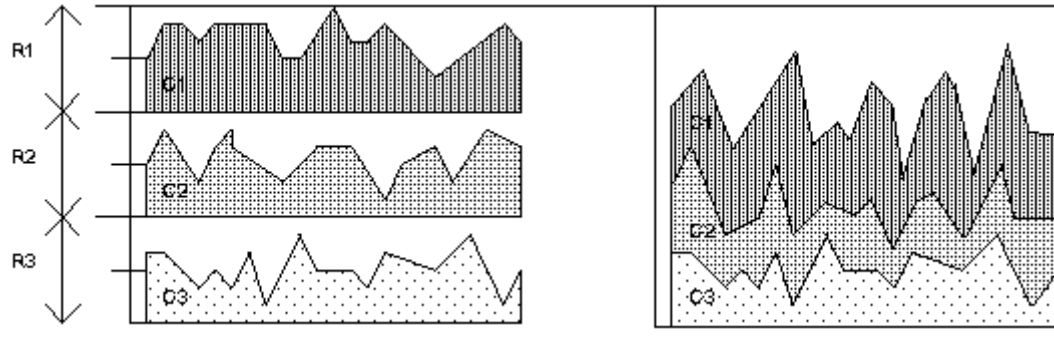
Capítulo V

Multiplexação Estatística na Arquitetura GTA/MM

V.1 Introdução

A tecnologia ATM se propõe a atender eficientemente a grande diversidade de serviços das redes de alta velocidade. Sistemas de comunicação multimídia, que se baseiam em redes ATM, devem ter um controle eficaz e uma alocação de recursos cuidadosa, de forma a atender a flexibilidade e a qualidade de serviço desejada.

Usuários de redes ATM geram um determinado número de células conforme a quantidade de informação que cada um deseja transmitir. Portanto, a quantidade de recursos da rede, requerida por cada usuário, varia em proporção ao número de células geradas por unidade de tempo.



(a) (b)

Figura V.1: Ganho de multiplexação estatística:

(a) sem ganho de multiplexação estatística, (b) com ganho de multiplexação estatística

Quando seus recursos são compartilhados entre os usuários, a rede pode prover menos recursos, do que a quantidade que seria necessária caso tais recursos fossem alocados de acordo com o pico de demanda de cada usuário. Por exemplo, a rede pode prover um canal de enlace, cuja banda passante é menor que a taxa máxima agregada das fontes que compartilham este canal. Esta economia de recursos pode ser obtida para um conjunto de fontes, de taxa variável, que têm uma baixa probabilidade de transmitir simultaneamente à taxa de pico. À esta economia de recursos dá-se o nome de ganho de multiplexação estatística [MGF91, Sai94, Sta91, Tuc88] (Figura V.1).

No entanto, o compartilhamento de recursos ou a multiplexação estatística sem a devida monitoração e controle, podem causar situações de congestionamento, com perdas e atrasos de células, degradando assim a qualidade de serviço requerida. Os mecanismos de monitoração e policiamento de tráfego reduzem a ocorrência de situações abusivas, por parte dos usuários, no compartilhamento dos recursos da rede.

Este capítulo propõe um conjunto de funções de multiplexação estatística, incorporado à arquitetura GTA/MM, visando possibilitar o estudo e desenvolvimento de cenários de compartilhamento de recursos e controle de congestionamento em sistemas de comunicação multimídia. A seção V.2 descreve a proposta de implementação do conjunto de funções de multiplexação estatística na Arquitetura GTA/MM. Na seção V.3 são apresentados e analisados resultados experimentais obtidos em um cenário de testes onde estudam-se efeitos dos mecanismos de policiamento na multiplexação estatística. Este cenário faz uso do conjunto de funções de multiplexação estatística, proposto neste capítulo, e da implementação dos mecanismos de policiamento [AFD95a], descrita no capítulo IV.

V.2 Implementação da Multiplexação Estatística

A implementação do conjunto de funções de multiplexação estatística, proposto neste trabalho, juntamente com a Arquitetura GTA/MM, compõe uma arquitetura de testes e desenvolvimento para sistemas de comunicação multimídia. A Arquitetura GTA/MM oferece um conjunto de funcionalidades que possibilita implementar e estudar mecanismos de controle de tráfego, mecanismos de sincronização, serviços e aplicações de tempo real. A introdução das funções de multiplexação estatística, nesta arquitetura, tem como objetivo possibilitar a pesquisa de cenários típicos de compartilhamento de recursos e controle de congestionamento em sistemas de comunicação multimídia.

V.2.1 O Multiplexador

Várias conexões multiplexadas em um canal representam uma situação de compartilhamento de recursos, em um sistema de comunicação. Em uma rede ATM, a multiplexação de várias conexões virtuais (VC - *virtual connection*) em um caminho virtual (VP - *virtual path*) também é um exemplo de compartilhamento de recursos em uma rede.

Os dois exemplos anteriores podem ser modelados por um sistema fila-servidor [Sai94]. Este sistema fila-servidor tem tempo de serviço determinístico igual a T_{cel}, onde T_{cel} é definido como o intervalo mínimo entre a transmissão de duas células consecutivas através do canal, ou como o inverso da taxa de transmissão do canal B_{canal}. O tamanho da fila do sistema é igual ao tamanho do *buffer* associado ao canal.

Neste trabalho implementou-se um sistema fila-servidor, denominado multiplexador. A fila do multiplexador está localizada entre o módulo Protocolos do Sistema de Comunicação - PSC e o Controle de Acesso ao Meio - MAC, como ilustrado na Figura V.2. O multiplexador agrega o tráfego de dados que recebe de todas as conexões, provenientes do módulo PSC. As primitivas correspondentes às células do tráfego são inseridas na fila de

multiplexação. Por sua vez, as primitivas alocadas na fila de multiplexação são transmitidas a uma taxa constante B_{canal} que equivale à banda passante de um canal de enlace. O multiplexador é acessado pelo, sistema de comunicação, através das funções da interface Protocolos do Sistema de Comunicação - Multiplexador, descritas na seção a seguir.

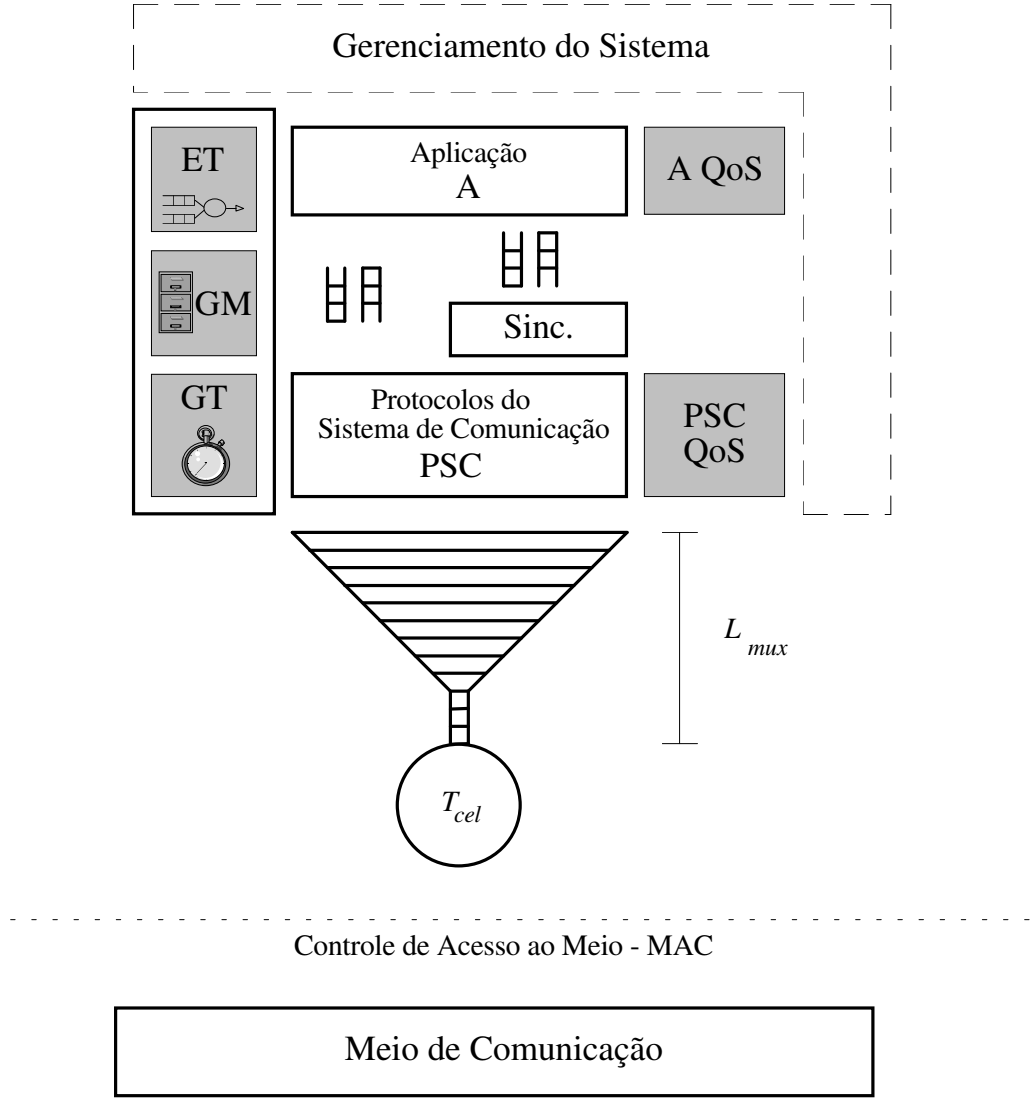


Figura V.2: Sistema fila-servidor introduzido na Arquitetura GTA/MM

V.2.2 Interface Protocolos do Sistema de Comunicação - Multiplexador

Nesta seção são descritas as funções que acessam e configuram o sistema fila-servidor, ou multiplexador, através da interface Protocolos do Sistema de Comunicação (PSC) - Multiplexador:

- Inicializar_Interface_PSC_Multiplexador: esta função é responsável pela entrada de parâmetros e alocação de recursos referentes à multiplexação estatística na Arquitetura GTA/MM. A função solicita ao usuário do sistema que entre com o tamanho da fila do multiplexador L_{mux}, bem como o intervalo mínimo entre a transmissão de células consecutivas T_{cel}. É inicializado um temporizador auto-disparável que a cada T_{cel} unidades de tempo envia para o escalonador de tarefas a função Máquina_de_Estados_PSC_Multiplexador.

- Finalizar_Interface_PSC_Multiplexador: esta função deve ser executada na finalização do sistema de comunicação, liberando a memória alocada para as primitivas que ainda estão na fila do multiplexador.

- Enviar_Primitiva_PSC_Multiplexador: esta função é chamada quando uma conexão do protocolo do sistema de comunicação tem uma primitiva de serviço a ser enviada. Se a fila do multiplexador não estiver cheia, esta função insere a primitiva proveniente do módulo PSC no final da fila do multiplexador. Caso esta função seja chamada quando a fila do multiplexador estiver cheia é chamada a função Tratar_Transbordo e a primitiva proveniente do módulo PSC não é inserida na fila do multiplexador.

- Receber_Primitiva_PSC_Multiplexador: esta função retorna a primitiva alocada no início da fila do multiplexador.

- Retirar_Primitiva_Fila_Multiplexador: esta função retira a primitiva da fila do multiplexador.

- Tratar_Transbordo: esta função é chamada pela função Enviar_Primitiva_PSC_Multiplexador quando ocorre uma situação de transbordo, ou seja, quando o módulo PSC envia uma primitiva para a Interface PSC-Multiplexador e a

fila do multiplexador já está cheia. A função Tratar_Transbordo libera a memória alocada para a estrutura de dados referente à primitiva enviada para a fila do multiplexador. Esta função também contabiliza, separadamente para cada conexão do módulo PSC, o número de primitivas descartadas, por transbordo da fila do multiplexador.

- Fila_Multiplexador_Cheia e Fila_Multiplexador_Não_Vazia: estas são funções auxiliares que testam se a fila do multiplexador está cheia ou não vazia, retornando valor verdadeiro ou falso. São utilizadas pelas outras funções de multiplexação estatística para testar o estado da fila do multiplexador.

- Máquina_de_Estados_PSC_Multiplexador: esta função é chamada a partir do disparo de um temporizador auto-disparável, a cada T_{cel} unidades de tempo. Se a fila do multiplexador não estiver vazia, esta função envia a primitiva do início da fila do multiplexador para o controle de acesso ao meio, o que equivale à transmissão de uma célula para o meio físico.

V.2.3 Modificações nos Módulos da Arquitetura GTA/MM

O conjunto de funções de multiplexação estatística, introduziu o conceito de envio de células para o meio físico a uma taxa máxima $B_{canal.}$ A implementação da taxa máxima B_{canal}, igual a $\frac{1}{T_{cel}}$, tem como objetivo representar a limitação de banda passante que um canal de comunicação oferece. Esta banda passante representa um dos recursos compartilhados pelas conexões da rede.

Anteriormente à implementação da taxa máxima B_{canal} ou das funções de multiplexação estatística, o intervalo de tempo M desde o início da operação de alocação de memória, para a estrutura de dados de uma primitiva, até sua posterior liberação envolvia basicamente:

- o tempo de alocação de memória referente a estrutura de dados da primitiva;
- o tempo de processamento da máquina de estados dos protocolos de comunicação;
- o tempo de inserção e retirada da primitiva das filas de interface;
- o tempo de envio da primitiva para o controle de acesso ao meio;
- o tempo de liberação da memória referente a estrutura de dados da primitiva.

Uma vez definidos a arquitetura de implementação do sistema de comunicação, os protocolos utilizados e o esquema de gerenciamento de memória, o intervalo de tempo *M* era função somente da capacidade de processamento da CPU.

No entanto, a partir da introdução das funções de multiplexação estatística, o intervalo de tempo *M* passa a ser função também da banda passante B_{canal} e da fila do multiplexador. Cada primitiva enviada para o multiplexador possui um tempo de espera, no sistema fila-servidor, dado pelo tempo de espera na fila, somado ao tempo de serviço T_{cel}. Este tempo de espera no multiplexador, acrescenta ao intervalo de tempo *M* uma parcela adicional. Esta parcela de tempo é dependente:

- da taxa agregada dos tráfegos multiplexados $\Lambda_{agregado}$;
- da disciplina de atendimento da fila de multiplexação;
- e da taxa B_{canal}.

Observa-se que quando a taxa $\Lambda_{agregado}$ é maior que a taxa B_{canal}, a fila do multiplexador cresce indefinidamente, configurando uma condição de instabilidade. Mesmo para situações onde a taxa $\Lambda_{agregado}$ média (aferida durante todo o período de conexão) é menor ou igual a taxa B_{canal}, durante determinados intervalos de tempo a taxa do tráfego agregado pode exceder B_{canal}. Esta situação pode ocorrer, por exemplo, durante a emissão de rajadas geradas simultaneamente por várias fontes de tráfego. Neste caso, a fila do multiplexador cresce enquanto $\Lambda_{agregado}$ é maior que B_{canal}.

O crescimento da fila do multiplexador ocasiona um aumento do tempo de espera de cada primitiva que chega à fila do multiplexador, pois a primitiva recém chegada deverá esperar as primitivas a sua frente serem transmitidas. Conseqüentemente, o aumento do tempo de espera conduz a um aumento do intervalo de tempo *M*, durante o qual o sistema de comunicação aloca memória para a estrutura de dados referente à primitiva.

Quando $\Lambda_{agregado}$ é maior que B_{canal} a taxa de alocação de memória para estruturas de dados de primitivas é maior que a taxa de liberação. Portanto, sem o devido controle e configuração do gerenciamento de memória, pode ocorrer transbordo de memória.

O módulo gerenciador de memória pré-aloca a quantidade de memória destinada às estruturas de dados das primitivas na fase de inicialização do sistema de comunicação. Caso ocorra uma situação de demanda de memória que exceda a memória disponível, o sistema entra em condição de exceção e conseqüente funcionamento incorreto.

V.2.3.1 Tratamento de Condição de Exceção por Transbordo de Memória

Neste trabalho realizaram-se modificações na Arquitetura GTA/MM de tal forma a evitar o mal funcionamento do sistema de comunicação em decorrência de falta de recursos alocados pelo gerenciador de memória.

Foram incorporados testes para verificar disponibilidade de memória, em todos os trechos do programa do sistema de comunicação onde há solicitação para alocação de estruturas de dados. Caso não haja memória disponível no momento da solicitação, o sistema de comunicação emite uma mensagem notificando a condição de exceção e termina a execução do programa. A notificação também informa o trecho de programa onde se deu a situação de indisponibilidade de memória.

A configuração das funções de multiplexação estatística deve ser feita cuidadosamente, de tal modo a evitar a condição de exceção causada por indisponibilidade de memória. É fundamental, que a taxa de transmissão do multiplexador B_{canal} seja superior à taxa $\Lambda_{agregado}$ média das fontes de tráfego multiplexadas no sistema. Esta condição é necessária, porém não é suficiente, pois como foi dito, a taxa agregada de rajadas pode exceder B_{canal}, durante determinados intervalos de tempo. Tal situação é possível mesmo quando a taxa média agregada, das fontes que geram estas rajadas, é inferior a B_{canal}. É importante observar que devido a flutuações estatísticas dos tráfegos agregados existe o risco de que o dimensionamento dos recursos alocados pelo gerenciador de memória, não seja suficiente para atender a demanda do sistema.

V.3 Resultados Experimentais

A multiplexação estatística, sem devida monitoração e controle, pode causar degradação da qualidade de serviço de um sistema de comunicação. Os mecanismos de policiamento têm como função principal evitar que conexões, cujos tráfegos sejam violadores do contrato de admissão, abusem dos recursos compartilhados com outras conexões, degradando assim a qualidade de serviço requerida. Conforme descrito no capítulo I, os critérios de qualidade de serviço envolvem: taxa de perda de células, atraso de células e variação de atraso ou taxa.

Um dos fatores importantes para a garantia da qualidade de serviço em sistemas de tempo real, como redes RDSI-FL, é a variação de atraso dos quadros de mídia. Áudio e vídeo, por exemplo, possuem fortes requisitos quanto a cadência em que as amostras dessas mídias são apresentadas ao usuário. Variação no atraso de células que contém informação referente a esses serviços, degrada significativamente a qualidade de serviço requerida.

Uma das principais causas de variação de atraso ou cadência é a multiplexação estatística. Mesmo que o usuário da rede emita um fluxo "bem comportado" respeitando o

"contrato" estabelecido na conexão, o simples ato de multiplexar um fluxo com os demais fluxos pode aumentar a vazão além da taxa máxima de transmissão [Kur93]. A Figura V.3 ilustra a mudança na taxa de transmissão do fluxo *C* resultante da multiplexação no nó N.

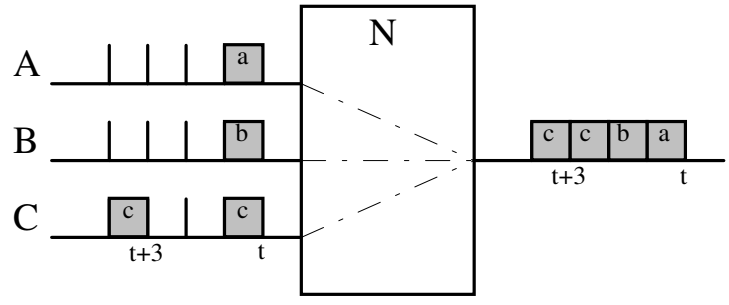


Figura V.3: Variação de taxa devido à multiplexação estatística

Como resultado da multiplexação ilustrada na Figura V.3, o fluxo **C** (que apresentava uma taxa máxima de transmissão de 1 célula a cada 3 segmentos de tempo na entrada) passa a ter uma taxa máxima de transmissão de 2 células a cada 3 segmentos na saída. O simples ato de multiplexar o fluxo **C** com dois outros fluxos resultou em que taxa de transmissão do fluxo **C** (definida sobre um intervalo de três unidades de tempo) dobrasse.

O experimento descrito nesta seção apresenta um cenário onde um tráfego rajada-silêncio mal comportado e um tráfego de taxa constante CBR (*Constant Bit Rate*) são multiplexados. São medidos os efeitos de variação de atraso (ou taxa) do tráfego CBR, decorrentes da multiplexação estatística. Também é medida a influência dos mecanismos de policiamento sobre os efeitos de multiplexação.

Este experimento foi realizado em um computador IBM PC 386 DX 40 MHz, sobre o sistema operacional MS-DOS. As interrupções de relógio foram geradas a cada 55 mili-segundos, de acordo com o *timer tick* do PC. O intervalo, entre as interrupções de relógio, foi utilizado como unidade de tempo no experimento.

V.3.1 Modelos de Tráfego Utilizados

Tráfego Rajada-Silêncio: Este tráfego intercala períodos de transmissão a taxa constante, as rajadas, com períodos de silêncio. Cada rajada tem um número de células que segue uma distribuição geométrica de média 50. As células da rajada são transmitidas a uma taxa constante de 1 célula por 1 unidade de tempo. Os períodos de silêncio, por sua vez, são dados por uma distribuição exponencial cuja média é 100 unidades de tempo. A taxa média deste tráfego é de 1 célula por 3 unidades de tempo.

Tráfego CBR: Neste tráfego uma célula é gerada a cada 100 unidades de tempo.

Todos os testes realizados neste experimento utilizaram a mesma amostragem estatística dos tráfegos acima descritos. O tempo de amostragem foi equivalente a 300 ciclos de rajada-silêncio, ou aproximadamente 45000 unidades de tempo,

V.3.2 Parâmetros da Multiplexação

O sistema fila-servidor, correspondente à multiplexação estatística, foi configurado com os seguintes parâmetros:

- tempo entre transmissões de células, T_{cel} - 2 unidades de tempo,
- disciplina da fila de multiplexação - fila FIFO,
- tamanho da fila de multiplexação, L_{mux} - neste cenário de teste utilizou-se um tamanho de fila, de forma a não haver transbordo na fila de multiplexação. O valor escolhido para L_{mux} foi 500.

O histograma, ilustrado na Figura V.4, mostra a distribuição do intervalo entre transmissões de células consecutivas do tráfego CBR, após serem multiplexadas com o tráfego

rajada silêncio. O histograma é dividido em classes. Cada classe do histograma é composta por vinte unidades de tempo (à exceção da classe mais a esquerda que vai de 0 a 10 unidades de tempo). Os valores indicados na abcissa do histograma correspondem à média *M* da classe. Por exemplo, a classe cujo valor indicado é 50, significa que esta classe engloba valores desde 40 até 60, tendo como média 50 unidades de tempo. O eixo das ordenadas, por sua vez, indica o percentual de intervalos entre células consecutivas do tráfego CBR, pertencentes a cada classe.

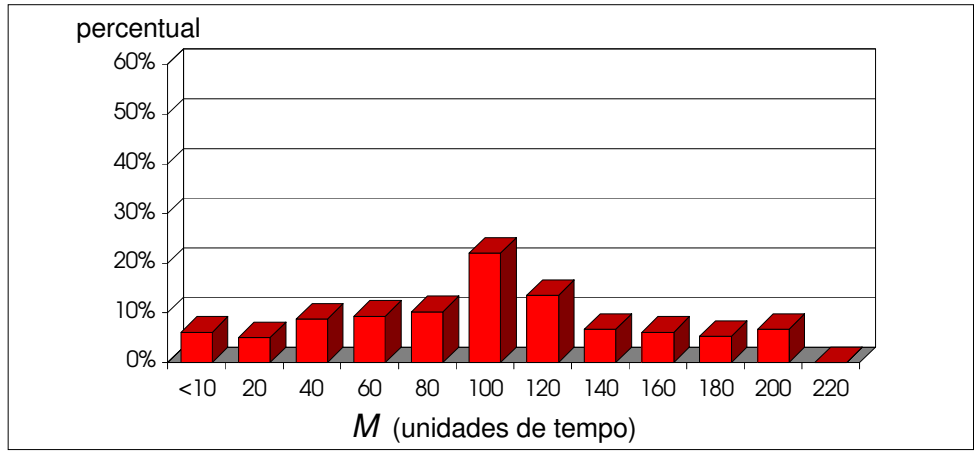


Figura V.4: Distribuição dos atrasos do Tráfego CBR após a multiplexação estatística, sem policiamento.

Através do histograma da figura V.4, é possível observar que a multiplexação do tráfego rajada-silêncio com o tráfego CBR afeta drasticamente a cadência dos intervalos entre as transmissões das células do tráfego CBR. Apenas cerca de 20% dos intervalos entre transmissões do tráfego CBR, concentram-se na classe cuja a média é o intervalo nominal deste tráfego: 100 unidades de tempo.

V.3.3 Aplicação de Mecanismos de Policiamento

Os mecanismos de policiamento janela saltitante, janela móvel particionada, janela deslizante e balde furado foram aplicados à conexão do tráfego rajada-silêncio. Neste experimento, os mecanismos foram configurados para o esquema de descarte. Cada célula

violadora, proveniente do tráfego rajada-silêncio, é descartada; não sendo transmitida pelo multiplexador. Os parâmetros dos mecanismos de policiamento foram ajustados da seguinte maneira:

Limite de Créditos: No balde furado o limite de créditos *C* é de 33, de tal forma a limitar a rajada máxima a 50 células (expressão II.1). Os mecanismos de janela são parametrizados com limite de créditos igual a 50.

Taxa de Policiamento: A taxa de policiamento foi ajustada de acordo com a taxa média nominal do tráfego de rajada-silêncio que é igual a 1 célula por 3 unidades de tempo. Isso leva a uma escolha de largura de janela *T* de 150 unidades de tempo, para os mecanismos baseados em janela.

As Figuras V.5 a V.10 exibem os histogramas referentes ao efeito que cada mecanismo de policiamento causa na multiplexação do tráfego rajada-silêncio com o tráfego CBR. Como no histograma da Figura V.4, a distribuição estatística nestes histogramas é ilustrada para os intervalos entre transmissões do tráfego CBR.

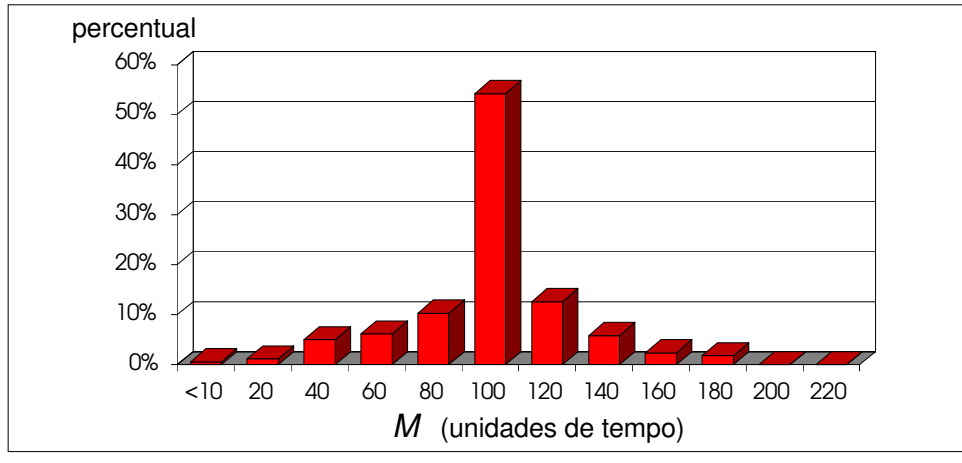


Figura V.5: Distribuição do atraso para a janela saltitante

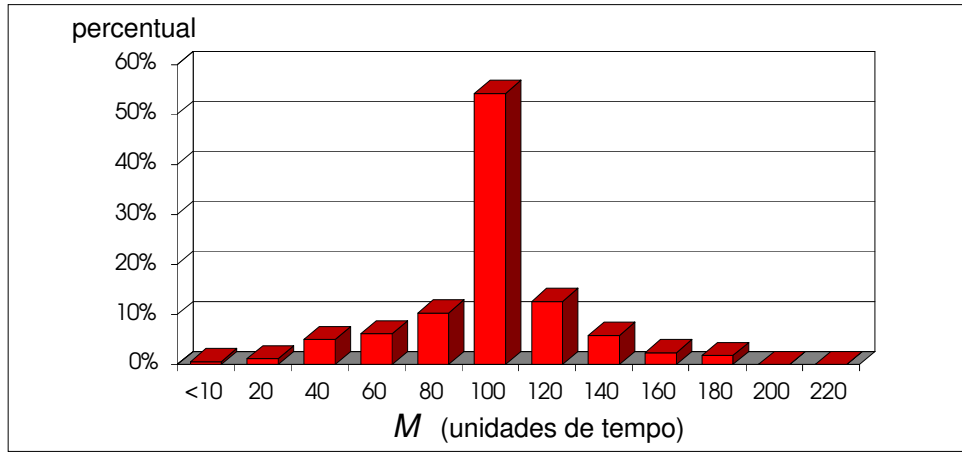


Figura V.6: Distribuição do atraso para a janela móvel particionada, para 1 partição

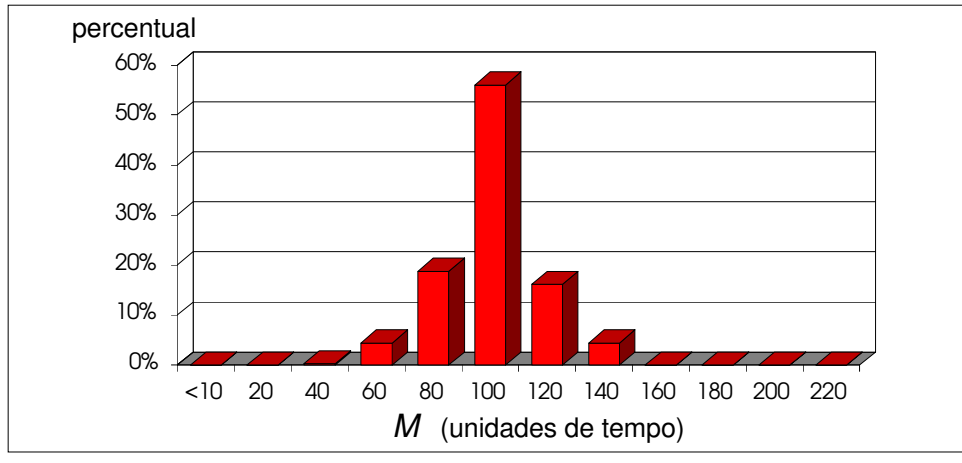


Figura V.7: Distribuição do atraso para a janela móvel particionada, para 2 partições

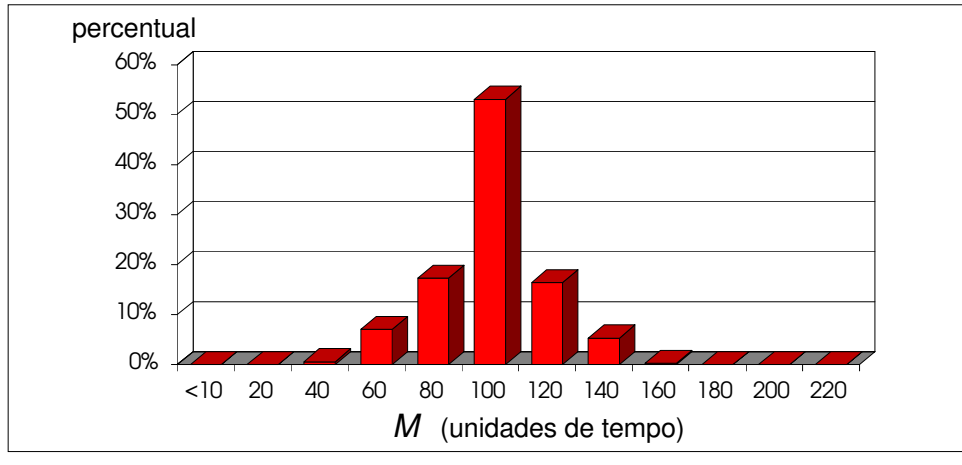


Figura V.8: Distribuição do atraso para a janela móvel particionada, para 10 partições

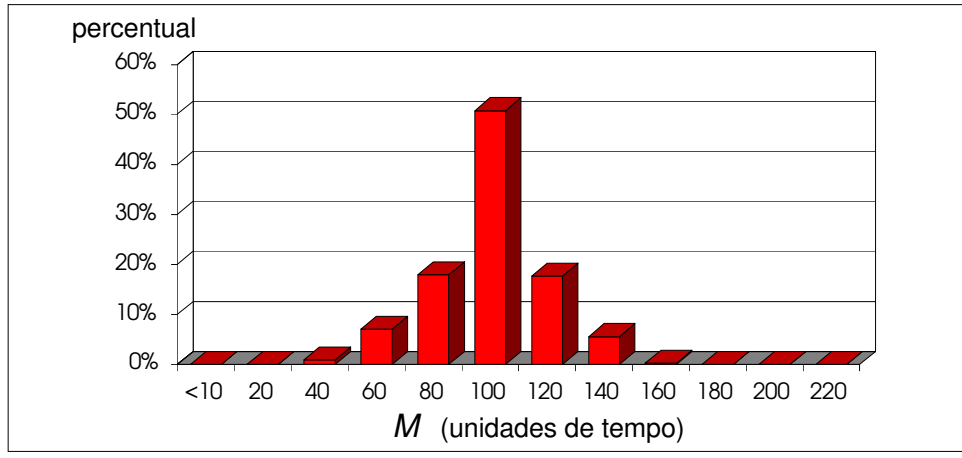


Figura V.9: Distribuição do atraso para a janela móvel particionada, para 150 partições: equivalente à janela deslizante discretizada

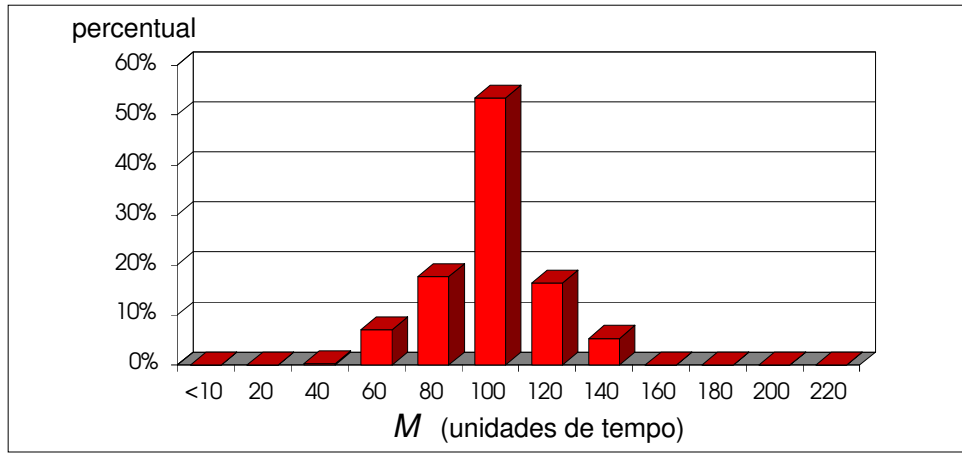


Figura V.10: Distribuição do atraso para a janela deslizante contínua

A partir da observação dos histogramas (Figuras V.5 a V.10) pode-se concluir que os mecanismos de policiamento reduziram sensivelmente a variação do atraso entre as transmissões das células do tráfego CBR. A variação de atraso, decorrente da multiplexação estatística, foi reduzida devido ao descarte de células violadoras pelos mecanismos de policiamento. Observa-se a partir da aplicação do policiamento, a classe de média 100 unidades de tempo, o intervalo nominal, concentra por volta de 50% dos intervalos entre transmissões. Porém sem a aplicação dos mecanismos de policiamento, esta classe englobava somente, pouco mais de 20% dos intervalos, conforme ilustrado na Figura V.4.

O mecanismo janela saltitante apresenta uma distribuição estatística mais espalhada em relação à distribuição referente ao mecanismo janela deslizante. Isto se dá pelo fato do mecanismo janela deslizante ser mais restritivo no policiamento que o mecanismo janela saltitante. Da mesma forma que o mecanismo janela deslizante, o mecanismo janela saltitante limita a transmissão de *C* células durante o intervalo *T* de cada janela. Porém, o policiamento do mecanismo janela saltitante é definido para intervalos justapostos no tempo, enquanto que o mecanismo janela deslizante é mais restritivo pois limita o número de células durante **qualquer** intervalo de tempo *T*.

A característica de maior restrição do mecanismo janela deslizante conduz a um descarte de uma quantidade maior de células, do tráfego rajada-silêncio. Este descarte mais elevado reduz a taxa média do tráfego rajada-silêncio, bem como o comprimento das rajadas multiplexadas com o tráfego CBR. Reduzindo a taxa e índice de rajada do tráfego rajada-silêncio, reduz-se também a carga na fila de multiplexação, a média e a variância do tamanho da fila. Conseqüentemente a variação do atraso entre transmissões de células também é reduzida. Portanto, o mecanismo janela deslizante deverá se mais restritivo, em termos de variação de atraso, que o mecanismo janela saltitante.

Os resultados obtidos neste experimento confirmam a análise anterior. Pode-se constatar que a distribuição estatística referente ao mecanismo janela deslizante apresenta menor variação dos intervalos entre transmissões que a distribuição referente ao mecanismo janela saltitante. O histograma referente à janela deslizante concentra praticamente todos os intervalos de transmissão entre as classes de média 60 e 140 unidades de tempo. Já o histograma referente à janela saltitante apresenta intervalos espalhados desde a classe de intervalos inferiores a 10 unidades de tempo, até a classe cuja média é 180 unidades de tempo.

Neste experimento, pode ser observado o comportamento intermediário do mecanismo janela móvel particionada em relação ao comportamento do mecanismo janela saltitante e janela deslizante. O histograma referente à janela móvel particionada com 1 partição apresenta

distribuição estatística próxima à distribuição do mecanismo janela saltitante. Destaca-se o fato de que para 2 partições, o histograma do mecanismo janela móvel particionada já se aproxima muito do histograma do mecanismo janela deslizante. Isto deve-se à característica do mecanismo janela móvel particionada, a partir de 2 partições, ser tão restritivo quanto o mecanismo janela deslizante em termos do comprimento máximo de rajada, que é dado pelo limite de créditos *C*.

Porém para 1 partição, o mecanismo janela móvel particionada é equivalente ao mecanismo janela saltitante. Neste caso, o comprimento máximo de rajada fica limitado a 2*C* células, tornando o mecanismo menos restritivo e permitindo maior variação de atraso decorrente da multiplexação estatística.

Observa-se que para um aumento no número de partições, as distribuições referentes ao mecanismo janela móvel particionada sofrem um pequeno espalhamento, com um ligeiro decréscimo no percentual da classe de média 100 unidades de tempo. Isto pode ser explicado pelas imperfeições da implementação do mecanismo em relação ao modelo teórico. Com o aumento do número de partições, o tráfego é aferido pelo mecanismo com maior freqüência. Sendo assim, funções como: alocação de memória, disparo de temporizadores, escalonamento de tarefas e atualização de variáveis são executadas também, com maior freqüência. Estas funções não fazem parte do modelo teórico do mecanismo e, neste caso, acentua-se a diferença entre a implementação e o modelo. Conseqüentemente, quando há um aumento no número de partições, a monitoração e policiamento de tráfego sofre um pequeno afastamento em relação ao resultado que seria esperado para o modelo teórico do mecanismo. Portanto, o pequeno espalhamento, observado nos histogramas de maior número de partições, ocorre devido a esta diferença entre o modelo teórico do mecanismo janela móvel particionada e sua implementação.

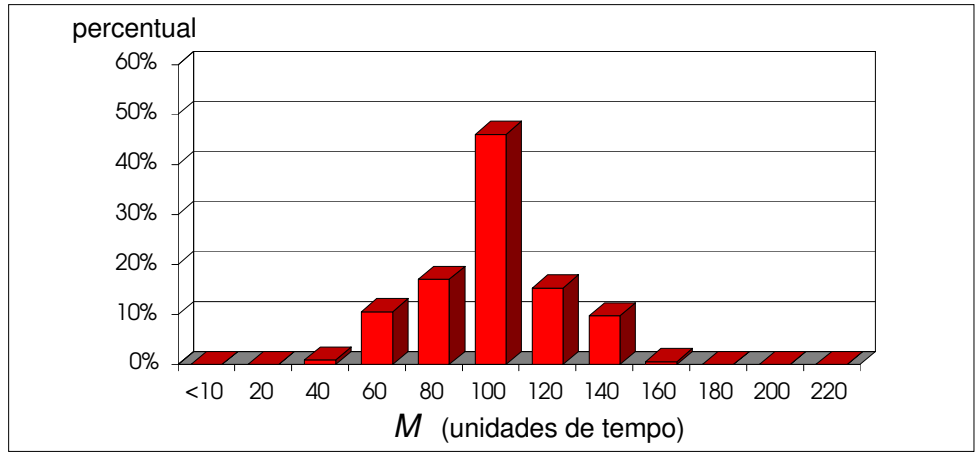


Figura V.11: Distribuição do atraso para o balde furado

A distribuição relativa ao balde furado é a que concentra o menor percentual de intervalos na classe do intervalo nominal, de média 100 unidades de tempo. Nesta classe estão concentrados 46% dos intervalos. No entanto, a distribuição estatística do balde furado é menos espalhada do que a distribuição referente à janela saltitante. Os intervalos entre transmissões, nesta distribuição, localizam-se entre as classes com médias 40 e 160 unidades de tempo.

Através dos resultados experimentais, apresentados neste capítulo, foi possível observar o efeito dos mecanismos de policiamento na multiplexação estatística. Descartando células do tráfego rajada-silêncio, os mecanismos de policiamento reduziram a carga de tráfego na fila do multiplexador, diminuindo o espalhamento na distribuição de intervalos do tráfego CBR, após a multiplexação. O mecanismo janela saltitante apresentou uma distribuição com maior espalhamento. Já o mecanismo janela deslizante apresentou a distribuição mais concentrada, próxima ao intervalo nominal. Observa-se que o mecanismo janela móvel particionada, a partir de apenas 2 partições, apresentou uma distribuição muito próxima à da janela deslizante. Finalmente, o balde furado apresentou o menor percentual de intervalos na classe de intevalos nominais (100 unidades de tempo), apesar de sua distribuição não ser tão espalhada quanto a da janela saltitante.