tarefa de Gerência Executada

Para avaliar o efeito da execução de diferentes tarefas de gerência, foi considerada uma latência (L_1) de 90 ms e uma largura de banda (B_1) de 2 Mbps no enlace de gargalo. Entende-se por tarefa de gerência a variável da MIB a ser obtida. As variáveis utilizadas, com seus respectivos tamanhos de PDUs de pedido/resposta, são listadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Tamanhos de pacotes das operações de gerência no estudo de caso 1

Valor	Descrição Variável	Pedido (P) PDU <i>GetRequest</i>	Resposta (R) PDU <i>GetResponse</i>
V1	<i>IfInErrors</i>	42 octetos	51 octetos
V2	<i>SysORDescr.3</i>	42 octetos	87 octetos
V3	<i>SysORDescr.5</i>	42 octetos	128 octetos

A Figura 12 mostra o gráfico com o desempenho do SNMP e do AM na execução de cada tarefa.

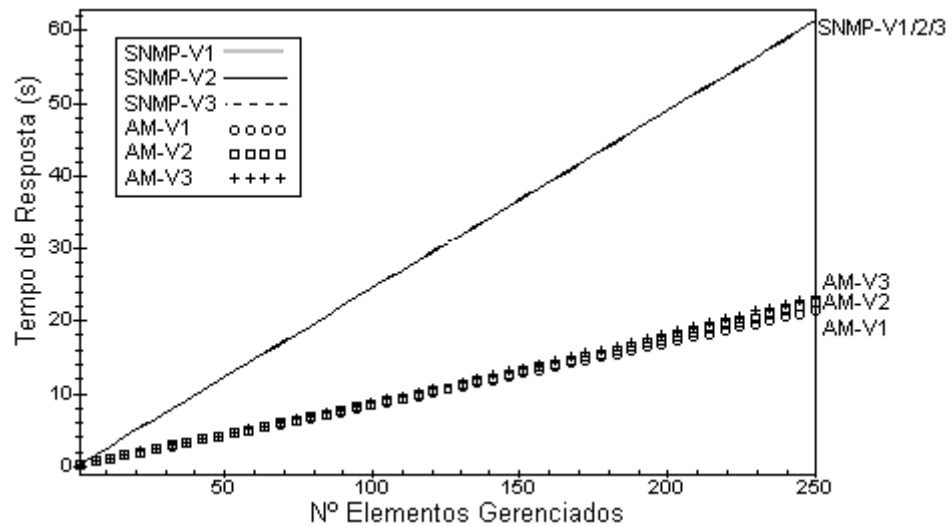


Figura 12 - Tempo de resposta para diferentes tarefas de gerência no enlace de gargalo

A partir de uma análise do gráfico, conclui-se que o tempo de resposta do SNMP é insensível quanto à variação da tarefa (as três curvas referentes ao SNMP estão completamente sobrepostas). Isso se deve ao fato do SNMP gerenciar cada recurso isoladamente, ou seja, a variação da quantidade de octetos que trafega no enlace de gargalo é muito pequena para alterar significativamente o tempo de resposta. Já no caso do AM, a variação do tempo de resposta é pequena na configuração testada, mas já é possível de ser visualizada para uma quantidade maior de recursos. A tendência é que essa diferença aumente principalmente com o aumento do tamanho da resposta, uma vez que o agente móvel concatena ao seu código todas as respostas dos elementos de rede visitados. Assim, o AM pode demandar um tempo de resposta superior ao tempo do SNMP, dependendo da configuração da rede.

4.1.4. O Efeito do Tamanho Inicial do Agente Móvel

Com o intuito de verificar a influência do tamanho inicial do agente móvel no desempenho do paradigma, este tamanho foi variado conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Tamanho do código inicial do agente móvel no estudo de caso 1

Valor	Tamanho Inicial AM (K)
V1	1,5 k-octetos
V2	3 k-octetos
V3	5 k-octetos
V4	7 k-octetos
V5	9 k-octetos

A latência e a banda do enlace de gargalo foram respectivamente estipuladas em 90 ms e 2Mbps e a variável a ser obtida é a *ifInErrors*. A Figura 13 ilustra o gráfico com o tempo de resposta do SNMP e de cada um dos agentes móveis.

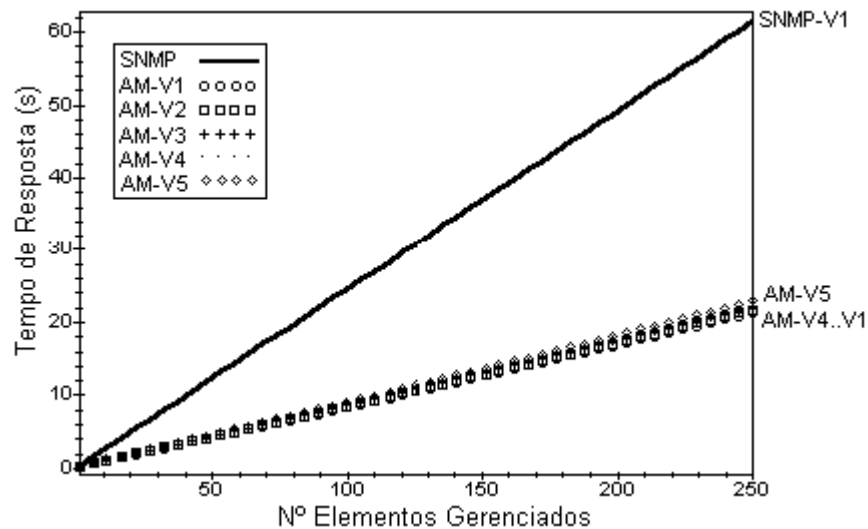


Figura 13 – Tempo de resposta para o SNMP e para AMs com diferentes tamanhos iniciais no estudo de caso 1

Observando o gráfico verificamos que, nesta topologia de rede, uma variação no tamanho inicial do agente móvel interfere pouco no seu desempenho. Obviamente um agente móvel maior leva mais tempo para trafegar na rede. O aumento do tempo de resposta do AM foi de aproximadamente 1 segundo para cada k-octeto a mais no tamanho inicial do código. O agente móvel continua tendo um desempenho bem superior ao SNMP nesta configuração, principalmente pela alta latência do enlace de gargalo.

4.1.5. Conclusão – SNMP versus AM na Gerência Remota de uma LAN

Com base em todos os experimentos realizados nesta topologia de rede, conclui-se que a latência do enlace de gargalo, a tarefa de gerência a ser executada e a quantidade de recursos a serem gerenciados são fatores importantes que interferem no desempenho das técnicas de gerência analisadas. A utilização de AMs é mais interessante para enlaces de gargalo com latência muito alta, uma vez que esta latência afeta diretamente o desempenho do SNMP e não interfere no desempenho do agente móvel. Quando a tarefa a ser executada demandar uma grande quantidade de octetos de pergunta e principalmente de resposta, o SNMP pode ser mais vantajoso. E, quanto maior a quantidade de elementos a serem gerenciados, melhor será o desempenho de AM comparado ao SNMP, exceto no caso de tarefas grandes.

[FIORESE 2001] implementou um agente móvel que executa a mesma tarefa de gerência descrita neste estudo de caso na mesma topologia de rede. Na topologia onde a implementação foi testada, a NMS está ligada via cabo serial (enlace de gargalo) à rede local a ser gerenciada. Nas medições dos tempos de resposta do AM e do SNMP no ambiente real, o SNMP apresentou um desempenho melhor. As mesmas configurações desta implementação foram aplicadas no modelo analítico, gerando um resultado bem parecido. Neste caso, o desempenho do SNMP foi superior pelo fato do enlace de gargalo apresentar uma latência muito baixa, apesar da largura de banda ser extremamente pequena.

4.2. Estudo de Caso 2 – Gerência Local de uma LAN

Neste estudo de caso será analisada a gerência de uma rede local onde a estação gerenciadora faz parte da própria rede local, como mostra a topologia ilustrada na Figura 14. Esta topologia é um caso específico da topologia apresentada no Estudo de Caso 1, com a banda do enlace de gargalo tendendo a ∞ e a latência deste enlace tendendo a zero.

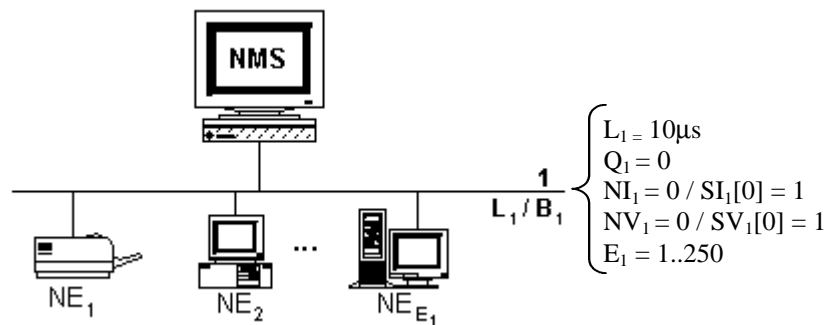


Figura 14 - Gerência local de uma LAN

Neste caso, não foram considerados os tempos médios de acesso às MIB (mantendo a homogeneidade com [COSTA 1999]). Os parâmetros utilizados são descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros do estudo de caso 2

Variável	Descrição	Valor
K	Tamanho inicial do código do AM	1500 octetos
P	Tamanho da PDU <i>GetRequest</i> da variável <i>ifInErrors</i>	42 octetos
R	Tamanho da PDU <i>GetResponse</i> da variável <i>ifInErrors</i>	51 octetos
TMIBSNMP	Tempo médio de acesso a MIB para o SNMP por NE	0
TMIBAM	Tempo médio de acesso a MIB para o AM por NE	0

Foram analisados os efeitos da variação da largura de banda, da tarefa de gerência e do tamanho inicial do agente móvel em dois modelos de rede local, *Ethernet* e *FastEthernet*, com uma banda passante de 10 Mbps e 100 Mbps respectivamente.

4.2.1. O Efeito da Largura de Banda da Rede

O gráfico da Figura 15 mostra o desempenho dos dois esquemas de gerenciamento, AM e SNMP, diante da variação da largura de banda da rede (B_1) em uma rede *Ethernet* ($V_1=10$ Mbps) e uma rede *FastEthernet* ($V_2=100$ Mbps).

Podemos observar, através do gráfico, que o desempenho do SNMP praticamente não é influenciado pela largura de banda nesta topologia de rede. O

SNMP apresenta invariavelmente um melhor desempenho que o agente móvel, visto que não existe mais enlace de gargalo. A medida que o AM migra pelos NE seu tamanho vai crescendo, dificultando seu tráfego pela rede. Esse fato compromete seu desempenho. Em uma rede com maior largura de banda (FastEthernet – V2) o desempenho do AM já é bem melhor, mas mesmo assim fica aquém do desempenho do SNMP.

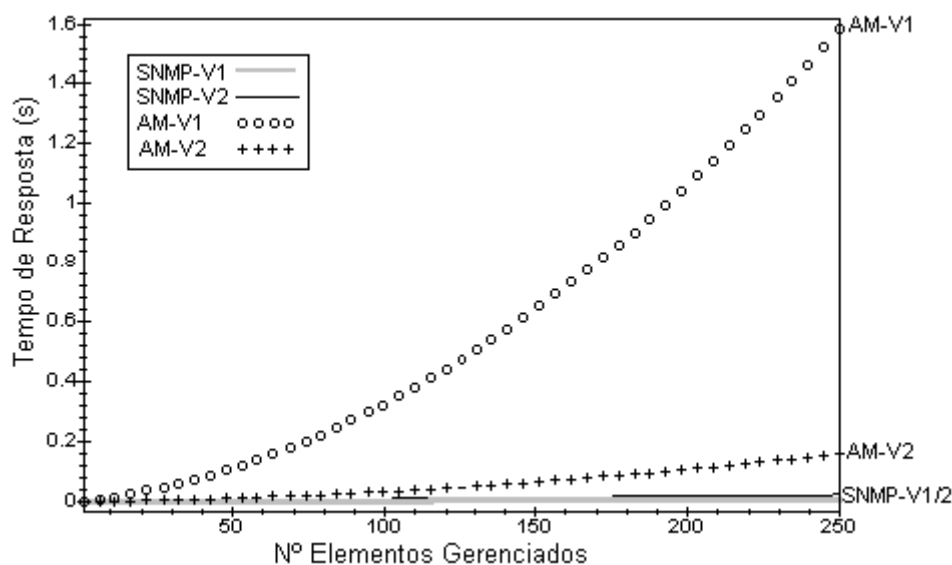


Figura 15 - Tempo de resposta para diferentes largura de banda da rede local no estudo de caso 2

4.2.2. O Efeito da Tarefa de Gerência Executada

A Tabela 8 mostra as diferentes tarefas de gerência e seus respectivos tamanhos de pacote utilizados no experimento, enquanto a Figura 16 apresenta os gráficos do desempenho do AM e do SNMP na execução de cada uma destas tarefas em redes *Ethernet* e *FastEthernet*.

Tabela 8 - Tamanhos de pacotes das operações de gerência - Estudo de caso 2

Valor	Descrição Variável	Pedido (P) PDU <i>GetRequest</i>	Resposta (R) PDU <i>GetResponse</i>
V1	<i>ifInErrors</i>	42 octetos	51 octetos
V2	<i>SysORDescr.3</i>	42 octetos	87 octetos
V3	<i>SysORDescr.5</i>	42 octetos	128 octetos

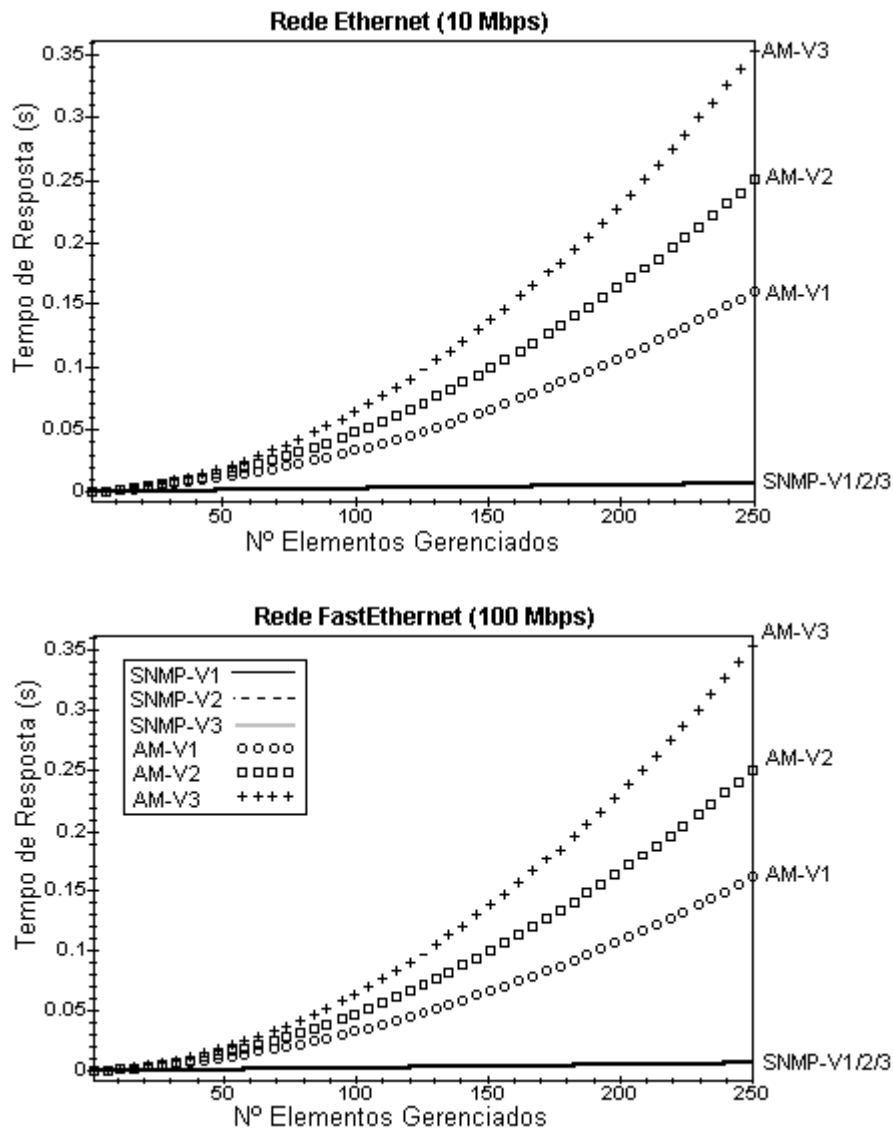


Figura 16 - Tempo para diferentes tarefas de gerência

Analisando os gráficos podemos observar que o comportamento do SNMP novamente não é afetado. Como esta técnica gerencia os recursos isoladamente um pequeno aumento nos pacotes não influencia seu desempenho. Já o AM, novamente devido ao fato de acumular as respostas dos NEs percorridos, tem o seu comportamento bastante influenciado pela tarefa a ser executada. Quanto maior a tarefa proporcionalmente maior será o tempo de resposta do AM.

O comportamento das técnicas nas duas configurações de rede, *Ethernet* e *FastEthernet*, é exatamente o mesmo. A diferença ocorre apenas no tempo de resposta. Evidentemente em uma configuração com mais banda passante, os tempos de resposta são menores.

4.2.3. O Efeito do Tamanho Inicial do Agente Móvel

Objetivando analisar o efeito do tamanho inicial do código do agente móvel, este parâmetro foi variado de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9 - Valores do tamanho inicial do AM no estudo de caso 2

Valor	Tamanho AM (K)
V1	1 k-octeto
V2	3 k-octetos
V3	5 k-octetos
V4	7 k-octetos
V5	9 k-octetos

Os gráficos da Figura 17 mostram o comportamento do paradigma de agentes móveis frente a variação do tamanho inicial do AM em redes *Ethernet* e *FastEthernet*, comparado ao desempenho do SNMP.

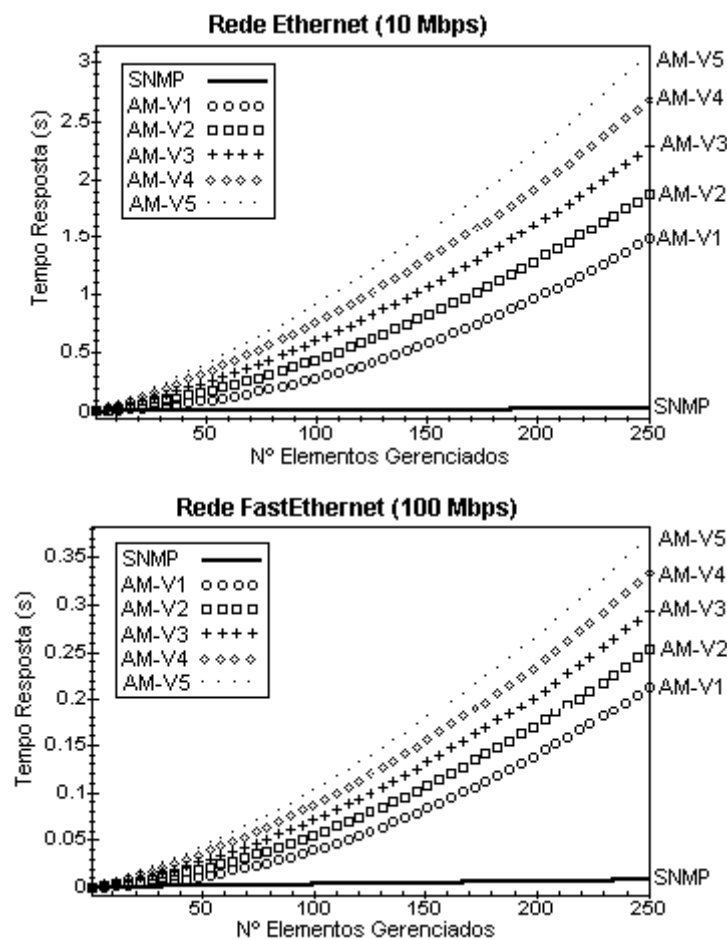


Figura 17 - Tempo de gerência para diferentes tamanhos iniciais do AM

O comportamento mostrado nos gráfico era completamente esperado já que, como foi dito anteriormente, quanto maior o tamanho inicial do agente móvel, maior ele ficará depois de cada NE visitado e maior será a dificuldade para trafegar pela rede. Novamente, este comportamento é idêntico nas duas redes, só diferindo no valor do tempo de resposta, que obviamente é menor em uma rede mais veloz.

4.2.4. Conclusão – SNMP versus AM na Gerência Local de uma LAN

Diante de todos os testes podemos afirmar que o SNMP é invariavelmente bem mais eficiente na gerência de uma rede local que o paradigma de agentes móveis. Isto é facilmente justificado pelas próprias características das redes locais de apresentarem baixas latências e larguras de banda de razoáveis a altas.

4.3. Estudo de Caso 3 - Gerência Inter-Redes

A topologia de rede avaliada neste estudo de caso está ilustrada na Figura 18. Aqui a finalidade é analisar o desempenho de agentes móveis e SNMP na gerência inter-redes.

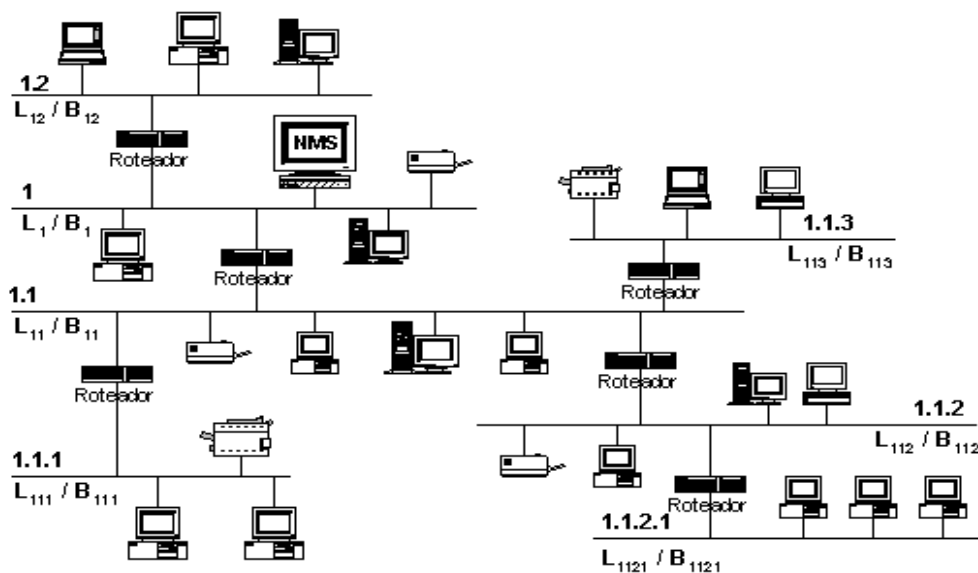


Figura 18 - Topologia da rede gerenciada no estudo de caso 3

Foi considerada uma largura de banda de 2 Mbps e uma latência de 60 ms em cada segmento da rede. A quantidade de elementos de rede foi variada de 1 a 50 em cada um dos segmentos.

4.3.1. O Efeito da Tarefa de Gerência Executada

A tarefa de gerência foi variada, de acordo com os valores da Tabela 10, para ter seu efeito no desempenho das técnicas de gerência analisado.

Tabela 10 - Tamanhos de pacotes das operações de gerência - Estudo de caso 3

Valor	Descrição Variável	Pedido (P) PDU <i>GetRequest</i>	Resposta (R) PDU <i>GetResponse</i>
V1	<i>ifInErrors</i>	42 octetos	51 octetos
V2	<i>SysORDescr.3</i>	42 octetos	87 octetos
V3	<i>SysORDescr.5</i>	42 octetos	128 octetos

Os tempos de resposta de cada uma das técnicas para cada atividade de gerência são apresentados no gráfico da Figura 19.

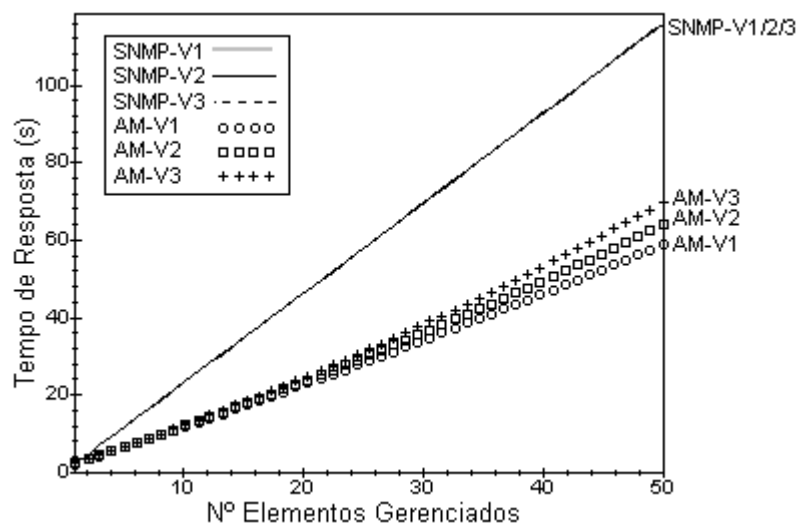


Figura 19 – Tempos de resposta para diferentes tarefas de gerência no estudo de caso 3

Podemos verificar o mesmo comportamento observado no estudo de caso 1. O tempo de resposta do SNMP não é alterado, já que a variação do número de

octetos trocados entre a NMS e cada NE é bem pequena. Já o comportamento do agente móvel é bastante influenciado, uma vez que o aumento da quantidade de octetos trocados gera um aumento do código do agente móvel. Outro fator observado foi que o tempo de resposta do agente móvel cresce mais rapidamente, quando comparado ao tempo do SNMP, com o aumento do número de elementos gerenciados. Este fato pode ser observado no gráfico da Figura 20. Neste gráfico, a quantidade de NEs de cada segmento da rede foi variada de 1 até 200

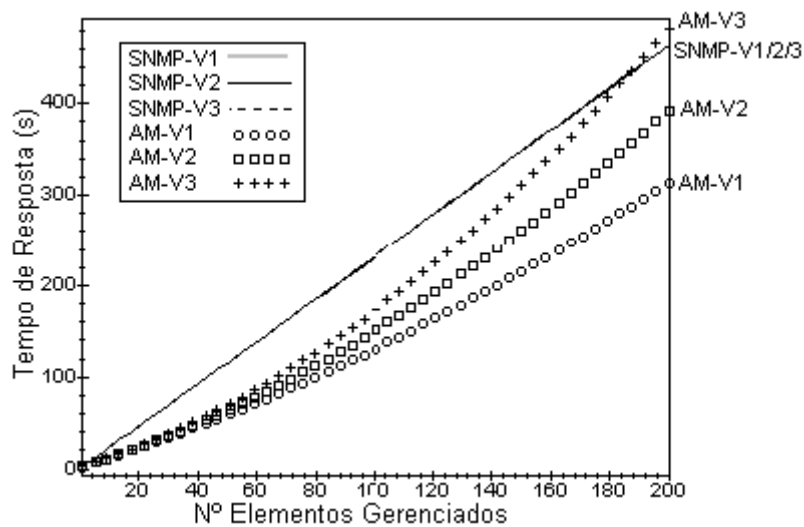


Figura 20 – Tempos para diferentes tarefas de gerência

O tempo de resposta do AM cresce mais rapidamente porque o tamanho do AM aumenta proporcionalmente com a quantidade de nós visitados, fazendo com que o tráfego do agente pela rede seja dificultado. Isso pode ser solucionado fazendo com que o agente móvel retorne a estação gerenciadora após visitar um determinado número de nós para descarregar os dados. Ou ainda, o agente móvel pode enviar estes dados coletados para a NMS sem a necessidade de retornar.

4.3.2. Conclusão – SNMP versus AM na Gerência Inter-Redes

Diante dos resultados obtidos, é importante analisar a quantidade de elementos gerenciados e a quantidade de octetos demandada pela tarefa de gerência. Estes dois fatores têm uma grande influência no desempenho do agente móvel. Além disso, no caso de existirem enlaces de gargalo, tanto a largura de

banda quanto a latência deste enlace devem ser cuidadosamente analisados, uma vez que estes fatores afetam diretamente o comportamento dos paradigmas.

4.4. Estudo de Caso 4 - Gerência de Redes *Transit-Stub*

Este estudo de caso visa mostrar como utilizar o modelo matemático proposto em uma rede *transit-stub*. Esta topologia de rede é semelhante às estruturas encontradas na Internet, onde cada domínio de roteamento pode ser classificado em *transit* ou *stub* [RUBINSTEIN 2001]. A Figura 21 mostra um exemplo de rede com esta topologia.

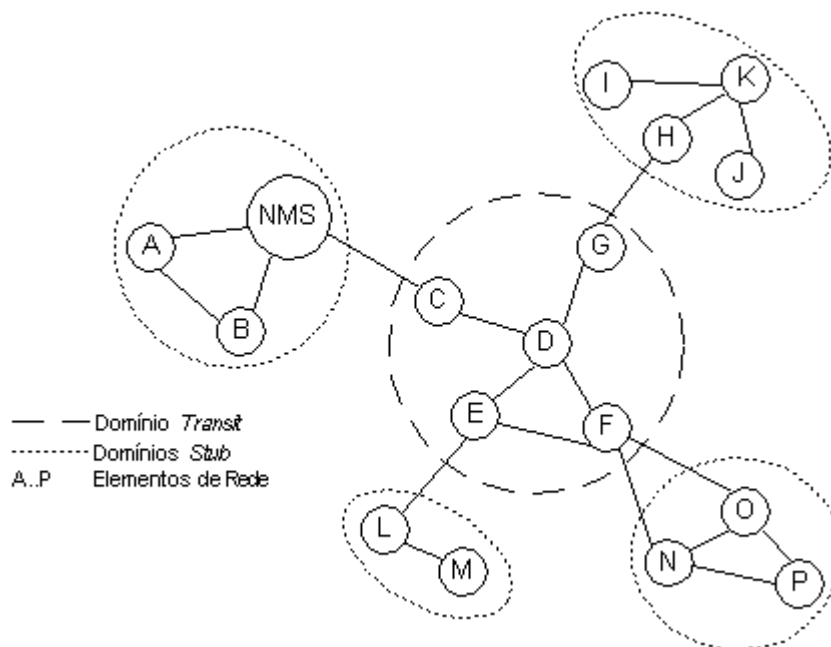


Figura 21 – Topologia de rede *transit-stub*

A partir da topologia apresentada é difícil visualizar a aplicação do modelo analítico proposto. A maneira mais simples de aplicar o modelo neste tipo de topologia é redesenhar a topologia para cada possibilidade de roteamento. A rede apresentada na Figura 21 remodelada para um dos possíveis esquemas de roteamento está ilustrada na Figura 22.

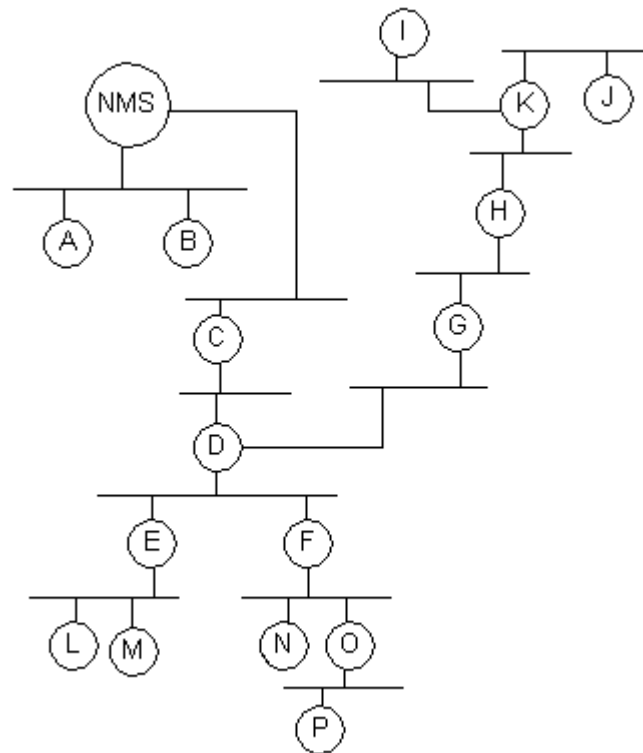


Figura 22 – Topologia transit-stub remodelada

Observado a figura podemos verificar que a nova visão é uma topologia inter-redes, semelhante a que foi apresentada no estudo de caso 3. Assim, o modelo analítico está pronto para ser aplicado a esta visão da topologia com suas respectivas configurações.

Capítulo 5 - Conclusões

Este trabalho propôs um modelo analítico com o intuito de avaliar o desempenho de Agentes Móveis e SNMP, através da métrica tempo de resposta. Esta avaliação foi executada a partir da aplicação do modelo matemático proposto em diversas topologias de rede, como foi apresentado nos estudos de caso.

Como foi mencionado anteriormente, os valores dos parâmetros empregados nos estudos de caso foram extraídos de [RUBINSTEIN 2001], permitindo uma comparação do resultados dos dois trabalhos. Esta comparação é possível particularmente para topologias semelhantes à apresentada no estudo de caso 1 (gerência de uma rede local através de um enlace de gargalo), que foi estudada em ambos os trabalhos. Neste caso, podemos afirmar que o modelo matemático aqui apresentado representa bem a simulação apresentada em [RUBINSTEIN 2001]. Os valores de tempo de resposta deste trabalho são um pouco menores, mas o comportamento das duas técnicas, AM e SNMP, é o mesmo. Esta diferença pode ser pelo fato das simulações considerarem o tempo relativo à plataforma do agente móvel e ao protocolo de transporte do SNMP, implementado pelo simulador ns (*Network Simulator*), que não foram considerados no modelo analítico. Além disso, [RUBINSTEIN 2001] considera um tamanho máximo de segmentação (MSS) de 1500 octetos. Este valor não gera fragmentação de mensagens no caso do SNMP, que são pequenas, mas em contrapartida prejudica o desempenho do agente móvel que passa a ser fragmentado após a primeira visita a um NE. Este tipo de detalhe do protocolo também não é contemplado pelo modelo matemático.

A grande maioria das WANs atuais, incluindo a Internet, adotam um roteamento dinâmico, muitas das vezes com rotas diferentes de entrada e saída, ou requisição e resposta. A possibilidade de diferentes roteamentos de requisição e resposta para cada segmento da rede está prevista no modelo matemático. Já o roteamento dinâmico não é previsto porque depende do algoritmo de roteamento

empregado. Mas, o modelo proposto pode ser utilizado em redes com este esquema de roteamento. Neste caso, o modelo deve ser aplicado uma vez para cada possível configuração de roteamento. Desta maneira, o modelo mostrará o desempenho de cada técnica de gerência em cada esquema de roteamento. É como se em cada possível esquema de roteamento fosse tirada uma fotografia da rede, e a configuração visualizada nesta fotografia fosse aplicada no modelo.

O modelo analítico, a princípio, não leva em conta o tempo referente à plataforma de agentes móveis utilizada. Mas, este tempo pode ser facilmente computado se ele for incluído no tempo de acesso à MIB para o AM. Nos estudos de caso apresentados, a tarefa de gerência executada é simples consistindo apenas de uma consulta a MIB. Neste caso, o único processamento que ocorre no NE é a efetiva consulta a MIB, e no caso do AM as operações da plataforma, como o recebimento e envio do agente. Já o processamento na NMS é exatamente o mesmo para as duas técnicas. No caso de tarefas de gerência mais complexas, que necessitam de uma consulta a várias variáveis da MIB que atendem a uma determinada condição, existe um maior processamento nos elementos de rede e um menor processamento na estação gerenciadora no paradigma de AM, comparado ao SNMP. Isso ocorre porque no caso do AM o filtro da consulta é processado nos NEs, enquanto no caso do SNMP todas as variáveis são enviadas para a NMS que processa o filtro. Esta situação pode ser facilmente retratada no modelo analítico, considerando que o parâmetro referente ao tempo de acesso a MIB para o AM irá, na verdade, computar todo o tempo de busca na MIB e o tempo de processamento das informações. Em acréscimo, o tempo referente ao processamento na NMS, tanto para o AM quanto para o SNMP, deve ser simplesmente somado ao tempo de resposta final de cada técnica. Assim, podemos afirmar que o modelo analítico pode ser utilizado para calcular o tempo necessário para executar qualquer atividade de gerência.

A avaliação de desempenho mostrou que a melhor técnica de gerência a ser empregada depende da topologia da rede em questão e de variáveis como a latência da rede, a quantidade de recursos a serem gerenciados e a tarefa de

gerência a ser executada. Podemos dizer que este resultado era esperado, já que este fato já tinha sido constatado em outros trabalhos [BALDI 1998][COSTA 1999][GRAY 2001] [RUBINSTEIN 2001].

5.1. Principais Contribuições

A maior contribuição deste trabalho é a possibilidade da utilização do modelo analítico para determinar a opção de gerência mais eficiente, entre SNMP e agente móveis, para qualquer topologia de rede e para qualquer operação de gerência. Assim, podemos dizer que o objetivo inicial foi atingido e o modelo analítico pode ser utilizado para verificar o desempenho de agentes móveis e SNMP na gerência de uma topologia genérica de rede.

O modelo analítico pode ser empregado ainda em uma implementação que aponte a melhor opção de gerenciamento dinamicamente e em tempo real. Assim, poderia ser implementado um sistema de gerenciamento híbrido, que possibilitasse a utilização de SNMP e de AM para executar as operações de gerência. Neste caso, o modelo seria utilizado para verificar a técnica mais eficiente para executar uma dada tarefa de gerência de acordo com os parâmetros atuais da rede e o sistema de gerenciamento poderia optar pela opção mais vantajosa em tempo real.

5.2. Trabalhos Futuros

Comparando os tempos de resposta obtidos pela aplicação do modelo analítico com os resultados obtidos pelas simulações apresentadas em [RUBINSTEIN 2001] e pela implementação proposta em [FIORESE 2001], observou-se que o comportamento apresentado pelo SNMP e pelo agente móvel foi o mesmo, mas com variações nos tempos de resposta. Essas variações podem ser em virtude de variáveis que não foram consideradas no modelo matemático proposto, como:

- ✓ Carga dos nós e segmentos

- ✓ Perda de dados nos nós e segmentos
- ✓ Tempos referentes a particularidades do protocolo SNMP, como segmentação de pacotes e protocolo de transporte.

Estas variáveis, bem como qualquer outra que se verifique importante, podem ser incluídas no modelo analítico para que ele retrate mais fielmente a realidade.

A eficiência dos agentes móveis pode ser prejudicada pelo seu tamanho crescente, principalmente quando o agente coleta um volume grande de informações. A possível solução para este problema seria forçar o retorno do AM para descarregar os dados na NMS depois de visitar um número determinado de recursos, ou simplesmente enviar os dados coletados depois deste número de visitas. O modelo analítico pode ser adaptado para estas possibilidades, podendo ainda determinar qual seria a quantidade ideal de recursos a serem visitados antes da descarga dos dados.

O modelo analítico proposto pode ser estendido para outras métricas, como por exemplo quantidade de informação trafegada na rede. A partir desta informação seria possível identificar a sobrecarga de informações de gerenciamento que cada técnica introduz na rede.

Outra possibilidade de evolução do trabalho seria a implementação do modelo analítico para que ele possa ser uma ferramenta prática de apoio à decisão do gerente da rede, ou até mesmo de um sistema de gerenciamento com suporte a agentes móveis e SNMP, como foi citado anteriormente.

O modelo analítico pode ainda ser adaptado para a utilização em aplicações em outras áreas, além da gerência de redes. Assim, o modelo analítico poderia ser utilizado para testar a viabilidade da utilização de agentes móveis em aplicações que utilizem comunicação em rede como, por exemplo, banco de dados, comércio eletrônico e pesquisas na web.

Referências Bibliográficas

[BALDI 1997] BALDI, M.; GAI, S.; PICCO, G. P. Exploiting Code Mobility in Decentralized and Flexible Network Management. Proceedings do the First International Workshop on Mobile Agents, páginas 13-26. Berlin, Germany. 1997

[BALDI 1998] BALDI, M.; PICCO, G. P. Evaluating the Tradeoffs of Mobile Code Design Paradigm in Network Management Applications. 20TH International Conference on Software Engineering (ICSE), páginas 146-155. Japão. Abril de 1998.

[LI 2001] LI, H.; YANG, S.; XI, H. BARAS, J. S. System Designs for Adaptive, Distributed Network Monitoring and Control. 7TH IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM'01). Seattle, Washington, EUA. Maio 2001.

[BIESZCZAD 1998] BIESZCZAD; A.; WHITE, T.; PARUEK, B. Mobile Agents for Network Management. IEEE Communications Surveys, Setembro, 1998.

[BOHORIS 2000] BOHORIS, C.; PAVLOU, G.; CRUICKSHANK, H. Using Mobile Agents for Network Performance Management. IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS). Honolulu, Havaí. Abril 2000.

[BUCHANAN] BUCHANAN, W.J.; NAYLOR M.; SCOTT, A.V. Enhancing Network Management using Mobile Agents. Proceedings Seventh IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer Based Systems (ECBS 2000). Páginas 218-266. IEEE Computer Society 2000.

[CASE 1996] CASE, J.; McCLOGHRIE, K.; ROSE, M. et al. Structure of management information for version 2 of the simple network management protocol. RFC 1902. Janeiro 1996.

[CHESS 1995] CHESS, D.; HARRISON, C.; KERSHENBAUM, A. Mobile Agents: Are They a Good Idea?. IBM Research Division, T.J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York. Março 1995.

[COSTA 1999] COSTA, T. Avaliação Analítica do Uso de Agentes Móveis na Gerência de Redes. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciências da Computação – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Outubro 1999.

[FIORESE 2001] FIORESE, A. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciências da Computação – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Novembro 2001.

[GAVALAS 2000] GAVALAS, D.; GREENWOOD, D.; GHANBARI, M.; O'MAHONY, M. Advanced Network Monitoring Applications Based on Mobile/Intelligent Agent Technology. Computer Communication Journal, Vol. 23, No 8, páginas 720-730. Abril 2000.

[GAVALAS 1999] GAVALAS, D.; GREENWOOD D.; GHANBARI M.; O'MAHONY, M. An Infrastructure for Distributed and Dynamic Network Management based on Mobile Agent Technology. Proceedings do IEEE International Conference on Communications (ICC'99), páginas 1362-1366. Junho 1999.

[GRAY 2001] GRAY, R. S.; KOTZ, D.; PETERSON, R. A.; BARTON, J.; CHACON, D.; GERKEN, P.; HOFMANN, M.; BRADSHAW, J.; BREEDY, M.; JEFFERS, R.; SURI, N. Mobile-Agent versus Client/Server Performance: Scalability in an Information-Retrieval Task. Proceedings of the Fifth IEEE

International Conference on Mobile Agents. Atlanta, Georgia, USA. Dezembro 2001.

[GRAY 2000] GRAY, R. S.; CYBEKO, G.; KOTZ, D.; RUS, D. Mobile agents: Motivations and State of the Art. Relatório Técnico (TR2000-365). Department of Computer Science, Dartmouth College. Hanover, NH, USA, 2000. Este relatório técnico é um capítulo do livro Handbook of Agent Technology, AAAI/MIT Press, 2000. Em edição.

[GOLDSZMIDT 1998] GOLDSZMIDT, G.; YEMINI, Y. Delegated Agents for Network Management. IEEE Communications Magazine 36/3, páginas 66-70. Março 1998.

[GOLDSZMIDT 1995] GOLDSZMIDT, G.; YEMINI, Y. Distributed management by delegation. 15TH International Conference on Distributed Computing. Páginas 333-340. Junho 1995

[LANGE 1999] LANGE, D.; OSHIMA, M. Seven Good Reasons for Mobile Agent. Communications of the ACM - Vol. 42, n.º 3, páginas 88-89. Março 1999.

[LIOTTA 1999] LIOTTA, A.; KNIGHT, G.; PAVLOU, G. On the Performance and Scalability of Decentralized Monitoring using Mobile Agents. Proceeding do 10th IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operational and Management (DSOM'99). Zurich, Suíça. Outubro 1999.

[LIOTTA 1998] LIOTTA A; KNIGHT G.; PAYLOU G.. Modelling Network and System Monitoring Over the Internet with Mobile Agents. Proceedings do IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS'98), páginas 303-312. New Orleans, USA. Fevereiro 1998

[MIAMI] Mobile Intelligent Agents for the Management of the Information Infraestruture (MIAMI) ACTS Project.

<http://www.fokus.gmd.de/research/cc/ecco/miami/>

[MOUEL 2000] LE MOUËL, F.; ANDRÉ, F. Distribution over Mobile Environments. ACM Symposium on Applied Computing (SAC2000). Villa Olmo, Como, Italy. Março de 2000.

[PAGUREK 2000] PAGUREK, B.; WANG Y., WHITE T. Integration of Mobile Agents with SNMP: Why and How. IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS). Honolulu, Havaí. Abril 2000.

[PERPETUUM] Perpetuum Mobile Procura Project. Network Management and Artificial Intelligence Laboratory. Carleton University, Canadá.

<http://www.sce.carleton.ca/netmanage/perpetuum.shtml>

[PULIAFITO 2000] PULIAFITO, A.; TOMARCHIO, O. Using Mobile Agents to Implement Flexible Network Management Strategies. Computer Communication Journal, Vol. 23, No 8, páginas 708 a 719. April 2000.

[PULIAFITO 1999] PULIAFITO, A.; TOMARCHIO, O. Advanced Network Management Functionalities through the use of Mobile Software Agents. 3rd International Workshop on Intelligent Agents for Telecommunication Applications (IATA'99). Estocolmo, Suíça. Agosto 1999.

[RIVALTA 2000] RIVALTA, P. C. Mobile Agent Management. Dissertação de Mestrado. Faculty of Engineering, Department of Systems and Computer Engineering, Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada. Outubro 2000.

[RUBINSTEIN 2001] RUBINSTEIN, M. G. Avaliação do Desempenho de Agentes Móveis no Gerenciamento de Rede. Tese de Doutorado. Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. Março 2001.

[RUBINSTEIN 1999] RUBINSTEIN, M.; DUARTE, O. Evaluating the Performance of Mobile Agents in Network Management. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECON), páginas 386-390. Rio de Janeiro. Dezembro 1999.

[RUBINSTEIN 1999] RUBINSTEIN, M.; DUARTE, O. Evaluating Tradeoffs of Mobile Agents in Network Management. Networking and Information Systems Journal, Vol. 2 N° 2, páginas 237-252. 1999.

[SAHAI 1998] SAHAI, A.; Morin, C. Enabling a Mobile Network Management (MNM) through Mobile Agents. Second International Workshop on Mobile Agents. Stuttgart, Alemanha. Setembro 1998.

[SAHAI 1998] SAHAI, A.; MORIN, C. Towards Distributed and Dynamic Network Management. Proceedings do IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS). New Orleans, USA. Fevereiro 1998

[SIMÕES 1999] SIMÕES P.; SILVA L.M.; FERNANDES, F.B. Integrating SNMP into a Mobile Agent Infrastructure. Proceedings do 10th IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operations & Management (DSOM'99). Zurique, Suíça. Outubro 1999.

[STALLINGS 1999] STALLINGS, W. SNMP, SNMPv2, SNMPv3, and RMON 1 and 2. Addison-Wesley, 1999. ISBN 0201485346.

[STALLINGS 1998] STALLINGS W. SNMPv3: A Security Enhancement to SNMP. IEEE Communications Surveys, Vol. 1, No. 1, September 1998.

[SUSILO 1998] SUSILO G.; BIESZKZAD, A.; PARUEK B. Infrastructure for Advanced Network Management based on Mobile Code. Proceedings do IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS'98), páginas 322-333. New Orleans, USA. Fevereiro 1998

[TANEMBAU 1997] TANEMBAUM, A. S. Redes de Computadores. 4º Edição. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1997.

[WHITE 1999] WHITE T.; PAGUREK B.; BIESZCZAD A. Network Modeling For Management Applications Using Intelligent Mobile Agents. Journal of Network and Systems Management, Special Issue on Mobile Agent-based Network and Service Management. Setembro 1999.

[WITTNER 2000] WITTNER, O.; HELVIK, B. E.. Simulating Mobile Agent Based Network Management using Network Simulator. Second International Symposium on Agent Systems and Applications and Fourth International Symposium on Mobile Agents (ASA/MA 2000). Zurique, Suíça. Setembro 2000.

[WONG 1999] WONG, D.; PACIOREK, N.; MOORE, D. Java-based Mobile Agents. Communications of the ACM – Vol. 42, n.º 3, páginas 92-102. Março 1999.

[YEMINI 1996] YEMINI, Y.; SILVA, S. Towards programmable networks. IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operations and Management. Itália. Outubro 1996.

[YEMINI 1993] YEMINI, Y. The OSI network management model. IEEE Communications, páginas 20-29. Maio 1993.

[YEMINI 1991] YEMINI, Y.; GOLDSZMIDT, G.; YEMINI, S. Network management by delegation. Second International Symposium on Integrated Network Management. Proceedings. Abril 1991.

[ZAPF 1999] ZAPF, M.; HERRMANN, K.; GEIHS, K. Decentralized SNMP Management with Mobile Agents. Sixth IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM). Boston, EUA. Maio 1999.