

# Avaliando a Estratégia de Comutação de Modelos de Alocação de Banda

Rafael Freitas Reale

Federal Institute of Bahia - IFBA - reale@ifba.edu.br

Romildo Martins da Silva Bezerra

Federal Institute of Bahia - IFBA - romildo@ifba.edu.br

Joberto S. B. Martins

Salvador University - UNIFACS - joberto.martins@gmail.com

**Abstract**—Os Modelos de Alocação de Banda (*Bandwidth Allocation Models* – BAMs) são empregados em redes MPLS (*MultiProtocol Label Switching*)/DS-TE (*DiffServ-Aware Traffic Engineering*) para definir restrições de banda (*Bandwidth Constraints* - BCs) por classe de tráfego. Efetivamente definem como os recursos, tais como a largura de banda, são utilizados e compartilhados pelas aplicações. Os principais BAMs propostos são o MAM – *Maximum Allocation Model*, o RDM – *Russian Dolls Model* e o AllocTC-Sharing e visam otimizar a utilização de banda para enlaces com diferentes características de alocação e compartilhamento de recursos. Como tal, a adoção de BAMs diferentes ou mudanças no perfil de tráfego podem resultar em diferentes formas de alocação de tráfego e comportamentos operacionais distintos para a rede. Este artigo avalia a utilização do enlace, as preempções e os fluxos bloqueados resultantes do uso dinâmico de modelos BAM para diferentes cenários de tráfego. Este artigo demonstra que a adoção de uma estratégia de chaveamento dinâmico de BAM pode resultar em benefícios para a operação da rede em termos da utilização do enlace, das preempções e dos bloqueios.

**Keywords** - BAM, Gerenciamento Dinâmico, RDM, AllocTC-Sharing, Chaveamento de BAMs.

## I. INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

Os modelos de alocação de banda (*Bandwidth Allocation Models* - BAMs) são utilizados com o objetivo de efetivar regras e limites para utilização da banda dos enlaces, através de restrições de banda (*Bandwidth Constraints* - BCs), pelas classes de tráfegos (CTs) em redes MPLS/DS-TE [1]. Estes modelos definem efetivamente como os recursos (largura de banda) são obtidos e compartilhados pelas aplicações.

A definição e configuração de um BAM específico (MAM, RDM, G-RDM, AllocTC-Sharing, dentre outros) para uma rede depende de um processo de avaliação feito tipicamente pelo gerente da rede. Este processo de avaliação considera aspectos como o conjunto de aplicações mapeadas para classes de tráfego (CT), as prioridades alocadas para as classes de tráfego (CT) e mapeamento das SLAs (*Service Level Agreement*) para requisitos de QoS (*Quality of Service*) das aplicações.

Uma vez que um BAM específico é definido e configurado para a rede, ele terá um comportamento estático e desempenho otimizado em termo da utilização do enlace, número de preempções e número

de solicitações de estabelecimentos de LSPs (*Label Switched Path*) bloqueadas para o perfil de tráfego considerado.

Na maioria dos casos, a avaliação e escolha do BAM a ser usado em uma rede consiste num processo de avaliação complexo e os gerentes de rede só reavaliam sua escolha em caso de problema na rede. Como decorrência, do ponto de vista da gerência de redes, a avaliação e configuração dos modelos de alocação de banda podem ser, eventualmente, feitos por um arcabouço autônomo capaz de analisar o estado atual da rede, seus requisitos de SLA/QoS e, com base nisso, inferir o BAM mais adequado e seus parâmetros. Uma proposta de arcabouço com características autônomas foi proposta pelos autores em [2].

A principal motivação deste artigo é a investigação preliminar da viabilidade da adoção de uma estratégia de chaveamento dinâmico de BAMs em cenários de tráfego diferenciados. O foco deste artigo é a identificação das eventuais vantagens, desvantagens e desafios do chaveamento dinâmico de BAMs sob diferentes cenários de tráfego.

O artigo é organizado da seguinte forma: iniciamos com uma breve análise dos mais citados modelos de alocação de banda (MAM, RDM, G-RDM e AllocTC-Sharing) mais citados, em função das suas características de alocação e compartilhamento de recursos. Na sequência, estes BAMs são comparados utilizando-se diferentes cenários de tráfego, a fim de investigar o impacto do chaveamento dinâmico dos BAMs. Por fim, os resultados obtidos na avaliação e simulação realizados sugerem que a adoção de uma estratégia de chaveamento dinâmico BAMs pode resultar em benefícios para a operação da rede em termos de utilização do enlace e ocorrência de preempção e bloqueios de LSPs.

## II. MODELOS DE ALOCAÇÃO DE BANDA (*BANDWIDTH ALLOCATION MODELS* – BAMs) – UMA BREVE VISÃO

O estado da arte dos modelos de alocação de banda tem tido como foco a busca por novos modelos com estratégias distintas para a alocação e compartilhamento de recursos ou modelos híbridos de modelos de alocação de banda existentes [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10].

Classificamos as principais estratégias de alocação de recurso (banda) pelos modelos de alocação de banda como fazendo uso de 3 tipos de alocação de recurso (Figura 1):

- Recurso privado (*Private*) – Nesta forma de alocação o recurso é exclusivo da Classe de Tráfego (CT);

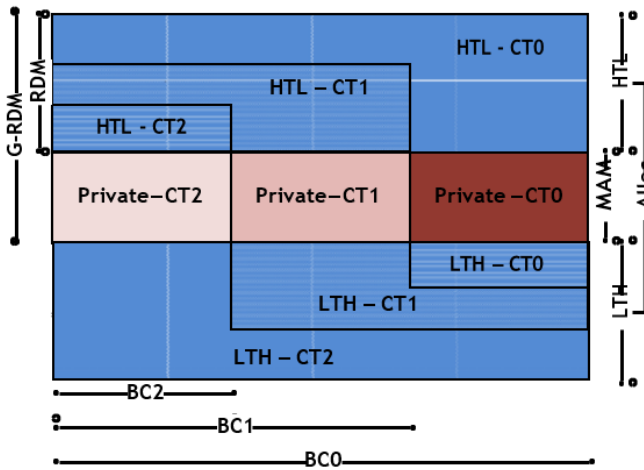


Fig. 1. BAMBs e estratégia de alocação de banda

- Compartilhamento de **alta para baixa** (*high-to-low* – HTL)<sup>1</sup> – Nesta forma de alocação a banda alocada para CTs de maior prioridade e não utilizada pode ser compartilhada, de forma temporária, com CTs de menor prioridade; e
- Compartilhamento de **baixa para alta** (*low-to-high* – LTH)<sup>2</sup> – Nesta forma de alocação a banda alocada para CTs de menor prioridade e não utilizada pode ser compartilhada, de forma temporária, em forma de empréstimo, com CTs de maior prioridade.

O *Maximum Allocation Model* (MAM) é abordado em [5] [8] e, nesse modelo, cada classe de tráfego (CTs) é configurada pelo administrador da rede para usar uma determinada quantidade de banda do enlace (recurso). Este recurso é alocado sob demanda para as aplicações pertencentes às classes de tráfego (CTs). O MAM efetivamente isola classes de tráfego (CT) e não há compartilhamento algum de largura de banda entre aplicações pertencentes a diferentes classes. Conforme a Figura 1 pode-se afirmar que o MAM utiliza apenas a estratégia de alocação de recursos privado.

O *Russian Dolls Model* (RDM) é apresentado em [4] [10] e, nesse modelo, CTs com os valores mais altos são hierarquicamente superiores às CTs com valores mais baixos. O raciocínio geral envolvido na operação do modelo RDM é derivado do modelo básico de prioridades utilizado por aplicações em rede. No caso, a banda livre das aplicações mais prioritárias pode ser temporariamente utilizada por aplicações menos prioritárias.

O RDM é uma evolução efetiva do modelo MAM e introduziu a primeira tentativa de compartilhar recursos entre os CTs e, consequentemente, LSPs. Como efeito, o RDM permite o compartilhamento de recursos de banda alocados não utilizados por aplicações de alta prioridade para aplicações de baixa prioridade. Conforme classificação das principais estratégias de alocação de recurso (largura de banda), o modelo RDM utiliza exclusivamente o compartilhamento de **alta-para-baixa** (*high-to-low* - HTL).

O modelo G-RDM é basicamente um modelo híbrido unindo as estratégias de alocação **alta para baixa** proposta no RDM com a estratégia de recursos privados proposta no MAM [3]. O resultado global da operação é um modelo híbrido MAM/RDM com um volume limitado de compartilhamento de recursos para aplicações alocados em classes de tráfego distintas.

<sup>1</sup>Nesta estratégia, se considera a **preempção** de aplicações menos prioritárias em relação às aplicações prioritárias sempre que existe uma necessidade de banda por parte das aplicações prioritárias.

<sup>2</sup>Nesta estratégia, o conceito de **empréstimo** corresponde ao uso temporário da banda alocada a CTs menos prioritárias por parte das LSPs mais prioritárias. **Devolução** corresponde ao prematuro encerramento de uma LSP prioritária estabelecida por empréstimo.

O modelo AllocTC-Sharing utiliza uma estratégia oportunista de alocação de recursos (largura de banda) [7]. AllocTC-Sharing permite duas estratégias de alocação recursos (banda) concomitantemente: compartilhamento de **alta-para-baixa** (*high-to-low* – HTL) e compartilhamento de **baixa-para-alta** (*low-to-high* – LTH). O estilo de alocação de banda **alta-para-baixa** é equivalente ao modelo RDM. O estilo alocação de banda **baixa-para-alta** permite que as classes de alta prioridade aloquem temporariamente a banda não utilizada reservada principalmente para as classes de baixa prioridade em forma de empréstimos.

### III. CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS DE ALOCAÇÃO DE BANDA

As características dos principais modelos de alocação de banda atualmente disponíveis na literatura visam otimizar perfis de tráfego distintos e, como tal, implicam em um comportamento geral da rede distinto para diferentes matrizes de tráfego e/ou diferentes tipos e classes de aplicações. Com o objetivo de avaliar as principais características gerais dos BAMBs, este trabalho irá considerar os modelos MAM, RDM e AllocTC-Sharing que acreditamos representar os principais aspectos operacionais básicos e evolução dos BAMBs.

Como visto anteriormente, o modelo MAM não admite compartilhamento de banda entre classes de tráfego (CT) (ou **alta-para-baixa** ou **baixa-para-alta**) e, como tal, é indicado quando temos um perfil de tráfego de rede onde as classes de tráfego necessitam de alto isolamento [3]. A utilização do modelo MAM em uma rede pode implicar em uma baixa eficiência na utilização de banda do enlace, pois os recursos disponíveis não podem ser compartilhados por LSPs de diferentes CTs.

A utilização do modelo RDM permite que aplicações de baixa prioridade possam se beneficiar da banda disponível que seria prioritariamente alocada para aplicações de alta prioridade. Em relação à situação oposta, as aplicações de alta prioridade não podem se beneficiar da banda disponível para as aplicações de baixa prioridade.

Na verdade, no caso das aplicações de alta prioridade excederem as suas restrições de banda (além do configurado para a BC), as novas requisições de LSPs serão bloqueadas uma vez que não podem se beneficiar da banda ociosa alocada exclusivamente para aplicações de baixa prioridade. O impacto operacional para este modelo é que a utilização do enlace pode não ser máxima com este BAMB [7].

O modelo AllocTC-Sharing suporta ambos os estilos de compartilhamento concomitantemente: **alta-para-baixa** e **baixa-para-alta**. O modelo AllocTC-Sharing permite a utilização de banda disponível em ambas as direções. O custo operacional de permitir compartilhamento de banda em ambas as direções é que preempções também pode ocorrer em ambos os sentidos (preempção convencional de aplicações de baixa prioridade pelas aplicações de alta prioridade e devoluções de banda que são preempções de aplicações prioritárias estabelecida por empréstimo por aplicações de baixa prioridade).

Como discutido em [7], AllocTC-Sharing tende a maximizar a utilização do enlace de forma oportunista, mas também tem de considerar o impacto de devolver a banda emprestada de aplicações de baixa prioridade pelas aplicações de alta prioridade. Como tal, este modelo é mais adequado para aplicações de alta prioridade que permitam o uso elástico de banda.

As características básicas dos BAMBs anteriormente descritos são ilustradas na Figura 1 e resumidas na Figura 2 - Tabela 1. O impacto destas características é considerado em relação ao conjunto de aplicações agrupadas como CTs e em execução na rede.

### IV. UTILIZAÇÃO DINÂMICA DE BAMBs

As redes de computadores, em sua grande maioria, são dinâmicas, assimétricas, multi-caminhos e com recursos limitados em termos de banda (Redes Multiserviço). Essa característica dinâmica do perfil de tráfego resulta em múltiplas aplicações rodando com diferentes SLA. Além do que, o perfil de tráfego de cada aplicação individualmente pode mudar com o tempo (dia/noite, semana/fim de semana, feriados,

TABELA I – CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DOS BAMs (MAM, RDM E ALLOC-TC-SHARING)

BAM – Características Operacionais	MAM	RDM	AllocTC-Sharing
Compartilhamento de “alta para baixa”	Não	Sim	Sim
Compartilhamento de “baixa para alta”	Não	Não	Sim
Eficiência na utilização de banda com alto volume de tráfego de baixa prioridade	Baixa	Alta	Alta
Eficiência na utilização de banda com alto volume de tráfego de alta prioridade	Baixa	Baixa	Alta
Isolamento entre CTs	Alto	Médio	Baixo

Fig. 2. Tabela I

entre outros). Também, na maioria das vezes, o tráfego da aplicação é assimétrico devido à característica de cliente-servidor

Como vimos anteriormente, cada modelo de alocação de banda tem como foco um determinado perfil de tráfego otimizando alguma métrica como: utilização de enlace, preempção, devolução, bloqueios, fluxos atendidos, entre outros. Diferentes modelos de alocação de banda (BAM) operam com estratégias de alocação de recursos (banda) distintos e, como tal, o comportamento global da rede é diferente para BAMs distintos sob perfis de tráfego idênticos. Desta forma, a escolha de um modelo de alocação de banda e seus parâmetros necessita estar em sintonia com perfil de tráfego da rede.

Do ponto de vista da gerência de redes, é mais eficaz a escolha e configuração dos BAMs de acordo com o perfil tráfego da rede atual de forma dinâmica, considerando requisitos de SLA/QoS das aplicações (indiretamente requisitos das CTs SLA/QoS, já que as aplicações são agrupadas em classes de tráfego - CT).

O primeiro passo para essa abordagem de gerência consiste em investigar se, efetivamente, o chaveamento dinâmico dos BAMs (MAM, RDM, G-RDM ou AllocTC-Sharing) é vantajoso ou não para a operação da rede e quais são os desafios para a sua implementação. Este é o foco das próximas seções deste artigo.

A próxima etapa desta pesquisa é, conforme proposto em [2], o desenvolvimento de um arcabouço com a capacidade para decidir dinamicamente (*on-the-fly*) qual modelo de alocação de banda é adequada para um determinado estado de tráfego de rede. Isto corresponderá a uma forma mais dinâmica de uso dos modelos de alocação de banda, permitindo considerar uma grande quantidade de parâmetros (SLAs, QoS, preempções, bloqueios, outros), a fim de inferir a melhor configuração para a rede. Este arcabouço deverá incorporar algumas características autônomicas, a fim de melhor apoiar o processo de tomada de decisão da rede minimizando a atuação do gerente.

Nas seções seguintes, será apresentada a avaliação do chaveamento dinâmico de BAMs com dois cenários de tráfego distintos e mais extremados.

## V. CENÁRIO DE AVALIAÇÃO

O principal objetivo desta avaliação preliminar da utilização dinâmica de BAMs (chaveamento BAM) em redes será a identificação de algumas vantagens e desvantagens potenciais resultantes da adoção desta abordagem. Como tal, os cenários de avaliação discutidos neste artigo são um subconjunto específico de cenários completos de operação da rede e foca em perfis de tráfego mais extremos, onde a rede alterna entre combinações de alto volume de tráfego e baixo volume de tráfego em duas fases.

Dois BAMs são usados na simulação (RDM e AllocTC-Sharing). Dois cenários de tráfego foram adotados e configurados com 3 classes de tráfego:

- CT0 - aplicações de baixa prioridade;
- CT1 - aplicações com prioridade intermediária; e
- CT2 - aplicações de alta prioridade.

O tráfego de CT1 é caracterizado como um tráfego interferência e será mantido estável em termos de variação tráfego e demandas recursos em ambos os cenários e fases.

### A. Cenário 01 – Análise do Chaveamento de BAM

No primeiro cenário, o perfil de tráfego utilizado para identificar as características de chaveamento dinâmico de BAMs terá duas fases distintas de tráfego:

- A fase 01 da simulação tem um alto perfil de tráfego (demanda de banda) para CT2 (aplicação de alta prioridade) e um baixo perfil de tráfego para CT0 (aplicações de baixa prioridade).
- A fase 02 da simulação mantém um elevado perfil de tráfego (demanda de banda) para CT2 (aplicações de alta prioridade) e impõe um alto perfil de tráfego para CT0 (aplicações de baixa prioridade).

### B. Cenário 2 – Análise do Chaveamento de BAM com Perfil de Tráfego Invertido

No cenário 02, as demandas de tráfego são invertidas da seguinte forma:

- A fase 1 da simulação tem um alto perfil de tráfego (demanda de banda) para CT2 (aplicações de alta prioridade) e alto perfil de tráfego para CT0 (aplicações de baixa prioridade).
- A fase 2 da simulação tem um alto perfil de tráfego (demanda de banda) para CT2 (aplicações de alta prioridade) e baixo perfil de tráfego para CT0 (aplicações de baixa prioridade).

Como resultado, os cenários e fases foram definidos considerando-se que as características dos BAMs (RDM e AllocTC-Sharing) diferem quando os perfis de tráfego estão em situações extremas.

### C. Detalhes da Análise do Chaveamento de BAMs

Os parâmetros avaliados na simulação foram: utilização do enlace (por CT e por enlace), número de preempções e quantidade de bloqueios de LSP.

A topologia de rede empregada incluiu uma fonte de tráfego (S1), dois tráfegos de interferência (S2 e S3) e um destino (D) (Figura 3). O algoritmo para a seleção de caminho utilizado foi o CSPF (*Constrained Shortest Path First*).

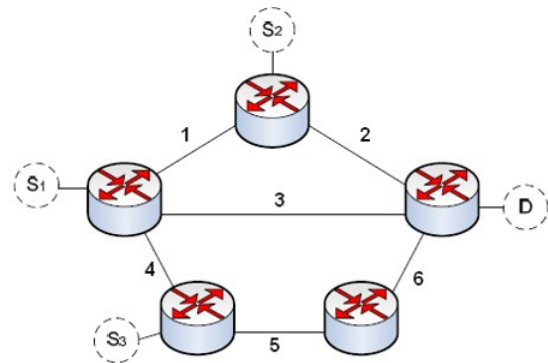


Fig. 3. Topologia da rede utilizada nas simulações

Cada cenário foi simulado com 5 sementes aleatórias e os resultados são apresentados em termos do valor médio obtido (intervalo de confiança de 95%) [11]. Os parâmetros de configuração dos cenários de simulação são como segue:

- Enlace: 622 Mbps (STM-4 – SDH)
- Restrições de Banda (BCs) conforme a Figura 4 - Tabela II

O gatilho para o chaveamento entre BAMs (AllocTC-Sharing e RDM) é outra definição de parâmetros de simulação. Existem diversos parâmetros que podem ser utilizados com gatilho para o chaveamento entre os BAMs pelo gerente da rede, dentre eles:

TABELA II – RETRIÇÕES DE BANDA (BCs) POR CLASSE DE TRÁFEGO (CTs)

BC	Max BC(%)	MAX BC (Mbps)	CT por BC
BC <sub>0</sub>	100	622,0	CT <sub>0</sub> +CT <sub>1</sub> +CT <sub>2</sub>
BC <sub>1</sub>	80	497,6	CT <sub>1</sub> +CT <sub>2</sub>
BC <sub>2</sub>	45	279,9	CT <sub>2</sub>

Fig. 4. Tabela II

- utilização do enlace (por enlace ou CT);
- número de preempções;
- número de bloqueios;
- número de devoluções; e
- tempo (dia/noite, semana/fim de semana, feriado), entre outros.

Nessa avaliação preliminar, a condição específica para habilitar o chaveamento é quando a utilização da banda CT0 atinge 80%.

Quando a utilização de CT0 está abaixo de 80%, AllocTC-Sharing é usado para que as CTs de alta prioridade possam se beneficiar da banda disponível de baixa prioridade a fim de favorecer características oportunistas deste modelo.

Outros parâmetros de simulação são:

- LSPs - duração do estabelecimento modelada exponencialmente - média de 220 segundos, provocando a saturação do enlace;
- LSP - banda distribuída uniformemente entre 05 Mbps e 25 Mbps; e
- Número de LSPs - 2.000.

## VI. CARACTERÍSTICAS DO CHAVEAMENTO DINÂMICO DO BAM – AVALIAÇÃO PRELIMINAR

A Figura 5 ilustra a utilização do enlace por CTs resultante, no cenário 1, com a utilização exclusiva do RDM, apenas o AllocTC-Sharing e para chaveamento dinâmico do AllocTC-Sharing para RDM (BAM Dinâmico – uso dinâmico de BAMs) imposta pela mudança de perfil de tráfego da fase 1 para fase 2.

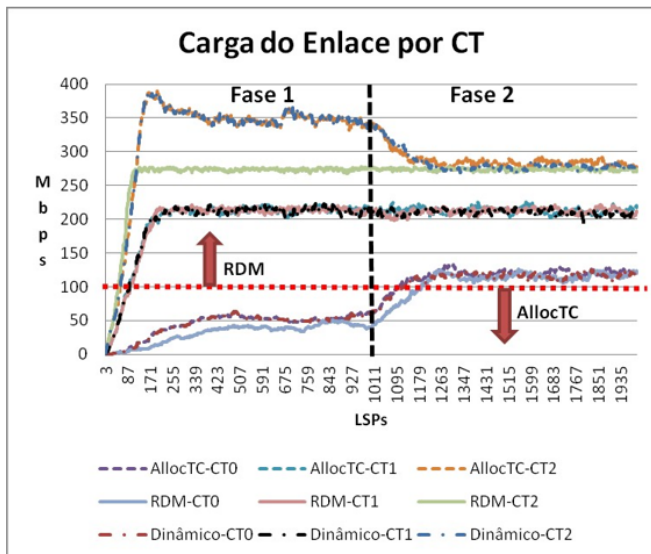


Fig. 5. Utilização do enlace por CT. A linha horizontal indica o ponto de chaveamento do BAM, como citado na seção V. O ponto de chaveamento escolhido nesta simulação ocorre na situação de saturação da CT0 (80% CT0).

Observa-se que a utilização do enlace por CTs é maximizada na fase 01 (primeira parte da simulação) com LSPs de CT2 (aplicações de alta prioridade) utilizando empréstimo de banda de CT0 (aplicação de baixa prioridade). Este comportamento do AllocTC-Sharing para

este padrão de tráfego é reflexo da baixa demanda por tráfego de baixa prioridade. Na fase 02, o enlace tende a saturação (alto volume de tráfego para CT0 e CT2) e, como tal, tanto AllocTC-Sharing e RDM têm um comportamento similar com o uso de banda alcançando os limites configurados (BCs). Como tal, a simulação sugere que a utilização do enlace por CTs (Fig. 3) e utilização do enlace (Figura 11) pode ser melhorada nestes cenários de tráfego usando AllocTC-Sharing para a fase 01 e para a fase 02 ou uma combinação de AllocTC-Sharing (fase1) seguido por RDM (fase 2).

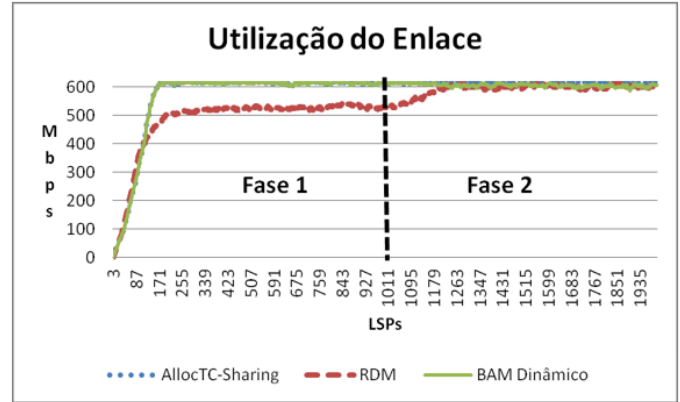


Fig. 6. Utilização do Enlace

Os BAMs (RDM e AllocTC-Sharing) têm um custo operacional, uma vez que podem temporariamente emprestar banda de outras classes e com a saturação da CT ou do enlace (alto volume de tráfego) a banda poderá ter que ser devolvida. Dois parâmetros refletem esse comportamento: o número de preempções e o número de LSPs bloqueados (demanda de banda não atendida).

A Figura 7 ilustra o número de "devoluções" que são preempções de LSPs pertencentes à CTs superiores que utilizaram banda emprestada destinada a LSPs de CTs de baixa prioridade [7] e sugere que a mudança de AllocTC-Sharing para RDM irá melhorar o comportamento das aplicações de alta prioridade (CT2), uma vez que reduziria o número de encerramentos de LSPs a fim de devolver os empréstimos tomadas pelo modelo AllocTC-Sharing.

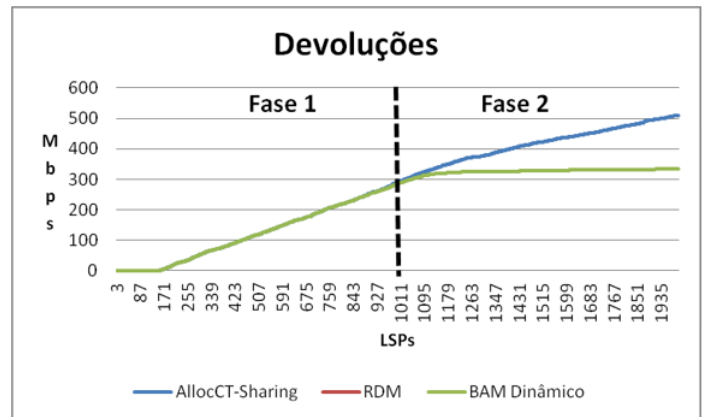


Fig. 7. Preempção por devolução de tráfego de alta prioridade por tráfego de baixa prioridade

Em resumo, em um cenário de tráfego começando com aplicações de baixa prioridade com pouco tráfego e evoluindo para alto volume de tráfego para todas as classes (CT) o chaveamento dinâmico melhoraria a operação da rede. Neste contexto, considera-se que preempção de aplicações de alta prioridade é uma situação indesejada.



A Figura 8 ilustra o número de preempções de tráfego de baixa prioridade por tráfego de alta prioridade no cenário 01. Em primeiro lugar é sugerido que o AllocTC-Sharing tem um melhor comportamento em relação à utilização RDM. A Figura 06 também indica que chaveamento de AllocTC-Sharing para RDM implicaria em ter mais preempções em relação a manter a utilização AllocTC-Sharing para o cenário 01. Desta forma, as Figuras 05 e 06 indicam comportamentos distintos de preempção e devolução e uma decisão eficaz sobre a abordagem mais adequada, alternar BAM ou não, pode ser ditada pelos requisitos de aplicação (SLA/QoS).

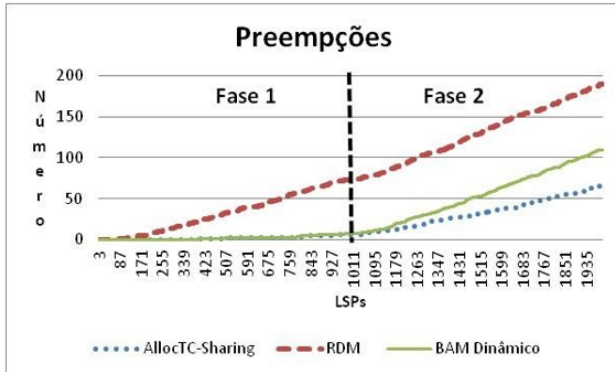


Fig. 8. Preempção de tráfego de baixa prioridade por tráfego de alta prioridade

O comportamento dos bloqueios para o cenário 01 é ilustrada na Figura 9. Neste caso, os bloqueios e preempções de LSPs de tráfego de baixa prioridade pelo tráfego de alta prioridade têm comportamentos semelhantes e as mesmas considerações se aplicam.

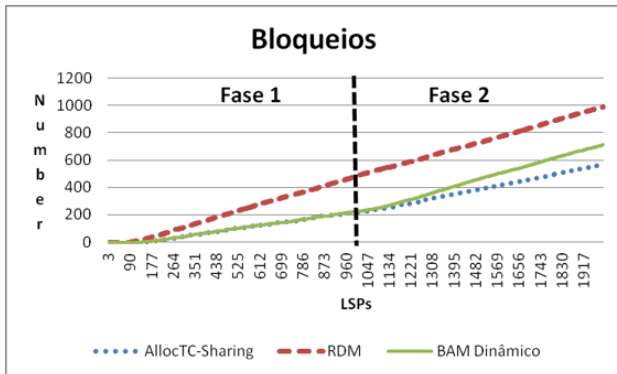


Fig. 9. Bloqueio de LSPs

A Figura 10 ilustra a utilização do enlace por CTs no cenário 2. Para a fase 1 o tráfego é alto para todas as CTs (classes) e, como tal, cada classe de tráfego tenta usar a banda reservada até o limite definido pelo seu BC.

No início da fase 1, AllocTC-Sharing é empregado pela primeira vez (menos de 80% da capacidade CT0) e, usando suas características oportunistas, a CT2 utiliza banda emprestada de CT0 mantendo carga enlace por CT (Figura 10) e utilização de enlace (Figura 11) no seu máximo. O chaveamento para RDM ocorre aproximadamente com 250 LSPs estabelecidas.

Um aspecto negativo a ser observado na fase 1 é vez uma vez que a CT0 (aplicação de baixa prioridade) atinge um alto volume de tráfego, o número de devoluções é substancialmente elevado durante a fase 1 até aproximadamente 240 LSPs pelo uso do AllocTC-Sharing pelo BAM Dinâmico (Figura 12). Durante o restante da fase 1 (aproximadamente de 240 a 1000 LSPs), o número de devoluções permanece estável. Pode ser observado que o comportamento dinâmico

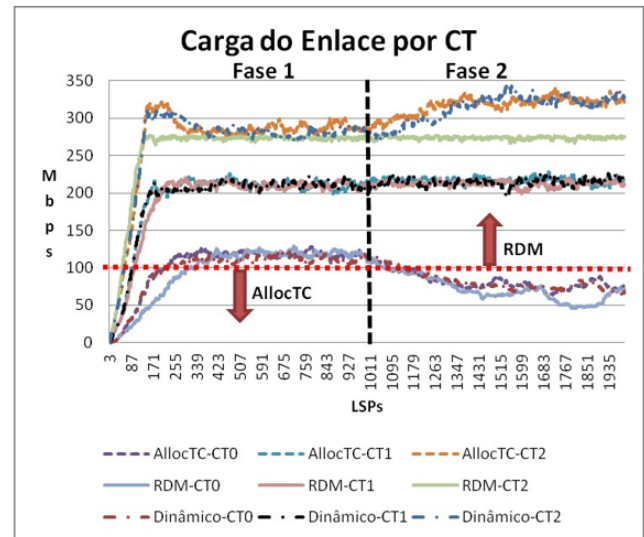


Fig. 10. Utilização do enlace por CT. A linha horizontal indica o ponto de chaveamento do BAM, como citado na seção V. O ponto de chaveamento escolhido nesta simulação ocorre na situação de saturação da CT0 (80% CT0).

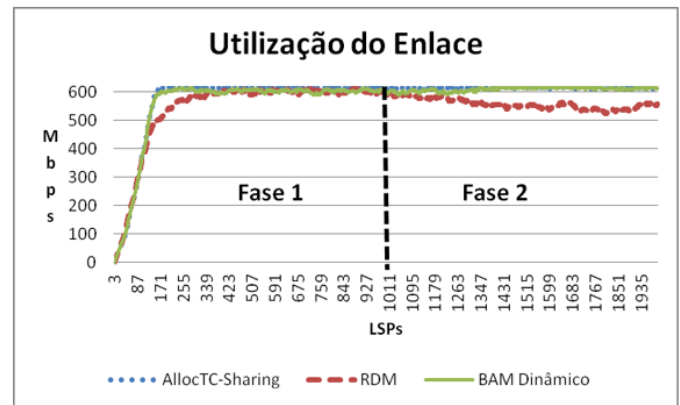


Fig. 11. Utilização do enlace

do BAM (chaveamento AllocTC-Sharing e RDM) tem muito menos devoluções do que manter AllocTC-Sharing como o BAM para toda a fase de 1.

Neste ponto é importante que a adoção do AllocTC-Sharing tem a considerar se as aplicações de alta prioridade em CT2 podem pagar as devoluções. Consideramos que aplicações multimídia elásticas de alta prioridade, que são comuns, poderiam ser um exemplo de uma classe de aplicação que pode lidar com esse comportamento do AllocTC-Sharing. Qualquer estrutura considerando a efetiva implementação desta estratégia também deve considerar o que fazer com as aplicações que são eleitas para a devolução de banda. Na fase 2, o chaveamento de volta para AllocTC-Sharing mantém o aproveitamento do enlace em seu máximo devido à redução de banda para a CT0.

Em relação ao parâmetro preempção (Figura 13), observa-se que a abordagem de chaveamento dinâmico segue o comportamento AllocTC-Sharing até a mudança para RDM na fase 1 (aproximadamente 240 LSPs). Até o final da fase 1 (240 a 1000 LSPs aproximadamente) segue-se o RDM com um comportamento menos eficiente do que AllocTC-Sharing. E para a fase 2 o AllocTC-Sharing é ativo de volta e o número de preempções segue o comportamento do AllocTC-Sharing, levando a uma situação melhor quando comparado com o RDM.

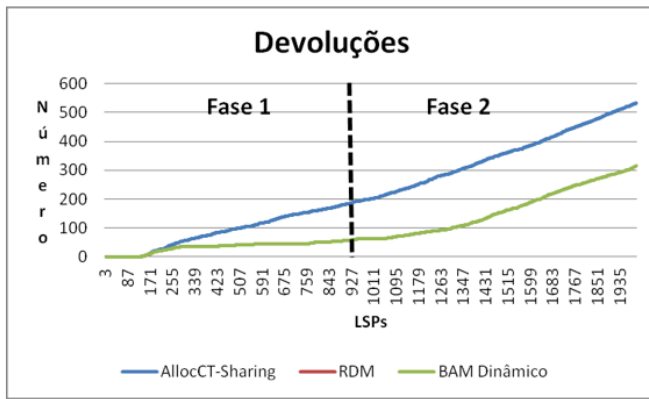


Fig. 12. Preempção por devolução de tráfego de alta prioridade por tráfego de baixa prioridade

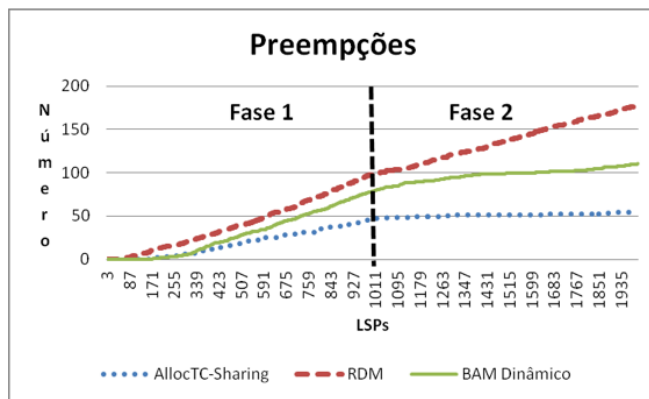


Fig. 13. Preempção de tráfego de baixa prioridade por tráfego de alta prioridade

Em geral, chaveamento dinâmico pode conseguir um melhor desempenho a depender do perfil de tráfego e isso deve ser considerada pelo gerente da rede sempre que adotar a estratégia proposta.

Esta avaliação preliminar identificou dois pontos importantes a serem considerados no chaveamento dinâmico de BAMs: a compatibilidade dos BAM relativa às estratégias de alocação de banda das aplicações e o impacto da frequência dos chaveamentos.

O chaveamento entre BAMs incompatíveis quanto à estratégia de alocação de banda pode gerar um alto custo de operação para a rede (encerramento de LSPs, bloqueios, ...) e uma frequência alta nestes chaveamentos podem interferir significativamente no desempenho geral da rede.

A título de exemplo, chavear do modelo AllocCT-Sharing para o modelo RDM irá remover o compartilhamento de baixa para alta e desta forma encerrar os fluxos que se beneficiam desta estratégia. O mesmo ocorre ao chavear do modelo RDM para o modelo MAM. Neste caso, retira-se a possibilidade de compartilhamento de alta para baixa e desta forma impacta os fluxos que se beneficiam desta estratégia.

Identificamos com isto a possibilidade de chaveamentos intermediários entre os BAMs com estratégias muito distintas. Por exemplo, ao invés de chavear direto de RDM para MAM, pode-se chavear para G-RDM (híbrido MAM/RDM) e com o tempo ir reduzindo a quantidade de compartilhamento de alta para baixa e, por fim, chavear para o MAM.

De maneira geral, o estudo sugere que o chaveamento se mostra viável mesmo com os impactos citados anteriormente como vimos na simulação anterior.

## VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os BAMs atuais (MAM, RDM, G-RDM, AllocTC-Sharing) possuem comportamentos diferentes que influenciam a definição da alocação de banda para as classes de tráfego (CT). Como tal, quando o perfil de tráfego de uma rede muda, a utilização de BAMs distintos implica em respostas distintas para as aplicações em termos de demandas por recurso (banda). Neste contexto, argumenta-se que a estratégia de chaveamento entre BAMs pode ser relevante para a operação da rede.

Os resultados apresentados neste artigo são considerados uma avaliação preliminar das características de chaveamento para 02 BAMs específicos (AllocTC-Sharing e RDM) e os dados da simulação foram obtidos para um conjunto específico de parâmetros de operação da rede e de simulação. Os resultados sugerem que o chaveamento dinâmico de BAMs pode otimizar os recursos da rede tais como: utilização da banda do enlace e minimizar as preempções e os bloqueios de LSPs. Como consequência, as desvantagens de operação de um determinado BAM, como preempções, devoluções e bloqueio de LSP podem ser minimizadas com a estratégia de chaveamento dinâmico para perfis de tráfego distintos. De maneira geral, matriz de tráfego da rede pode ser usada para ditar quais os parâmetros que devem ser aplicadas de acordo com as aplicações ou com o perfil de CTs suportados pela rede.

A comutação de BAMs pode ser desencadeada por de parâmetros, tais como preempções, bloqueio, devoluções, e utilização do enlace, entre outros. Isto leva a um conjunto de possibilidades para a configuração de utilização BAM no contexto do gerenciamento de rede.

Além dos pontos já considerados, a avaliação apresentada sugere dois aspectos novos a serem considerados: a compatibilidade dos BAM relativa às estratégias de alocação de banda e a frequência dos chaveamentos. De maneira geral, os resultados indicam a necessidade do desenvolvimento de BAMs de transição, para o caso que não existam, ou um modelo que generalize todos os principais BAMs a fim de que o chaveamento tenha um desempenho otimizado para vários cenários de tráfego.

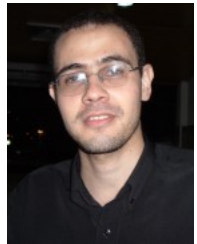
## REFERENCES

- [1] F. Le Facheur. Protocol Extensions for Support of DiffServ-aware MPLS Traffic Engineering. Request for Comments RFC 4124, Internet Engineering Task Force - IETF, 2005.
- [2] Rafael F Reale, Romildo M. da S. Bezerra, and Joberto S. B. Martins. A Bandwidth Allocation Model Provisioning Framework with Autonomic Characteristics. *International Journal of Computer Networks and Communications*, 5(6):103–119, November 2013.
- [3] D. Adami, C. Callegari, S. Giordano, M. Pagano, and M. Toninelli. G-RDM: A New Bandwidth Constraints Model for DS-TE Networks. In *IEEE GLOBECOM 2007*, pages 2472–2476, November 2007.
- [4] F. Le Facheur. Russian Dolls Bandwidth Constraints Model for DiffServ-Aware Mpls Traffic Engineering. Request for Comments RFC 4127, Internet Engineering Task Force - IETF, 2005.
- [5] F. Le Facheur and W. Lai. Maximum Allocation Bandwidth Constraints Model for DiffServ-Aware MPLS Traffic Engineering. Request for Comments RFC 4125, Internet Engineering Task Force - IETF, 2005.
- [6] Rafael F. Reale, Walter d C. P. Neto, and Joberto S. B. Martins. AllocTC-Sharing: A New Bandwidth Allocation Model for DS-TE Networks. In *7th Latin American Network Operations and Management Symposium*, pages 1–4, Quito, Equador, October 2011. IEEE.
- [7] R. F. Reale, W. da C. P. Neto, and J. S. B. Martins. Routing in DS-TE Networks with an Opportunistic Bandwidth Allocation Model. In *2012 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pages 88–93, Turkey, July 2012. IEEE.
- [8] T. Shan and O. Yang. Bandwidth Management for Supporting Differentiated Service Aware Traffic Engineering. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 18(9):1320–1331, September 2007.
- [9] Walter da Costa Pinto Neto and Joberto S. B. Martins. Adapt-RDM - A Bandwidth Management Algorithm suitable for DiffServ Services Aware Traffic Engineering. pages 975–978. IEEE, 2008.

- [10] Walter da Costa Pinto Neto and Joberto S. B. Martins. A RDM-like Bandwidth Management Algorithm for Traffic Engineering with DiffServ and MPLS Support. In *Proceedings of the 15th International Conference on Telecommunications - ICT*, pages 1–6, St. Petersburg, Russia, June 2008. IEEE.
- [11] M. MacDoughall. *Simulating Computer Systems Techniques and Tools*. The Massachusetts Institute of Technology Press, 1987.



**Rafael Freitas Reale** - PhD. student in Computer Science at DMCC with Salvador University - UNIFACS and UFBA - Federal University of Bahia. Rafael is at IFBA - Valença and has interest in computer networks topics like autonomy, bandwidth allocation models and machine learning.



**Prof. Dr. Romildo Martins da Silva Bezerra** - Doutor em Ciência da Computação pelo Doutorado Multi-institucional em Ciência da Computação (UFBA/UNIFACS/UEFS) (2012), mestre em Sistemas e Computação pela UNIFACS (2005), Bacharel em Ciência da Computação pela UFBA (2002) e Técnico em Eletrônica pelo IFBA (1995). É professor do IFBA, pesquisador e atual líder do GSORT – Grupo de Pesquisa em Sistemas Distribuídos, Otimização, Redes e Tempo Real (<http://www.gsort.ifba.edu.br>). Tem experiência na

área de Ciência da Computação, com ênfase em Redes, Computação Autônoma, Computação Ubíqua e Smart Grids. Maiores detalhes: <http://www.romildo.net>.



**Prof. Dr. Joberto S. B. Martins** - Professor at Salvador University (UNIFACS) and PhD in Computer Science at Université Pierre et Marie Curie - UPMC, Paris (1986). International Professor at HTW - Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (Germany) since 2003. Salvador University head and researcher at NUPERC and IPQoS research groups on Resource Allocation Models, Software Defined Networking - OpenFlow, Smart Cities, Smart Grid, Cognitive Management and machine learning application. Previously worked as Invited

Professor at Université Paris VI and Institut National des Télécommunications (INT) in France and as key speaker, teacher and invited lecturer in various international congresses and companies in Brazil, US and Europe.