

# Mecanismo de Agendamento de Pacotes Baseado na Qualidade de Canal e QoS da Aplicação em Sistemas WCDMA

J. Sindi Yamamoto e Rodrigo Pasti

**Resumo**— No sistema WCDMA(UTRA-FDD), como em qualquer outro sistema sem fio, a qualidade do canal depende da localização do usuário ou da estação móvel dentro da área de cobertura da estação radio base. A eficiência de utilização da largura da banda de frequências alocada também depende da qualidade do canal. Se a qualidade do canal torna-se ruim, os pacotes de dados transmitidos pela estação rádio base podem não ser recebidos pela estação móvel e vice-versa. Como resultado, o desempenho global do sistema é degradado. Neste trabalho, um mecanismo de agendamento de pacotes no sistema WCDMA utilizando a relação Sinal/Ruído como um indicador de qualidade do canal é investigado e avaliado por simulação. A relação Sinal/Ruído é combinada com a QoS requerida pela aplicação ou usuário de forma a otimizar a utilização de recursos rádio e maximizar a vazão total de pacotes da estação radio base. A investigação baseia-se em resultados obtidos por simulação que mostram a relação entre a qualidade do canal, QoS em termos de taxa de bits, vazão e atraso dos pacotes.

**Palavras-Chave**—Agendamento, Pacotes, QoS, WCDMA

## I. INTRODUÇÃO

Uma das características importantes do sistema WCDMA e outros sistemas celulares de terceira geração (3G) [1], é a disponibilidade de serviços de dados por pacotes NRT (No Real Time). Diferentes taxas de bits são oferecidas aos usuários no enlace direto e no enlace reverso. A soma de todos os dados NRT e RT (Real Time) a serem transmitidos simultaneamente em uma célula excedem os recursos disponíveis a cada quadro. Portanto, um "Packet Scheduler (PS)", localizado na estação radio base (BTS do inglês "Base Transceiver Station") ou no controlador da rede de acesso (RNC do inglês "Radio Network Controller"), tem que dividir os recursos e designá-los aos diferentes usuários NRT. Além disto, o PS monitora a alocação de pacotes e a carga do sistema. Em [2] foi implementado um simulador de transmissão por pacotes em sistemas WCDMA e foram avaliados três mecanismos de agendamento de pacotes:

Round Robin (RR), Máxima taxa de bits solicitada ou requerida pela aplicação/usuário (MTBS) e Máximo SIR ou TBP (MSIR). Os resultados obtidos mostraram que o mecanismo MTBS fornece a maior vazão na BTS, seguido pelos mecanismos MSIR e RR. Em condições de alto tráfego, entretanto, os mecanismos MTBS e MSIR apresentam problemas: enquanto o primeiro atende marginalmente as aplicações que requerem baixa taxa de bits, o segundo atende marginalmente os usuários que se encontram na periferia da célula onde a SIR é baixa. Para solucionar este problema, neste trabalho é apresentado um novo mecanismo de agendamento de pacotes que combina os mecanismos MTBS e MSIR, isto é, taxa de bits requerida pela aplicação/usuário e qualidade do canal em termos de SIR. O trabalho encontra-se organizado da seguinte forma: na sessão II é apresentada uma revisão das principais características do sistema WCDMA. Na seção III é apresentada uma descrição do simulador de agendamento de pacotes. Os detalhes dos mecanismos de agendamento de pacotes investigados são apresentados na seção IV. Na seção V são apresentados e analisados os resultados obtidos e, finalmente, as conclusões são apresentadas na seção VI.

## II. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA WCDMA

A tabela 1 apresenta um resumo das principais características do sistema WCDMA importantes sob o ponto de vista de mecanismos de agendamento de pacotes. Estas características são [1]:

- O WCDMA é um sistema de múltiplo acesso por divisão de códigos de seqüência direta de faixa larga (DS-CDMA: Direct Sequence Code Division Multiple Access), isto é, os bits de informação são espalhados sobre uma faixa de frequência de largura de banda larga multiplicando-se os dados do usuário com bits pseudo-aleatórios (denominados chips) derivado de códigos de espalhamento CDMA. A fim de suportar taxas muito altas (até 2 Mbps), o uso de um fator de espalhamento variável e conexões com múltiplos códigos são suportados.
- A taxa de chips é de 3.84 Mcps e a portadora ocupa uma faixa de aproximadamente 5 MHz. A operadora celular pode empregar múltiplas portadoras de 5 MHz para

aumentar a capacidade, possivelmente na forma de células hierárquicas.

- WCDMA suporta taxas de dados de usuários altamente variáveis, isto é, suporta o conceito de utilização de banda sob demanda (BoD: Bandwith on Demand). Para cada usuário é alocado um quadro de 10 ms de duração, durante o qual a taxa de bits de dados do usuário é mantida constante. Contudo, a capacidade de dados entre os usuários pode mudar de quadro para quadro. Esta característica de rápida alocação de capacidade rádio é utilizada pelo PS para alcançar vazão (throughput) ótima para serviços de dados por pacotes.

Tabela 1: Principais características do sistema WCDMA

Método de acesso múltiplo	DS-CDMA
Método de duplexação	Frequency division duplex (FDD)/time division duplex (TDD).
Sincronização da BTS	Operação assíncrona.
Taxa de chips	3.84 Mcps.
Duração do quadro	10 ms.
Multiplexação do serviço	Múltiplos serviços com diferentes requisitos de QoS multiplexados sobre uma conexão.
Conceito de Múltiplas Taxas	Fator de espalhamento variável e múltiplos códigos.
Detecção	Coerente.
Detecção Múltiplo-usuário, antenas inteligentes	Suportado pela recomendação, mas com implementação opcional.

### III. DESCRIÇÃO DO SIMULADOR DE AGENDAMENTO DE PACOTES

Na figura 1 é ilustrado o diagrama de blocos do simulador de agendamento de pacotes utilizado neste trabalho [2]. O bloco PS (Packet Scheduler) recebe as requisições de chamadas de voz e de pacotes, a taxa de bits possível (TBP) de ser alocada aos pacotes de dados de cada usuário e QoS requerido pela aplicação ou usuário em termos de taxa de bits. Baseando-se na TBP obtida a partir da SIR ("Signal to Interference Ratio") e QoS, o PS decide qual usuário (ou quais usuários) terão os seus pacotes transmitidos em um determinado quadro WCDMA. No simulador, o gerador de tráfego por pacotes gera pacotes do tipo *web-browsing* com as seguintes características:

- Intervalo entre as chegadas de sessões modeladas como uma VA com distribuição exponencial;
- Intervalo entre as chegadas de páginas (tempo de leitura) modeladas como uma VA com distribuição Gama;

- Número de páginas em uma sessão modelado como uma VA com distribuição geométrica;
- Número de pacotes em uma página modelado como uma VA com distribuição geométrica;
- Tamanho do pacote (no. de bytes) modelado como uma VA com distribuição Multimodal;
- Intervalo entre as chegadas de pacotes modeladas como uma VA com distribuição exponencial.

A taxa de bits alocada para cada pacote de dados do usuário  $i$ ,  $TBP_i$ , é estimada da seguinte forma:

$$TBP_i = \frac{W \times SIR_i}{(E_b / N_t)_{desejado}} \quad (1)$$

onde:

$W$ : é a largura de banda do sistema WCDMA  
 $(E_b/N_t)_{desejado}$ : é a energia por bit por densidade de potência de ruído total desejado.

No enlace reverso, a  $SIR_i$  do usuário  $i$  na BTS, em uma única célula WCDMA, é calculada conforme a equação:

$$SIR_i = \frac{S_i}{I_{tot} - S_i} \quad (2)$$

onde  $S_i$  e  $I_{tot}$  são a intensidade do sinal recebido do usuário  $i$  e a interferência total recebida na BTS, respectivamente. A interferência total é calculada como:

$$I_{tot} = \sum_{i=1}^U S_i + r \quad (3)$$

onde  $U$  é o número total de MS (Mobile Station) na célula e  $r$  é o ruído de fundo.

As MSs são posicionadas em qualquer ponto (x,y) dentro da área de cobertura da BTS. A distribuição das MSs é realizada de acordo com números pseudo-aleatórios gerados conforme uma distribuição uniforme dentro de uma área limitada pela cobertura da BTS.

No enlace direto, a  $SIR_i$  em cada MS  $i$  é calculada para uma única célula conforme a seguinte equação:

$$SIR_i = \frac{p_i g_i}{\alpha(P_{tot} - P_{sch} - p_i)g_i + P_{sch}g_i + r} \quad (4)$$

onde:  $p_i$  é a potência de saída da BTS para a MS  $i$ ,  $\alpha$  é o fator de ortogonalidade e  $g_i$  é o ganho entre a BTS e o usuário  $i$ .  $P_{tot}$ ,  $P_{sch}$  e  $r$  são, respectivamente, a potência de saída total da BTS, a potência alocada para os canais de sincronização e ruído de fundo.

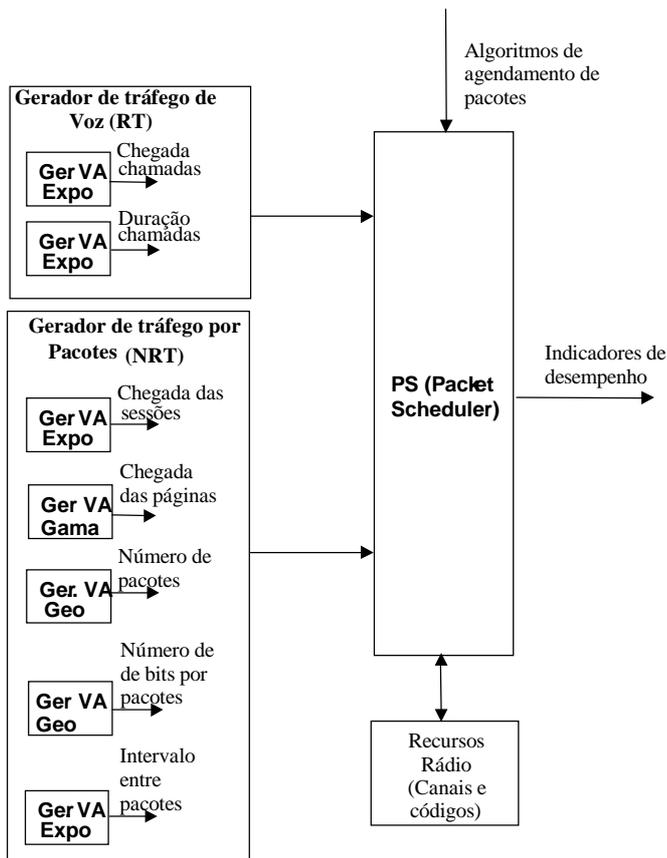


Figura 1: Diagrama de blocos do simulador de agendamento de pacotes

#### IV. MECANISMOS DE AGENDAMENTO DE PACOTES IMPLEMENTADOS

Em [2] foi mostrado o quanto um sistema WCDMA perde em vazão (“throughput”) quando pacotes NRT de vários usuários são transmitidos em paralelo ao invés de 1 ou poucos usuários de cada vez. Para se obter o máximo de vazão por portadora em um sistema WCDMA, foi mostrado que é melhor ter portadoras separadas para tráfego de pacotes NRT e tráfego RT. Assim, a transmissão de pacotes é dividida em intervalos de tempo de 10ms (duração de um quadro WCDMA) e, em cada destes intervalos de tempo, são transmitidos pacotes de um único usuário por vez.

Diversos algoritmos de agendamento de pacotes tem sido propostos na literatura [2-6]. Os mecanismos de agendamento de pacotes implementados neste trabalho podem ser assim descritos:

a) **Round Robin (RR)**: os usuários são selecionados um a um em uma ordem cíclica para a transmissão, independente de QoS requerida pelo usuário e das condições do canal em termos de SIR. Este mecanismo de agendamento de pacotes fornece o maior grau possível de igualdade em relação ao número de pacotes alocados de cada usuário. Entretanto, oferece uma baixa vazão pelo fato de não considerar as condições do canal.

b) **Máxima taxa de bits solicitada por pacote (MTBS)**: os usuários que tem a garantia de melhor QoS em termos de taxa de bits requerida ou solicitada (TBS) são selecionados independentemente da SIR. Neste mecanismo, se diversos usuários requerem a mesma QoS, é possível que pacotes de um usuário com SIR menor sejam selecionados para serem transmitidos ao invés de pacotes de um usuário com SIR maior. Além disto, se muitos usuários requerem altas taxas de bits, então os usuários com baixa TBS podem ser marginalmente atendidos dependendo do tráfego de dados.

c) **Máximo SIR ou TBP(MSIR)**: neste mecanismo, pacotes de usuários com a melhor condição de propagação (máximo SIR) são selecionados para serem transmitidos. Neste mecanismo, se diversos usuários requerem baixa TBS, é possível que usuários com baixa TBS sejam selecionados ao invés de usuários com alta TBS. Além disto, usuários com baixos valores de SIR podem ser marginalmente atendidos.

- **Implementação do Mecanismo para Round Robin (RR)**:

Passo 1: Implementar uma tabela de fila de espera, onde cada sessão ocupa apenas uma posição na fila de espera. As sessões na fila de espera são denotadas por:  $n, n+1, n+2, \dots, N$ , onde  $n$  e  $N$  são as sessões na primeira e última posição da fila de espera, respectivamente.

Passo 2: A cada instante de amostragem  $t_m$  do sistema, verificar se o instante de amostragem corresponde ao início de algum pacote ou início de um frame WCDMA:

a) Se corresponder ao início de algum pacote:

- Identificar a sessão, o tamanho do pacote e TBS (QoS garantida ao usuário em termos de taxa de bits).
- Verificar se o pacote pertence a uma nova sessão ou pertence a uma sessão já existente na fila de espera.
- Se o pacote pertence a uma sessão ainda não presente na fila de espera, a sessão entra na última posição na fila de espera, isto é, acrescenta-se uma nova posição na fila de espera.
- Se o pacote pertence a uma sessão já existente na fila de espera, atualizar a quantidade de bytes a serem transmitidos (Quantidade de bytes já existentes + quantidade de bytes do novo pacote).

b) Se corresponder ao início de um frame WCDMA, verificar se existe algum pacote na fila de espera:

- Se existir, transmitir os pacotes da sessão  $n$  (isto é, a sessão que está na primeira posição na fila) durante a duração de um quadro WCDMA. Caso sejam transmitidos todos os pacotes durante um quadro WCDMA, tirar a sessão  $n$  da fila de espera e fazer um deslocamento na posição de todas as sessões, de forma

que a sessão  $n+1$  passa a ocupar a primeira posição, a sessão  $n+2$  a segunda posição e, assim, sucessivamente. Em caso contrário, isto é, ainda restem pacotes ou páginas a serem transmitidos:

- Calcular o número de bytes restantes a serem transmitidos e atualizar a tabela de fila de espera (Quantidade de bytes atual - quantidade de bytes transmitidos).
  - Passar a sessão  $n$  para a última posição na fila de espera.
  - Fazer um deslocamento na posição de todas as sessões, inclusive a sessão  $n$  colocada na última posição na fila de espera, de forma que a sessão  $n+1$  passa a ocupar a primeira posição, a sessão  $n+2$  a segunda posição e assim sucessivamente até a sessão  $n$  ocupando a última posição na fila de espera. Desta forma, a sessão  $n$  ficará aguardando a sua próxima vez de ser transmitida.
- ii. Se não existir pacotes na fila de espera, então avançar para o próximo instante de amostragem  $t_{m+1}$  e voltar ao início do passo 2.

• **Implementação do Mecanismo para máxima taxa de bits requerida pelo usuário (MTBS) :**

Passo 1: idem passo 1 do mecanismo RR.

Passo 2: A cada instante de amostragem  $t_m$  verificar se o instante de amostragem corresponde ao início de algum pacote ou início de um frame WCDMA:

- a) Se corresponder ao início de algum pacote:
- Identificar a sessão, o tamanho do pacote e TBS.
  - Verificar se o pacote pertence a uma nova sessão ou pertence a uma sessão já existente na fila de espera.
  - Se o pacote pertence a uma sessão ainda não presente na fila de espera, a sessão entra em uma posição na fila de espera de acordo com a ordem decrescente da TBS, isto é: a primeira posição é ocupada pela sessão com a maior TBS, a segunda posição pela sessão com a segunda TBS maior e, assim sucessivamente, até a sessão com menor TBS ocupando a última posição da fila de espera.
  - Se o pacote pertence a uma sessão já existente na fila de espera, atualizar a quantidade de bytes a serem transmitidos (Quantidade de bytes já existentes + quantidade de bytes do novo pacote).
- b) Se corresponder ao início de um frame WCDMA, procede como no item 2.b do mecanismo RR.

• **Implementação do Mecanismo para Máximo SIR (MSIR):**

Passo 1: idem passo 1 mecanismo RR.

Passo 2: A cada instante de amostragem  $t_m$  verificar se o instante de amostragem corresponde ao início de algum pacote ou início de um frame WCDMA:

- a) Se corresponder ao início de algum pacote:
- Identificar a sessão, o tamanho do pacote, TBS e SIR de cada sessão.
  - Verificar se o pacote pertence a uma nova sessão ou pertence a uma sessão já existente na fila de espera.
  - Se o pacote pertence a uma sessão ainda não presente na fila de espera, a sessão entra em uma posição na fila de espera de acordo com a ordem decrescente da SIR, isto é: a primeira posição é ocupada pela sessão com a maior SIR, a segunda posição pela sessão com o segunda SIR maior e, assim sucessivamente, até a sessão com menor SIR ocupando a última posição da fila de espera;
  - Se o pacote pertence a uma sessão já existente na fila de espera, atualizar a quantidade de bytes a serem transmitidos (Quantidade de bytes já existentes + quantidade de bytes do novo pacote)
- c) Se corresponder ao início de um frame WCDMA, procede como no item 2.b do mecanismo RR.

Dos três mecanismos de agendamento de pacotes descritos, o MTBS é o que fornece a maior vazão ao usuário [2]. Entretanto, é necessário que a qualidade do canal seja suficiente para atender a QoS, isto é, os usuários que demandam altas taxas de bits estejam localizados próximos a BTS. Em caso contrário, o sistema violará a QoS devido à baixa qualidade do canal. Da mesma forma, o mecanismo SIR oferece uma alta vazão aos usuários localizados na região de boa qualidade de canal. Neste caso, embora a vazão total da BTS esteja maximizada, é possível que pacotes de usuários demandando baixas taxas de bits sejam transmitidos à taxa acima do necessário enquanto que usuários demandando altas taxas de bits fiquem na fila de espera e, portanto, sofrendo violação de QoS. Assim, neste trabalho é investigado um mecanismo de agendamento de pacotes, doravante denominado MSIR/MTBS, onde é feita uma combinação dos mecanismos MSIR e MTBS maximizando a taxa de bits e minimizando a violação de QoS. De acordo com este mecanismo, inicialmente calcula-se a taxa de bits efetiva,  $TBE_i$ , de cada sessão  $i$  combinando-se SIR e TBS tal que:

$$TBE_i = \begin{cases} TBS_i & \text{se } TBS_i \leq TBP_i \\ TBP_i & \text{se } TBS_i > TBP_i \end{cases}, \quad (5)$$

onde  $TBP_i$  é obtida conforme a equação 1. As sessões são colocadas na fila de espera em ordem decrescente de  $TBE_i$  de forma que as sessões com maiores valores de  $TBE_i$  tem prioridade de transmissão.

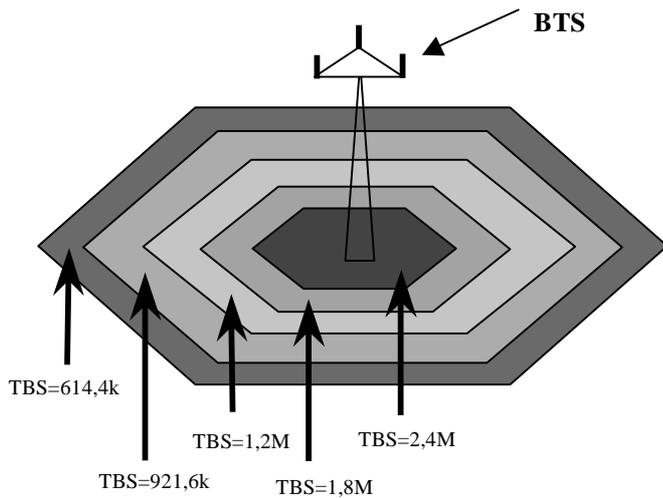


Figura 2: Exemplos cálculo de vazão RR e MTBS

As figuras 2 e 3 ilustram os mecanismos de agendamentos de pacotes simulados neste trabalho. Na figura 2 são ilustrados os seguintes exemplos de cálculo de vazão:

Exemplo 1. Na fila de espera existe 1 usuário com TBS=1.8M. Portanto: Vazão RR=1.8M; Vazão MTBS=1.8M

Exemplo 2. Na fila de espera existem 1 usuário com TBS=1.8M e 1 usuário com TBS= 1.2M. Portanto: Vazão RR=(1.8+1.2)/2=1.5M; Vazão MTBS=1.8M

Exemplo 3. Na fila de espera existem 1 usuário com TBS=2.4M, 1 usuário com TBS=1.2M e 2 usuários com TBS=0.6144M. Portanto: Vazão RR = (2.4+1.2+2\*0.6144)/4 =1.2M; Vazão MTBS=2.4M

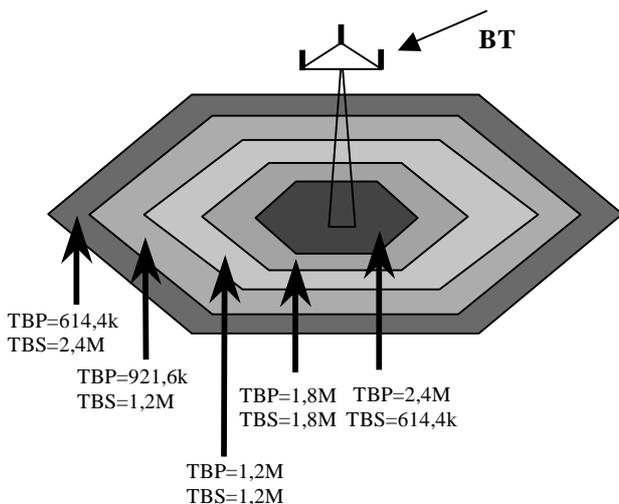


Figura 3: Exemplos de cálculo de vazão RR, MTBS, MSIR e MSIR/MTBS

Na figura 3 são ilustrados os seguintes exemplos de cálculo de vazão:

Exemplo 1. Na fila de espera existe 1 usuário com SIR tal que TBP=1.8M e TBS=614,4k. Portanto: Vazão RR=1.8M; Vazão MTBS=1.8M; Vazão MSIR=1.8M

Exemplo 2. Na fila de espera existem 1 usuário com SIR tal que TBP=2.4M e TBS=614,4k; 1 usuário com SIR tal que TBP=921,6k e TBS=1.2M; 1 usuário com SIR tal que taxa TBP=614,4k e TBS=2.4M. Portanto: Vazão RR = (2.4+0.921+0.6144)/3=1.3M; Vazão MTBS=614,4k; MSIR =2,4M; MSIR/MTBS=921,6k.

## VI. RESULTADOS OBTIDOS

A figura 4 mostra a vazão média de uma BTS no enlace direto em função do número de usuários NRT. Os mecanismos de agendamento de pacotes MTBS e RR fornecem, respectivamente, a maior e a menor vazão média na BTS. A vazão média na BTS obtida no mecanismo MTBS é maior que a dos outros mecanismos pelo fato de a taxa de bits de transmissão requerida pela aplicação ser sempre atendida independentemente da qualidade do canal (SIR). Já a vazão média na BTS do mecanismo MSIR/MTBS é inferior ao do mecanismo MTBS, pois a taxa de bits requerida pela aplicação pode ser limitada pela baixa qualidade do canal (baixo valor de SIR devido à localização desfavorável do usuário na região de cobertura). Entretanto, como dentro do limite de taxa de bits máxima permitida pela SIR as sessões de aplicações/usuários que requerem a maior taxa de bits são priorizadas, a vazão média na BTS do mecanismo MSIR/MTBS é significativamente superior ao do mecanismo MSIR. Na figura 5 é mostrada a vazão média percebida pelo usuário (VPU) em função do número de usuários na BTS. A VPU é calculada a partir do tamanho médio das páginas e atraso no sistema, sendo definido como:

$$VPU = \frac{\text{Tamanho médio da página}}{\text{Tempo de carregamento da página}} \quad (6)$$

A VPU no mecanismo MSIR/MTBS é dependente da TBS: quanto maior a TBS do usuário, maior é a vazão alcançada e vice-versa. Conforme mostrado na figura 5, para aplicações com TBS=2,4 Mbps, a VPU obtida no mecanismo MSIR/MTBS é superior ao do mecanismo MSIR. Por outro lado, a situação inverte-se para aplicações com TBS=614,4 kbps. Conseqüentemente, conforme mostrado na figura 6, o atraso médio no sistema também depende da TBS do usuário, procurando diminuir o atraso para os usuários ou aplicações que requerem altos valores de TBS em detrimento do atraso para usuários que requerem baixos valores de TBS. O mecanismo MSIR/TBS aloca para cada usuário uma taxa de bits na medida necessária para atender a QoS requerida dentro do limite permitida pela SIR. Portanto, os recursos rádio são alocados de forma mais otimizada no mecanismo MSIR/MTBS do que nos outros mecanismos.

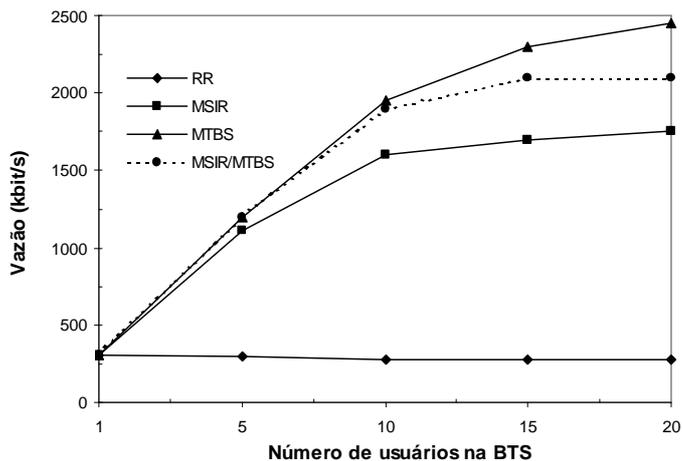


Figura 4: Vazão média da BTS

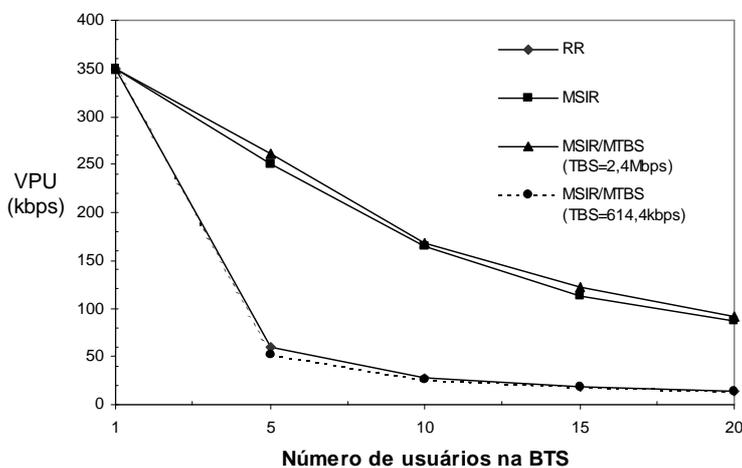


Figura 5: Vazão média percebida pelo usuário (VPU)

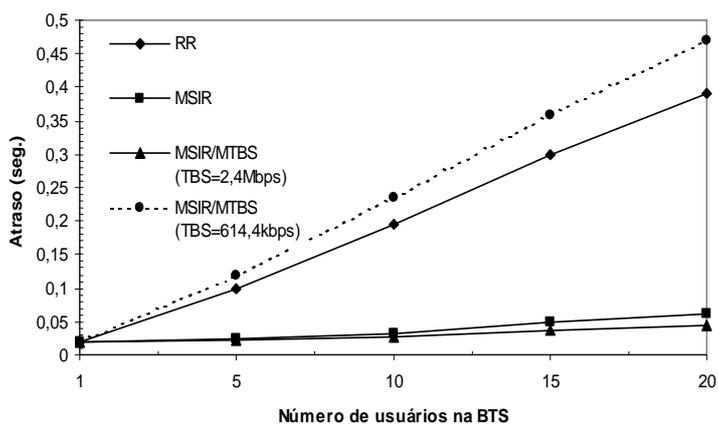


Figura 6: Atraso médio no sistema

## V. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi investigado e simulado um mecanismo de agendamento de pacotes, denominado MSIR/MTBS, que combina a qualidade do canal em termos de SIR com a QoS requerida pela aplicação ou usuário em termos de taxa de bits. As vazões em função do número de usuários na BTS e atrasos de pacotes obtidos por este mecanismo foram comparadas com as vazões e atrasos de outros mecanismos de agendamentos de pacotes: Round Robin (RR), Máxima taxa de bits por pacote (MTBS) e Máximo SIR ou TBP (MSIR). Os resultados mostram que o mecanismo proposto MSIR/MTBS faz uma melhor utilização de recursos rádio do que os outros mecanismos, pois, além de obter a máxima vazão total por BTS, as taxas de bits à cada usuário são alocadas na medida adequada para atender a QoS requerida por cada um dos usuários.

## REFERÊNCIAS

- [1] Recomendação ITU-T Q.1701 (03/99) – Framework for IMT-2000 networks.
- [2] J. S. Yamamoto, R. Pasti, “Simulação de Algoritmos de Agendamento de Pacotes em Sistemas WCDMA”, XX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações-SBT'03, 05-08 de outubro de 2003, Rio de Janeiro, RJ.
- [3] A. Jatali, R. Padovani, and R. Pankaj, “Data throughput of CDMA-HDR a high efficiency high data rate Personal Communication Wireless system”, in Proc. IEEE Vehicular Tech. Conf. (VTC 2000 Spring), Tokyo, Japan, May 2000, vol. 3, pp. 1854-1858.
- [4] Robert C. Elliott and Witold A. Krzymien, “Scheduling Algorithms for the cdma2000 Packet Data Evolution, in Proc. IEEE Vehicular Tech. Conf. (VTC 2002 Fall), Vancouver, Canada, September 2002.
- [5] Jelena Damnjanovic, Avinash Jain, Tao Chen, Sandip Sarkar, “Scheduling the cdma2000 Reverse Link”, in Proc. IEEE Vehicular Tech. Conf. (VTC 2002 Fall), Vancouver, Canada, September 2002.
- [6] Luis Almajano, Jordi Pérez-Romero, “Packet Scheduling Algorithms for Interactive and Streaming Services under QoS Guarantee in a CDMA System”, in Proc. IEEE Vehicular Tech. Conf. (VTC 2002 Fall), Vancouver, Canada, September 2002.