

Alocação de Recursos e Qualidade de Serviço para Aplicações Multimídia Distribuídas

*Carlos C. Goulart**

goulart@dpi.ufv.br

Departamento de Informática

Universidade Federal de Viçosa

36570-000 Viçosa-MG

José Marcos S. Nogueira†

jmarcos@dcc.ufmg.br

Departamento de Ciência da Computação

Universidade Federal de Minas Gerais

31270-010 Belo Horizonte, MG

Resumo

Este artigo apresenta um modelo de alocação dinâmica de recursos para garantir a Qualidade de Serviço (QoS) para aplicações multimídia em redes de computadores. Uma breve revisão dos conceitos relacionados à QoS para aplicações multimídia distribuídas é feita sob duas perspectivas distintas: ATM (Asynchronous Transfer Mode) e Internet. O modelo de alocação dinâmica de recursos se propõe a ser um modelo genérico que pode ser mapeado para as duas perspectivas apresentadas. Um relato das implementações feitas para ATM e para o protocolo RSVP é apresentado e os resultados obtidos são discutidos.

Abstract

This paper presents a model of dynamic resource allocation to guarantee Quality of Service (QoS) to distributed multimedia applications. A brief review of some concepts related to QoS for distributed multimedia applications is presented from two different points of view: ATM (Asynchronous Transfer Mode) and Internet. The model of dynamic resource allocation is intended to be a general model that can be mapped according to both points of view presented. A description of the implementations that were made to ATM and to RSVP is presented and the major results are revisited.

1 Introdução

As aplicações multimídia combinam diferentes tipos de informação tais como áudio, vídeo, texto, etc., que podem ser transmitidos em fluxos separados ou em conjunto, mas que necessitam sempre de sincronização. Para implementação de aplicações multimídia em ambientes de redes de computadores é necessário que alguns requisitos básicos sejam atendidos. Este requisitos estão relacionados principalmente com a capacidade da rede de transportar um grande volume de dados, com grande contribuição da informação de vídeo, e um conjunto de protocolos que torne este transporte eficiente.

*Professor Adjunto DPI/UFV

†Professor Adjunto DCC/UFMG

Nas primeiras redes de longa distância, as linhas de transmissão eram de baixa velocidade e a capacidade de processamento dos roteadores era suficiente para atender à demanda gerada pelas linhas de transmissão. O ponto de estrangulamento das redes era localizado nas linhas de transmissão. Com a evolução da tecnologia o estrangulamento nas redes mudou de lugar. Com o desenvolvimento da tecnologia de fibras óticas, as linhas de transmissão passaram a ser extremamente rápidas, enquanto que a capacidade de processamento dos roteadores não acompanhou essa evolução. Assim, foram necessárias modificações nos protocolos para que o processamento dos pacotes nos roteadores fosse feito de forma mais eficiente. Além disso, os protocolos mais comumente utilizados (Internet e OSI) não provêm as funcionalidades necessárias para o transporte de dados multimídia. Dentre suas principais deficiências podemos destacar: ausência de mecanismos de sincronização das diferentes informações; ausência de suporte para comunicação de grupo; e ausência de suporte para a definição de qualidade de serviço. Novas propostas de protocolos tentam resolver este tipo de problema. Em particular, duas das principais iniciativas estão sendo desenvolvidas pelas comunidades de Telecomunicações, dentro do ATM Fórum, e pela comunidade da Internet, no escopo do IETF (*Internet Engineering Task Force*).

O modo de transferência ATM (Asynchronous Transfer Mode) tem sido utilizado para implantar as principais redes de alta velocidade de longa distância em todo o mundo em combinação com SDH (Synchronous Digital Hierarchy) na camada física, que permite uma alta taxa de transmissão de bits. O ponto chave para a obtenção da alta velocidade de comutação no ATM foi a redução da complexidade do formato do pacote (chamado de célula). No caso do ATM, a célula possui um tamanho fixo de 53 octetos, sendo que o cabeçalho da célula é composto por apenas 5 octetos. O conjunto de funcionalidades definidas no cabeçalho foi bastante reduzido, se comparado com as funcionalidades de um pacote IP, o que ajuda a reduzir a complexidade do processamento de comutação das células ATM.

O trabalho desenvolvido pelo IETF tem como origem a definição da versão 6 do protocolo IP (IPv6), que teve como motivo principal o aumento da faixa de endereços IP. Assim, o formato do pacote IP foi alterado em relação ao formato da versão 4, que atualmente ainda é o formato mais utilizado na Internet. Além do aumento do campo de endereços de 32 para 128 bits, o cabeçalho da versão 6 foi simplificado em relação ao formato da versão 4. Esta simplificação busca também uma redução na complexidade de processamento dos pacotes IP. A solução pretendida pelo IETF considera a utilização do protocolo IPv6 e o desenvolvimento de roteadores rápidos para esta versão.

Atualmente tem-se um cenário onde ATM/SDH é de fato a forma utilizada para implantação de redes de alta velocidade de longa distância. Por outro lado a grande rede mundial, a Internet, utiliza o protocolo IP, ou seja, a grande maioria da informação que circula pelas redes possui o formato do pacote IP. Assim, a utilização de IP sobre ATM tornou-se uma necessidade para as aplicações do mundo real em redes de longa distância de alta velocidade. Novamente o antigo debate volta à tona, já que ATM oferece um serviço tipicamente orientado à conexão, enquanto que o protocolo IP oferece um serviço não orientado à conexão. O trabalho desenvolvido desenvolvido de tal forma que pudesse ser mapeado para o ATM e para os protocolos definidos pelo IETF. Esta opção foi feita pela constatação de que ambas as propostas têm seus méritos e que a co-existência será um fato. Tanto isto é verdade que diversas propostas para a utilização de IP sobre ATM

já foram apresentadas e continuam a ser discutidas no âmbito do ATM Fórum e do IETF.

O restante deste artigo encontra-se organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta uma breve discussão sobre qualidade de serviço e alocação de recursos, onde são apresentadas as visões do modelo ATM e do modelo Internet; na seção 3 o modelo de alocação dinâmica de recursos proposto é descrito em seus aspectos mais relevantes; as experiências de implementação do modelo de alocação de recursos proposto são descritas na seção 4. São relatadas as implementações feitas para ATM e para o protocolo RSVP do IETF; a seção 5 apresenta as conclusões relativas a este trabalho.

2 Qualidade de Serviço e Alocação de Recursos

Qualidade de Serviço (QoS - *Quality of Service*) é definida pela ISO como “o efeito coletivo do desempenho de um serviço, o qual determina o grau de satisfação de um usuário do serviço” [10]. Como pode ser observado, a definição da QoS é bastante genérica e deve ser melhor definida para o problema específico que se deseja tratar, ou ainda para a solução adotada para resolver o problema. No caso de sistemas telefônicos, por exemplo, um tempo médio menor do que 2 segundos para se ouvir o tom de discar pode ser um parâmetro concreto de QoS. No caso de aplicações multimídia alguns parâmetros de QoS podem possuir um componente subjetivo, já que qualidade de áudio e vídeo estão relacionadas com a percepção dos usuários que é uma medida variável.

Em um sistema multimídia distribuído, a qualidade de serviço pode ser definida como “a representação do conjunto de características qualitativas e quantitativas de um sistema multimídia distribuído necessário para alcançar a funcionalidade de uma aplicação”[16]. O processamento da QoS em um sistema multimídia distribuído envolve uma série de tarefas que podem ser resumidas nos seguintes passos: (1) Estimar os requisitos da QoS do ponto de vista do usuário; (2) Mapear as estimativas em parâmetros reais da QoS para os componentes do sistema envolvidos na aplicação multimídia; e (3) Negociar com os componentes do sistema para alcançar a QoS desejada.

A definição dos parâmetros de QoS depende da pilha de protocolos de comunicação que se está usando. Se os protocolos têm algum suporte para a definição da QoS isso facilita essa tarefa. A alocação de recursos é o meio através do qual se torna possível garantir a QoS das aplicações multimídia. A política de alocação de recursos pode determinar três tipos de garantia: melhor esforço (*best effort*), determinística e estatística. Para a garantia tipo melhor esforço nenhum recurso é alocado e, neste caso, não existe garantia alguma para a conexão. Na garantia determinística o valor máximo de cada recurso é alocado para a conexão de modo que a conexão sempre terá recursos disponíveis. A garantia estatística é uma solução de compromisso entre as duas primeiras. Neste caso a quantidade de recursos alocados corresponderá a algum valor entre o valor médio e o valor máximo. Esta estratégia utiliza o conceito de multiplexação estatística, onde uma determinada quantidade de recurso é alocada e pode ser compartilhada por várias conexões. Dessa forma, é possível admitir um número maior de conexões do que o número de conexões da estratégia de garantia determinística. Para muitas aplicações multimídia esta solução de compromisso é interessante pois a garantia determinística não é necessária.

Outra classificação das estratégias de alocação de recursos é quanto ao momento da alocação. A alocação estática é feita no momento da inicialização do serviço e a quantidade

de recursos alocada não se altera durante todo o serviço. Na alocação dinâmica os recursos podem ser alocados e liberados durante todo o tempo do serviço. A vantagem de alocação dinâmica é que ela pode otimizar a utilização dos recursos da rede. Entretanto, é necessário o envio de pacotes de renegociação e o processamento destes pacotes a cada alteração na quantidade de recursos alocada. Para serviços não orientados à conexão, a estratégia de alocação dinâmica é a mais adequada. Para serviços orientados a conexão, a alocação estática tende a ser a mais apropriada, embora a alocação dinâmica também possa ser usada. Uma discussão detalhada sobre QoS para aplicações multimídia distribuídas pode ser encontrada em [16]

2.1 ATM e Qualidade de Serviço

A tecnologia ATM se propõe a servir de suporte para uma larga variedade de serviços e aplicações. O controle de tráfego em uma rede ATM está relacionado com a habilidade da rede de fornecer Qualidade de Serviço (QoS) para suas aplicações. Assim, a QoS está diretamente ligada ao gerenciamento de tráfego. A função primária do gerenciamento de tráfego é evitar que congestionamentos ocorram, o que por si só já inviabilizaria qualquer conceito de QoS em uma rede. Uma função adicional é promover o uso eficiente dos recursos da rede.

Um escopo para o gerenciamento e controle de tráfego e congestionamento em redes ATM é definido pelo ATM Fórum em [1]. Esse gerenciamento e controle incluem a definição de funções genéricas, tais como:

- Controle de Admissão de Conexões (*CAC – Connection Admission Control*): conjunto de ações tomadas pela rede na fase de estabelecimento de uma conexão para verificar se a mesma pode ser aceita ou se deve ser rejeitada (ou se um pedido de realocação pode ser aceito);
- Controles de realimentação (*Feedback controls*): controle adotado pela rede e pelos sistemas terminais de modo a regular o tráfego submetido às conexões ATM de acordo com o estado de carga da rede;
- Controle de Parâmetros de Uso (*UPC – Usage Parameter Control*): conjunto de ações tomadas pela rede para monitorar e controlar o tráfego;
- Controle de prioridade de Célula: permite que em determinadas situações células marcadas como de baixa prioridade possam ser descartadas;
- Adequação de Tráfego (*Traffic Shapping*): pode ser usado para mudar uma característica do tráfego;
- Gerência de Recursos da Rede (*NRM – Network Resource Management*): permite uma separação lógica das conexões de acordo com características do serviço;
- Descarte de Quadro (*Frame Discard*): permite o descarte no nível de quadros (blocos lógicos de células ATM) ao invés do descarte no nível de células;
- Controle de Fluxo ABR (*ABR Flow Control*): pode ser utilizado para compartilhar adaptativamente a banda passante entre os usuários.

A definição de Qualidade de Serviço (QoS) na camada ATM é feita através da definição dos parâmetros de QoS. Um ou mais destes parâmetros podem ser definidos por conexão para atender aos objetivos de desempenho requisitados pelo usuário e oferecidos pela rede. Os parâmetros de QoS definidos são divididos em parâmetros negociados e não negociados. Os parâmetros que podem ser negociados são:

- Variação de atraso de célula pico-a-pico (*Peak-to-peak Cell Delay Variation (peak-to-peak CDV)*): este parâmetro refere-se à variação máxima entre o menor e o maior atraso fim-a-fim para o transporte de células;
- Atraso de Transferência de Célula (*Maximum Cell Transfer Delay (maxCTD)*): refere-se ao atraso máximo fim-a-fim. A ocorrência deste atraso está associado com uma probabilidade definida em função do valor do maxCTD;
- Proporção de Células Perdidas (*Cell Loss Ratio*): que é definido para uma conexão como a relação entre o número de células perdidas e o total de células transmitidas.

Os parâmetros de QoS não negociados estão relacionados com as características dos meios físicos ou dos equipamentos usados na transmissão e por isso não podem ser definidos pelo usuário do serviço. Os parâmetros de QoS não negociados são: Proporção de Blocos de Células com número Elevado de Erros (*Severely Errored Cell Block Ratio (SECBR)*); Proporção de Células com Erro (*Cell Error Ratio (CER)*); e Taxa de Células inseridas erroneamente (*Cell Misinsertion Rate (CMR)*).

A arquitetura atual do serviço ATM, definida pelo ATM Fórum, especifica cinco categorias de serviço:

1. Taxa de Bits Constante (*CBR – Constant Bit Rate*): usado por conexões que requerem uma quantidade fixa de banda passante, que fica disponível durante todo o tempo da conexão. Este tipo de serviço é caracterizado pela taxa de pico de célula (*Peak Cell Rate*), sendo direcionado para aplicações de tempo real com restrições muito fortes relacionadas com a variação no atraso. O tipo de garantia oferecida pelo serviço CBR é determinística;
2. Tempo Real com Taxa de Bits Variável (*rt-VBR – Real-Time Variable Bit Rate*): usado para conexões de tempo real com restrições de atraso e de variação de atraso. Estas conexões são caracterizadas em termos da taxa de pico de células, taxa média de células (*Sustainable Cell Rate*) e tamanho máximo de rajada (*Maximum Burst Size*). A rajada corresponde aos períodos de tempo onde a conexão transmite usando taxas maiores do que sua taxa média. A garantia para os parâmetros relacionados com o atraso deve ser determinística. A garantia para os demais parâmetros pode ser estatística;
3. Tempo não Real com Taxa de Bits Variável (*nrt-VBR – Non-Real-Time Variable Bit Rate*): direcionado para aplicações de tempo não real com tráfego de rajada caracterizado em termos da taxa de pico de células, taxa média de células e tamanho máximo da rajada. Não são impostas restrições de atraso. O tipo de garantia oferecida pelo serviço nrt-VBR é estatística;
4. Taxa de Bits não Especificada (*UBR – Unspecified Bit Rate*): serviço voltado para conexões sem característica de tempo real. A rede pode aplicar ou não a taxa de pico de células para as funções de admissão de conexões e de controle de parâmetros de uso. A classe de serviço UBR é indicada para conexões com garantia do tipo melhor esforço;
5. Taxa de Bits Disponível (*ABR – Available Bit Rate*): é uma categoria de serviço para a qual o estado de carga da rede pode influir em futuros estabelecimentos de conexão. O serviço ABR não é voltado para aplicações de tempo real. No estabelecimento da conexão o usuário deve informar os valores de taxa de pico de célula e a taxa mínima de célula (*MCR – Minimum Cell Rate*). A garantia oferecida pelo serviço ABR é determinística para taxas menores ou iguais a MCR ou tipo melhor esforço para taxas maiores do que MCR.

Um documento do ITU-T [11] também define 5 classes de serviço para as redes de banda larga baseadas em ATM, porém com algumas diferenças em relação às definições do ATM Fórum. As classes de serviço CBR (*Constant Bit Rate*) e VBR (*Variable Bit Rate*) equivalem às classes de serviço DTR (*Deterministic Bit Rate*) e SBR (*Statistical Bit Rate*), respectivamente. As classes ABR (*Available Bit Rate*) e UBR (*Unspecified Bit Rate*) são definidas da mesma forma. A classe de serviço ABT (*ATM Block Transfer*) é definida apenas no documento [11].

- Transferência de Bloco ATM (*ABT – ATM Block Transfer*): introduz o conceito de bloco de células e transporta um bloco de células completo com taxa de perda de célula baixa e com pequena variação no atraso. O serviço ABT utiliza a alocação de banda sob demanda para a transmissão de cada bloco. No estabelecimento da conexão nenhuma banda é alocada. Existem dois tipos de serviço ABT: (1) ABT/DT (*ABT Delayed Transmission*) onde a transmissão do bloco só é iniciada após a confirmação da alocação da banda passante e, (2) ABT/IT (*ABT Immediate Transmission*) onde a transmissão do bloco é imediata e em caso de não existência de banda disponível o bloco é descartado pela rede.

Com exceção do serviço ABT, todas as classes de serviço definidas para o ATM utilizam a alocação estática de recursos no momento do estabelecimento da conexão. Este fato é explicado pela filosofia do desenvolvimento do ATM que é um serviço tipicamente orientado a conexão.

2.2 Qualidade de Serviço na Internet

Os protocolos Internet tradicionalmente oferecem o tipo de garantia melhor esforço, dentro da filosofia de serviço tipo datagrama. Apesar do IP versão 6 possuir suporte para a definição de qualidade de serviço, ele continua sendo um protocolo de roteamento e não implementa mecanismos de QoS. Neste caso a qualidade de serviço deve ser oferecida pelo protocolo acima do IP. Algumas propostas estão sendo analisadas pelos grupos de trabalho do IETF [5]. Dentre estas propostas submetidas, o *Reservation Protocol (RSVP)* [6] vem se destacando como um possível protocolo a ser usado para oferecer a QoS na Internet. O protocolo RSVP é usado por um *host*, representando uma conexão, para requisitar da rede uma QoS específica para um fluxo de dados particular. O protocolo RSVP também é usado pelos roteadores para enviar requisições de controle de QoS para todos os nodos no caminho da conexão e para estabelecer e manter o estado que permita oferecer o serviço requisitado.

O protocolo RSVP opera sobre o protocolo IP (versão 4 ou versão 6), ocupando o lugar do protocolo de transporte na pilha de protocolos. Entretanto, o RSVP não transporta dados da aplicação sendo um protocolo de controle da Internet como o IGMP, ICMP, ou protocolos de roteamento. RSVP não é um protocolo de roteamento, mas foi projetado para ser utilizado com protocolos de roteamento ponto-a-ponto e ponto-a-multiponto atuais e futuros. O RSVP está relacionado somente com a QoS daqueles pacotes que são encaminhados de acordo com o roteamento.

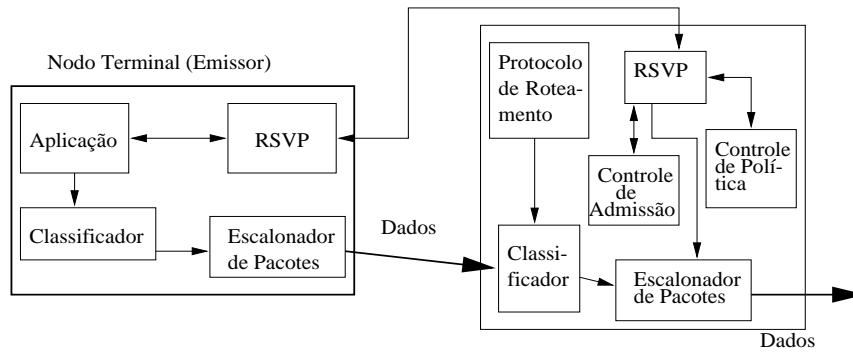


Figura 1: Arquitetura do RSVP

De modo a acomodar grupos grandes, com inclusões e exclusões dinâmicas e receptores com requisitos diferentes, o RSVP deixa a responsabilidade pela requisição da QoS para os receptores. Os pedidos de QoS são encaminhados no caminho inverso do fluxo de dados. Em cada nó, um pedido de QoS é passado para dois módulos de decisão local: controle de admissão e controle de política. O controle de admissão verifica se existem recursos para atender à solicitação de QoS e o controle de política determina se o usuário possui permissão para fazer a requisição. Se um dos dois controles falha a requisição não será atendida. A figura 1 mostra uma visão dos blocos componentes do RSVP em um nó terminal e em um nó intermediário.

Em cada nó intermediário duas ações podem ser tomadas após a chegada de uma requisição de QoS:

1. fazer uma reserva: caso o controle de admissão e de política sejam satisfeitos a especificação de fluxo é usada para definir parâmetros no escalonador de pacotes e a especificação de filtro é usada para definir a QoS para a conexão. Em caso de falha em um dos controles a reserva é rejeitada e uma indicação de erro é encaminhada em sentido reverso;
2. encaminhar o pedido para o próximo nó: a requisição é encaminhada em direção ao emissor. Isto acontece quando a reserva de recursos do passo 1 é feita com sucesso.

A requisição de reserva que é encaminhada para o próximo nó no caminho pode ser diferente da requisição recebida devido à função de junção. No caso das transmissões *multicast*, o protocolo RSVP apresenta uma característica de escalabilidade bastante interessante, permitindo que novos usuários se juntem a uma transmissão já em andamento. Outra característica importante é a economia de recursos obtida com o esquema de reserva feita pelos receptores. Se dois ou mais usuários estiverem requisitando recursos para atender a uma mesma transmissão de grupo, na parte do caminho que for comum a eles será necessário fazer a reserva de recursos para atender a apenas um usuário (função de junção).

3 O Modelo de Alocação Dinâmica de Recursos

O modelo de renegociação dinâmica proposto em [4] usa como base a definição de QoS mínima. O nível de QoS é especificado em função de valores definidos para os parâmetros de qualidade de serviço. A negociação inicial deve levar em conta o valor mínimo especificado, bem como os valores de pico e o valor inicial dos parâmetros de QoS de cada conexão. No modelo proposto, a aproximação inicial considera apenas os valores de banda

passante alocada para cada conexão.

Os outros parâmetros que devem ser considerados são ciclos de CPU e atraso de transmissão fim-a-fim. A reserva de ciclos de CPU está diretamente relacionada com a capacidade do sistema operacional do nodo local de fazer a reserva deste tipo de recurso. No caso do atraso de transmissão, este valor é considerado como um limite inferior para definir o espaço de tempo entre duas requisições de renegociação consecutivas, aparecendo de forma implícita no modelo proposto. Assim, um pedido de conexão deve especificar dois valores para a banda passante:

1. O valor mínimo de banda passante a ser alocado de forma permanente para a conexão, referenciado nas expressões a seguir como *banda_mínima_i*, onde *i* indica uma conexão particular;
2. O valor inicial de banda passante que será usado juntamente com o valor mínimo para definir a aceitação em cada nodo do sistema, referenciada nas expressões a seguir como *banda_inicial_i*.

Idealmente, em caso de sucesso de todas as renegociações, o valor de *banda_alocada* para uma dada conexão será igual ao valor da taxa de pico para o próximo intervalo de tempo. A definição do intervalo de tempo entre renegociações deve ser função do tempo de atraso fim-a-fim para a conexão, de tal forma que o processo de renegociação dos valores alocados possa ser feito antes que o novo período se inicie. O algoritmo de controle de admissão de conexão e o algoritmo de alocação dinâmica de recursos são computados de maneira distribuída no sistema. Assim, a computação deve ser feita em cada nodo *j* por onde uma conexão *i* vai passar. O critério para aceitar uma conexão é baseado na seguinte comparação:

```
if (banda_total(j) - banda_alocada(j)) >= banda_inicial(i)
    aceita_conexao(i);
else rejeita_conexao(i);
```

onde:

$$banda_alocada_{(j)} = \sum_{i=1}^n \begin{cases} banda_mínima_{(i)}, & \text{if } banda_corrente_{(i)} < banda_mínima_{(i)} \\ banda_corrente_{(i)}, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

banda_total_(j) é a capacidade total de um canal do nodo(j) onde a conexão(i) está alocada e *banda_corrente_(i)* é a banda passante em uso pela *conexão_(i)*.

O valor de *banda_alocada* é calculado para todas as *n* conexões ativas do nodo *j*. Quando uma conexão está usando menos recursos do que a quantidade permitida pela reserva mínima, o valor computado corresponde ao valor da *banda_mínima*, que é maior do que o valor de *banda_corrente*. Para aceitar ou rejeitar um pedido de renegociação, a comparação é feita usando o valor de banda que está em uso (*banda_corrente*) no momento em que o pedido é recebido. Para cada método de alocação (pico, média ou dinâmica) a banda alocada terá um valor diferente, enquanto que o valor de banda corrente poderia ser o mesmo (isto no caso do mesmo conjunto de conexões ter sido aceito pelos três métodos). O critério para aceitar uma renegociação considera a banda disponível, conforme a seguinte comparação:

```
if (banda_total(j) - banda_corrente(j)) >= banda_requisitada(i)
    aceita_renegociacao;
else rejeita_renegociacao;
```


onde:

$$banda_corrente_{(j)} = \sum_{i=1}^n banda_corrente_i.$$

Neste caso, o valor de banda disponível será sempre maior ou igual do que no caso de um pedido de nova conexão. Isto ocorre porque o valor de *banda_corrente* será sempre menor ou igual do que o valor de *banda_alocada*. O conceito de recursos disponíveis em cada um dos dois casos é diferente. Se uma ou mais conexões estiverem usando um valor de banda passante (*banda_corrente*) menor do que o valor de *banda_mínima*, então existirá uma certa quantidade de recursos que poderá ser usada pelo algoritmo de alocação de recursos e que não poderá ser usada para a aceitação de uma nova conexão.

O modelo proposto usa o valor mínimo da QoS como uma reserva estratégica de recursos para prover um nível de sucesso para os futuros pedidos de renegociação. Quando a quantidade requerida de recursos por uma conexão é maior do que o seu nível mínimo, o valor alocado é igual ao valor que está sendo usado (*banda_corrente*). Se o valor requerido de banda é menor do que o nível mínimo, o valor alocado é igual ao nível mínimo especificado na negociação inicial. Assim, a quantidade disponível de recursos para a renegociação vai ser sempre maior ou igual à quantidade disponível para os novos pedidos de conexão. Essa situação é ilustrada nas figuras 2.a e 2.b para uma dada conexão *i*.

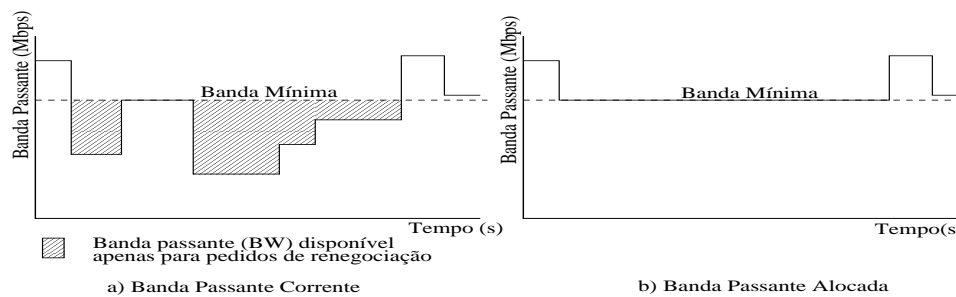


Figura 2: Reserva de QoS Mínima

Dessa forma o uso do nível mínimo da QoS serve para limitar o número de conexões aceitas e ao mesmo tempo aumenta a chance de sucesso para as renegociações, uma vez que uma parcela dos recursos é reservada exclusivamente para uso das renegociações. O conceito de recurso disponível é diferente do ponto de vista de pedidos de renegociação e de pedidos de novas conexões. Assim, o esquema de reserva de QoS mínima define uma prioridade implícita dos pedidos de renegociação sobre os pedidos de novas conexões.

O modelo proposto foi simulado para um serviço de vídeo com conexões com duração variável e taxa de bits do tipo VBR (*Variable Bit Rate*). O modelo proposto foi comparado com método de alocação estática utilizando como valor de banda alocada um valor entre a taxa de pico e o valor da taxa média, de modo a oferecer também uma garantia estatística. Para o esquema proposto de alocação dinâmica de banda passante um valor limite para a reserva de banda (*Res_max*) foi fixado. Neste caso, quando o valor limite é igual a 4,0 Mbps, significa que as conexões podem reservar de zero a 4,0 Mbps. A figura 3 mostra uma comparação entre o método de alocação dinâmica (com diferentes valores de limite para a reserva) e o método de alocação pela média. O percentual de rejeição de renegociações, que representa a perda de pacotes devido a ausência de recursos, foi determinada para diferentes valores de carga da rede (número de conexões requisitadas).

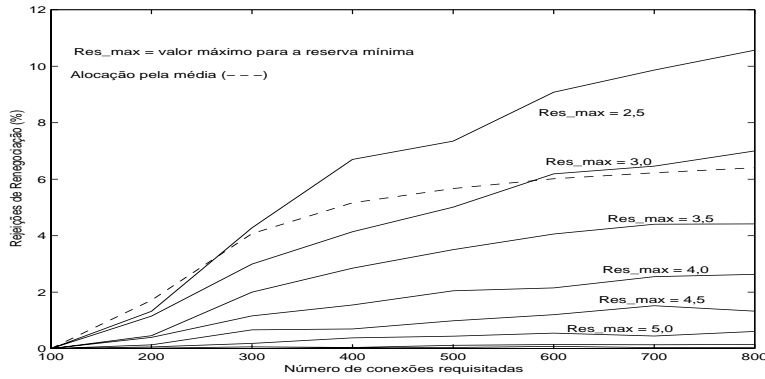


Figura 3: Comparação entre alocação dinâmica e alocação pela média

De um modo geral, os resultados obtidos nas simulações mostraram que para situações onde a carga de tráfego é baixa ou média os dois modelos possuem um comportamento semelhante, ou seja, ambos admitem o mesmo número de conexões e a taxa de perda de informação devido a ausência de recursos é desprezível. Entretanto, quando a carga de tráfego é alta o modelo de alocação dinâmica oferece um maior nível de garantia para as conexões aceitas. O método de alocação dinâmica restringe o número de conexões aceitas mais rápido do que o método de alocação estática, mas garante uma taxa de perda de informação abaixo de 1%. Os resultados preliminares da simulação podem ser encontrados em [3] enquanto que os resultados completos podem ser vistos em [4].

4 Implementação do Modelo de Alocação de Recursos

Esta seção apresenta duas alternativas para a implementação do modelo proposto em [4]. As alternativas incluem os protocolos da Internet e o ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). A escolha feita baseou-se na tendência atual do desenvolvimento de redes de alta velocidade. ATM tem sido largamente utilizado como a solução para a implantação das redes de banda larga. Uma solução bastante utilizada é adoção de uma pilha de protocolos usando IP sobre ATM. Esta solução contempla a maioria das aplicações Internet que utilizam o protocolo IP para fazer o roteamento de pacotes e provê uma capacidade de transmissão bastante alta devido à capacidade dos comutadores ATM em processar as células ATM.

4.1 Implementação usando ATM

Uma alternativa para a implementação do esquema de alocação dinâmica de banda passante é utilizando os serviços disponíveis na UNI (*User Network Interface*) com a definição de primitivas de serviço e de PDUs (*Unidades de Dado do Protocolo*) associadas às primitivas. Diniz, Goulart e Nogueira descrevem em seu trabalho a implementação de um serviço de negociação dinâmica de banda passante em uma rede ATM [2]. A arquitetura implementada para a negociação de banda passante é mostrada na figura 4.

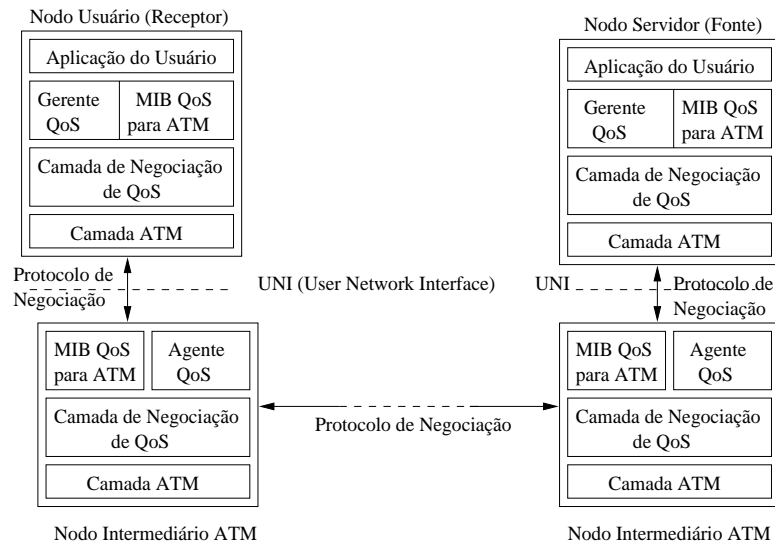


Figura 4: Arquitetura de Renegociação para ATM

O principal objetivo da Camada de QoS implementada é fornecer à camada de aplicação multimídia primitivas de serviço que permitam a utilização da alocação dinâmica de banda passante em uma rede ATM. Para definição e implementação da camada de negociação dinâmica de QoS foram utilizados os conceitos de serviço e protocolo, seguindo o modelo de informação OSI.

As primitivas de serviço oferecidas ao usuário são: Estabelecer_Conexão (Parâmetros), Mais_Recursos (Id_Conexão, Parâmetros), Menos_Recursos (Id_Conexão, Parâmetros) e Terminar_Conexão (Id_Conexão). A estrutura interna da camada de QoS é mostrada na figura 4. Cada primitiva executa uma tarefa específica dentro do serviço de negociação dinâmica de QoS. A definição destas primitivas é a seguinte.

- **Estabelecer Conexão.** Uma aplicação de usuário solicita o estabelecimento de uma conexão. O pedido deve ser analisado por todos os nodos no caminho daquela conexão. Se cada nodo possuir recursos disponíveis, o pedido será aceito e os recursos necessários serão alocados;
- **Solicitar Mais Recursos.** Uma aplicação pode solicitar que mais recursos sejam alocados para ela. Segue o mesmo raciocínio da primitiva Estabelecer_Conexão. Se o nodo cliente puder aceitar o pedido, ele aloca recursos e envia o pedido para o próximo nodo. Senão o pedido é rejeitado e contabilizado como tal. Um pedido é considerado como aceito quando o nodo cliente receber uma PDU confirmando a aceitação do pedido por todos os nodos;
- **Solicitar Menos Recursos.** Uma aplicação informa que possui recursos sobrando e que pode liberar uma determinada quantidade. Assim, os parâmetros da MIB são atualizados em cada nodo intermediário, subtraindo-se os valores dos recursos até um valor mínimo. O pedido é passado para o próximo nodo. O esquema garante um valor mínimo de recursos para cada conexão. Este valor é indicado no estabelecimento da conexão;
- **Terminar Conexão.** Uma aplicação solicita o término de uma conexão. Em cada nodo a MIB deve ser atualizada, liberando os recursos alocados para a conexão que está sendo finalizada. O pedido é passado para o próximo nodo.

A versão utilizada da UNI não permite a renegociação dos parâmetros de QoS durante o tempo da conexão. Assim, o serviço de alocação dinâmica de recursos foi implementado através do serviço CBR. Para cada intervalo entre renegociações, o valor da taxa de pico é atualizado, uma nova conexão CBR é estabelecida com este novo valor, e os valores alocados para a conexão atual são liberados. Este controle foi feito por um algoritmo de controle de admissão de conexões implementado em uma estação de trabalho e não utilizando o algoritmo do comutador ATM. Isto foi necessário porque o comutador disponível possuía uma arquitetura fechada, na qual não se pode alterar o programa de controle de admissão de conexões (CAC). Portanto, a estrutura de execução real do esquema desenvolvido não corresponde exatamente à estrutura de execução proposta para o protótipo.

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Redes de Alta Velocidade da Universidade Federal de Minas Gerais. Os equipamentos utilizados na implementação do trabalho, todos seguindo a recomendação do padrão UNI 3.0 do ATM Fórum, foram:

- um comutador LightStream 100 ATM (A100 HyperSwitch) da Cisco com suporte para 16 linhas ATM a 155Mbps.
- uma estação de trabalho Sparc 5 com placa ATM do tipo SBus da Sun de 155Mbps. A placa ATM é ligada ao comutador ATM através de fibra ótica;
- duas estações de trabalho Sun Ultra 1 com placas ATM do tipo SBus da Sun de 155Mbps. As placas ATM são ligadas ao comutador ATM através de cabo par trançado categoria 5.

De um modo geral os resultados obtidos com implementação para ATM foram compatíveis com os resultados da simulação, consideradas as diferenças existentes entre os experimentos. No caso das simulações foram considerados nodos com diferentes capacidades e o número de conexões requisitadas era bastante variado, em função da capacidade do nodo, para caracterizar diferentes cargas de trabalho. A figura 5 mostra o comportamento do percentual de rejeições em função do valor máximo da reserva de banda passante permitida por conexão. Assim como nas simulações, o aumento da faixa de reserva na implementação do serviço de renegociação reduz consideravelmente a taxa de rejeição de pedidos de renegociação. Os resultados completos relativo à implementação podem ser obtidos em [2]. Posteriormente o serviço de alocação dinâmica de banda passante foi utilizado na implementação de um serviço de transmissão de vídeo usando a codificação MPEG [13, 14].

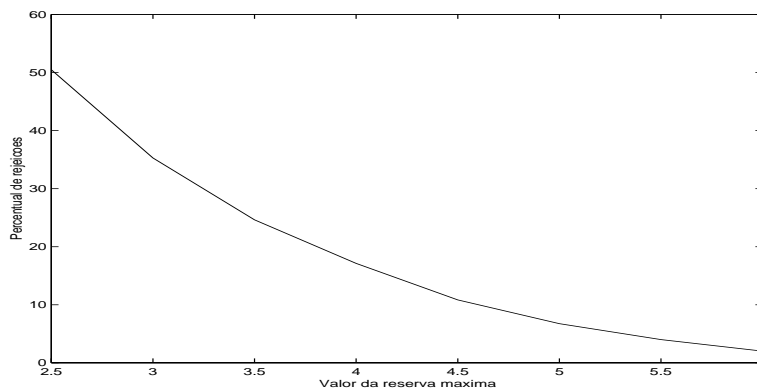


Figura 5: Influência da reserva no percentual de rejeições

4.2 Implementação usando o RSVP

O protocolo RSVP utiliza duas classes de mensagens principais: (1) *Resv* que é utilizada pelos receptores para fazer as requisições de QoS; e *Path* que é enviada pelo emissor para manter e atualizar as informações de roteamento. Como o RSVP foi definido para ser utilizado com diferentes protocolos de nível inferior, o formato de suas mensagens é definido de maneira genérica. Ao invés de especificar formatos baseados em campos, a especificação é feita em termos de objetos.

A figura 6 mostra o formato geral das mensagens do RSVP. O Cabeçalho Comum possui um formato fixo para todas as mensagens. O campo *Vers* identifica o número de versão do protocolo. O campo *Flag* ainda está sem uso definido. O campo *Msg Type* identifica o tipo de mensagem (*Resv* = 1). *RSVP Checksum* é utilizado para a detecção de erros. O campo *Send_TTL* identifica o tempo de vida da mensagem na origem. E o campo *RSVP Length* especifica o tamanho total da mensagem, incluindo o cabeçalho.

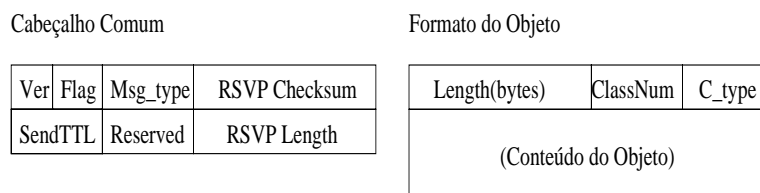


Figura 6: Formato da Mensagem RSVP

O restante da mensagem (corpo) possui tamanho variado e é composto por objetos com tipo definido. O formato de cada objeto, por sua vez, é constituído por um cabeçalho (4 octetos) e o conteúdo do objeto que possui tamanho variável. Os campos do cabeçalho especificam o tamanho total do objeto em octetos (*Length*), a classe do objeto (*Class_Num*), como por exemplo uma especificação de fluxo (*FLOWSPEC*), e o tipo do objeto que deve ser único dentro de uma classe. O formato do conteúdo depende da classe e do tipo de objeto considerado.

O RFC 2210 do IETF [7] especifica o formato de objetos para serem utilizados dentro da visão de serviços integrados na Internet. O modelo adotado para a QoS na Internet permite a especificação de dois tipos de serviço: (1) o serviço de QoS garantida (*Guaranteed QoS*) [9] onde a garantia oferecida é determinística; e (2) o serviço que oferece uma garantia estatística para a QoS (*Controlled Load*) [8]. O formato definido para os objetos podem ser utilizados com qualquer um dos dois tipos de serviço.

Três tipos de objetos são definidos para representar as três visões diferentes de QoS que podem existir no sistema. Estes três objetos podem ser utilizados para a implementação do serviço de alocação dinâmica de banda passante, conforme descrito a seguir:

1. *SENDER_TSPEC* contém a especificação do tráfego que o emissor vai gerar, ou que poderia gerar caso a rede e os receptores tenham recursos para suportá-lo. Esta mensagem pode ser utilizada para que a fonte de tráfego (emissor) informe as características do tráfego a ser gerado. No caso de uma aplicação de comunicação de grupo, a informação pode ser codificada conforme a definição apresentada em [7], onde o tráfego é caracterizado por informações tais como, taxa de pico, taxa média, tamanho de rajada, etc, para um controle de taxa baseado no algoritmo do balde furado;

2. *ADSPEC* carrega informações que podem ser geradas pelo emissor do fluxo de dados ou pelos nodos intermediários, para serem entregues ao(s) receptor(es). A informação contida neste objeto pode ser utilizada e alterada pelos nodos intermediários. Estas mensagens podem ser geradas por um nodo intermediário ou pelo emissor para indicar a falta de recursos. Esta mensagem é enviada para o receptor e serve para informar aos nodos que já haviam alocado recursos para um determinado pedido que parte dos recursos reservados podem ser liberados. Este tipo de mensagem é utilizado, também, para atualizar informações de roteamento;
3. *FLOWSPEC* possui informações relativas às reservas de recurso que podem ser feitas pelos receptores. Estas mensagens são geradas pelos receptores com base nas informações recebidas em *SENDER_TSPEC*. Os valores contidos neste objeto também podem ser utilizados e atualizados nos nodos intermediários antes de chegar ao emissor do fluxo de dados. Estas mensagens serão mandadas em direção ao emissor para que a reserva de recursos seja feita ao longo do caminho. Os nodos intermediários devem processar a informação contida em *FLOWSPEC* para fazer a alocação ou liberação de recursos. No caso de inexistência de recursos, o nodo intermediário pode alterar as informações de *FLOWSPEC* antes de encaminhá-lo para o próximo nodo no caminho. No caso de inexistência de recursos, o nodo intermediário deve gerar também uma mensagem do tipo *ADSPEC* e enviá-la para o receptor de modo que recursos previamente alocados possam ser liberados

A filosofia do RSVP é bastante semelhante à do modelo de alocação dinâmica de recursos. Ambos utilizam a idéia de atualização do estado de carga que será demandado pela rede nos próximos instantes de tempo. O modelo de alocação dinâmica reforça a idéia de reserva baseada na qualidade mínima admitida (Reserva mínima). No caso do protocolo RSVP toda solicitação, seja por mais recursos ou apenas para confirmar a quantidade de recursos atual, traz o valor de banda que será necessária no próximo intervalo de tempo. Assim, é necessário que seja feita uma pequena alteração nas requisições de reserva no ponto de origem. Deve ser feita uma comparação entre o valor solicitado e a taxa mínima. Sempre que o valor solicitado for menor do que a taxa mínima, a descrição do fluxo deve ser alterada para que seja solicitada a taxa mínima. Esta solução é facilitada pelo mecanismo de junção do RSVP.

Outro detalhe importante é garantir que as requisições de recursos sejam geradas em intervalos de tempo que possam garantir a manutenção do *soft state* definida pelo RSVP. Caso o intervalo entre duas requisições por recursos seja maior do que o intervalo limite definido pelo RSVP, requisições extras devem ser geradas no meio do intervalo. Estas requisições extras devem ter os valores idênticos ao da última requisição, apenas para garantir que a reserva feita não será cancelada.

O esquema de alocação dinâmica de recursos foi implementado como parte do projeto de final de curso de graduação no DCC/UFMG [15]. Para a implementação foi utilizado o código fonte do RSVP disponível no *Information Sciences Institute* através do endereço <http://www.isi.edu/div7/rsvp/>. Existem três versões públicas do código do protocolo RSVP para os sistemas operacionais Solaris, FreeBSD e IRIX. A versão utilizada foi para o sistema operacional Solaris 2.5.1. A utilização do RSVP para a implementação do esquema de alocação dinâmica de banda passante mostrou que o esquema pode trazer benefícios com relação ao aumento da taxa de utilização de recursos, ao mesmo tempo em que fornece uma garantia estatística em níveis superiores a 97%. A maior limitação

encontrada nesta primeira implementação foi a incompatibilidade do sistema operacional com as funções de reserva de recurso do RSVP. A versão utilizada do sistema operacional não permite executar a reserva de recursos no seu núcleo (*kernel*). Assim, os pedidos de reserva de recurso são simulados. Informações detalhadas sobre a implementação e os resultados alcançados podem ser vistos em [12, 15].

5 Conclusões

As aplicações multimídia distribuídas demandam uma série de requisitos de uma rede de computadores para a sua adequada implementação. O conceito de Qualidade de Serviço associado às aplicações multimídia distribuídas requer que as tarefas de reserva e alocação de recursos na rede sejam feitas de forma a garantir a existência de recursos durante todo o tempo de uma conexão. Diferentes soluções tem sido apresentadas para resolver o problema de garantir os requisitos de QoS para as aplicações multimídia em redes. Particularmente tem se destacado as propostas desenvolvidas no âmbito do ATM Fórum e do IETF.

Este trabalho apresentou de um modelo de alocação dinâmica de recursos para garantir a QoS de aplicações multimídia em redes e os resultados obtidos na sua implementação. O modelo foi implementado para a negociação dinâmica de banda passante, de modo atender conexões com comportamento de taxa de bits variável. Os pontos principais do modelo são: a definição de um nível mínimo para a banda passante e a renegociação do valor alocado durante todo o tempo de conexão. O modelo foi definido de forma genérica de tal modo que fosse possível a sua implementação para as duas visões mencionadas. O modelo foi simulado para verificar a sua eficácia na garantia do nível de QoS para as conexões aceitas.

O mapeamento para ATM foi feito através da implementação de um serviço de negociação dinâmica de banda passante usando a API fornecida pelo fabricante do comutador. Foi definido um conjunto de primitivas para permitir a negociação dos parâmetros de banda passante de uma conexão. Os resultados obtidos com esta implementação foram compatíveis com os resultados obtidos na simulação do modelo proposto. Posteriormente este serviço de alocação dinâmica foi utilizado para a implementação de um serviço de transmissão de vídeo MPEG.

O mapeamento para os protocolos do IETF foi feito utilizando o protocolo RSVP, que possui uma certa semelhança com o modelo proposto no sentido de trabalhar com alocação dinâmica de recursos. O uso do RSVP para a implementação do esquema de alocação dinâmica de banda passante mostrou que é possível oferecer uma garantia estatística em níveis elevados mesmo quando a carga da rede é muito alta.

Agradecimentos

Este trabalho foi possível graças ao apoio recebido da CAPES, através de seu programas de bolsas PICD, e do CNPq, através do programa RHAE. Gostaríamos de agradecer também a toda equipe do laboratório de Redes de Alta Velocidade da UFMG, onde foram realizadas as implementações. E finalmente, ao Prof. Gerald Neufeld, da *University of British Columbia*, que teve uma participação fundamental na fase de elaboração e simulação do nosso modelo.

Referências

- [1] The ATM Forum, *Traffic Management Specification - Version 4.0*, The ATM Forum, April, 1996.
- [2] A. L. B. Diniz, Um Serviço de Alocação Dinâmica de Banda Passante em Redes ATM para Suporte a Aplicações Multimídia, Master's thesis, Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais, Março, 1998.
- [3] C. C. Goulart, J. M. S. Nogueira, G. W. Neufeld, Dynamic QoS Negotiation for Multimedia Applications at Intermediate Nodes, In *Proceedings of IEEE SICON'97 - Singapore International Conference on Networks*, pp. 323-338, Singapore, april, 1997.
- [4] C. C. Goulart, *Um esquema de alocação dinâmica de recursos para garantir QoS para aplicações multimídia em Redes*, PhD thesis, Universidade Federal de Minas Gerais, Abril, 1998
- [5] IETF - Internet Engineering Task Force, IETF Integrated Service documents, Internet drafts, <http://www.ietf.org/ids.by.wg/intserv.html>, 1999.
- [6] IETF - Internet Engineering Task Force, *RFC 2205 - Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification*, September, 1997.
- [7] IETF - Internet Engineering Task Force, *RFC 2210 - The use of RSVP with IETF Integrated Services*, September, 1997.
- [8] IETF - Internet Engineering Task Force, *RFC 2211 - Specification of the Controlled-Load Network Element Service*, September, 1997.
- [9] IETF - Internet Engineering Task Force, *RFC 2212 - Specification of Guaranteed Quality of Service*, September, 1997.
- [10] JTC1/SC21/WG1. *ISO/IEC DIS 13236 - Quality of Service Framework - Outline*, February, 1993.
- [11] ITU-T. *Recommendation I.371 - Traffic control and congestion control in B-ISDN*, August, 1996.
- [12] A. A. F. Loureiro, V. L. Santos, C. C. Goulart, J. M. S. Nogueira. A Study of Dynamic QoS Negotiation for Multimedia Applications in RSVP. In *Proceedings of VI IEEE/IFIP International Workshop on Quality of Service*, Napa, CA, USA, May, 1998.
- [13] F. F. N. Pereira. Transmissão de Vídeo MPEG com Negociação Dinâmica de Banda Passante em Rede ATM. Master's thesis, Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais, Setembro, 1998.
- [14] F. F. N. Pereira, J. M. S. Nogueira. Transmission of MPEG Video over ATM-based Networks utilizing Dynamic Bandwith Negotiations. In *Proceedings of Multimedia Management Network Systems Conference*, Versailles, France, 1998.
- [15] V. L. Santos, A. A. F. Loureiro, C. C. Goulart, J. M. Mata. Implementação de uma proposta de Qualidade de Serviço Utilizando Negociação Dinâmica. Relatório de Projeto Orientado, DCC/UFMG, Dezembro, 1997.
- [16] L. A. Vogel, B. Kerhervé, G. von Bochmann, J. Gecse. Distributed Multimedia and QOS: A Survey. *IEEE Multimedia*, pp. 10-19, Summer, 1995.