

# Modelo de Alocação de Banda com Compartilhamento Oportunista entre Classes de Tráfego e Aplicações em Redes Multiserviço

Rafael Freitas Reale<sup>1,2</sup>, Walter da C. P. Neto<sup>1</sup>, Joberto S. B. Martins<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Núcleo de Pesquisa em Redes e Computação – Universidade Salvador (UNIFACS)  
Salvador – BA – Brasil

<sup>2</sup> Coordenação dos Cursos Técnicos em Informática – Instituto Federal da Bahia (IFBA)  
Campus Valença – BA – Brasil

reale@ifba.edu.br, joberto@unifacs.br, wcpneto@gmail.com

**Resumo.** Os modelos de alocação de banda são de grande valia no contexto da utilização eficiente e customizada dos recursos de rede. No contexto das redes DS-TE são propostos modelos que têm como premissa básica a manutenção das prioridades das Classes de Tráfego (CTs) e o respeito das restrições de banda (BC) para cada uma delas. Este artigo propõe um novo modelo de alocação de banda, integrado ao CSPF, no qual as CTs superiores possam vir a utilizar o tráfego não utilizado de CTs hierarquicamente inferiores e vice-versa. No modelo AllocCT-sharing preserva-se a garantia mínima prevista nos acordos de serviço (SLAs) com uma melhoria da qualidade no atendimento da mesma em diferentes cenários de distribuição de tráfego devido ao maior compartilhamento entre as CT.

**Abstract.** Bandwidth allocation models are important tools towards an efficient allocation of resources in networks. In DS-TE networks context there are allocation models which fundamentally respect constraints and preserve priorities among defined Traffic Classes (CTs). This paper proposes a new bandwidth allocation model called “AllocCT-sharing” which is integrated with CSPF routing protocol. In AllocCT-sharing, CTs hierarchically superior may, opportunistically, make use of bandwidth not used by lower priorities CTs and applications. AllocCT-sharing model preserves all service level agreements (SLAs) involved and, beyond that, attempts to improve the overall usability of link resources available in specific traffic distribution scenarios.

## 1. Introdução

As redes multiserviço são uma classe de infra-estrutura de redes de computadores na qual diversos serviços e aplicações são suportados de forma integrada. As redes multiserviço usam uma infra-estrutura de rede comum e permitem uma utilização eficiente dos recursos de rede. Nos últimos anos observa-se um crescimento vertiginoso de aplicações multimídia rodando sobre IP criando uma variedade significativa de novos serviços e aplicações, típicos de uma rede multiserviço. Essas novas aplicações e serviços requerem garantias de qualidade de serviço que são explicitadas, normalmente, através de parâmetros de operação previstos nos acordos de nível de serviço (SLAs) [Adami et al. 2007]. Devido à existência de conflitos resultantes da ausência de recursos de rede como, por exemplo, banda, a operação das redes multiserviço tem como um dos

seus aspectos importantes o desafio de modelar e operacionalizar o compartilhamento e a alocação de recursos tais como a banda e as rotas, dentre outros.

O IETF (*Internet Engineering Task Force*) propôs em Le Faucher & Lai (2003) os requisitos para o suporte de uma rede DS-TE (*DiffServ aware Traffic Engineering*) com o objetivo de explorar conjuntamente os benefícios da tecnologia MPLS-TE (*MPLS Traffic Engineering*) [Awduche ET al. 1999] e DiffServ (*Differentiated Services*) [Blake et al. 1998]. Esta arquitetura permite a aplicação da engenharia de tráfego às classes de tráfego (CT) à qual a LSP (*Label Switched Path*) pertence e, desta forma, poder alocar tráfego conforme as suas necessidades de qualidade de serviços e especificações de SLA. O DS-TE consiste fundamentalmente em duas funções principais: o gerenciamento da largura de banda disponível e o cálculo de rotas na rede.

Este artigo propõe o modelo de alocação de banda denominado “AllocCT-Sharing” como uma nova estratégia de gerenciamento da largura de banda para as redes multiserviço. Este novo modelo agrega uma característica oportunista para a alocação de banda que permite empréstimos mútuos entre Aplicações/ CTs de baixa e alta prioridade e só interfere na topologia de LSPs existentes na rede em situações de conflitos resultantes da ausência de recursos. A estratégia oportunista é relevante para uma classe de aplicações multimídia elásticas que podem se beneficiar de alocações de banda oportunamente disponíveis na rede. Um conjunto de aplicações de vídeo (*streaming*, vídeo sob demanda, IP-TV, outras) admite uma elasticidade na sua utilização de banda que pode proporcionar uma melhor qualidade de serviço para o usuário e, além disso, resulta numa utilização mais eficiente dos recursos da rede como um todo.

A solução proposta para a alocação de banda de forma oportunista também inclui uma integração do modelo AllocCTSharing com a extensão algoritmo de seleção de caminhos CSPF (*Constrained Shortest Path First*) proposta na RFC 4124 [Le Faucher 2005(b)]. A integração do cálculo de rotas com o modelo proposto (AllocCTSharing) viabiliza efetivamente a operação em uma rede multiserviço sujeita às diversas restrições de alocação de tráfego das aplicações multimídia.

O artigo está organizado da seguinte forma. Na seção 2 são apresentados resumidamente os modelos básicos de alocação de banda. Na seção 3 é apresentado o modelo de alocação da banda AllocCT-Sharing. Na seção 4 é apresentada a integração do algoritmo de seleção de caminhos CSPF ao modelo AllocCT-Sharing. Na seção 5 é apresentada uma avaliação dos resultados obtidos através de simulação e, por fim, as considerações finais são apresentadas na seção 6.

## **2. Modelos de Alocação de Banda**

Para efetivarmos as regras e limites para utilização dos enlaces pelas classes de tráfego (CTs) em uma rede DS-TE, necessitamos a adoção de um modelo de alocação de banda. O modelo de alocação de banda define se uma LSP será aceita, bloqueada ou sofrerá preempção em um determinado enlace.

O modelo de alocação de banda está associado a um algoritmo de seleção de caminhos. Este algoritmo define os enlaces utilizados por uma nova LSP (rota/caminho) sendo criada. Uma escolha adequada do modelo de alocação de banda pode implicar diretamente na melhoria do desempenho de operação da rede como todo.

Existem diversos modelos de alocação de banda sendo os primeiros definidos em RFC no contexto de redes DS-TE o *Maximum Allocation Model* (MAM) e *Russian Doll Model* (RDM) que passaremos agora a descrever.

### 2.1. Maximum Allocation Model (MAM)

O modelo de alocação de banda MAM corresponde a uma versão mais básica entre os modelos de alocação banda existentes e tem como objetivo principal a reserva de um valor máximo de largura de banda para cada Classe de Tráfego (CT) através do mapeamento de uma restrição de banda (BC) para as classes de tráfego (CTs). A descrição formal é como segue:

1. Para cada Classe de Tráfego “CT<sub>i</sub>” onde “M” é a largura de banda máxima reservável no enlace e “N<sub>i</sub>” é banda alocada por CT tem-se:

$$N_i \leq BC_i \leq M$$

2. Com as restrições,

O total de largura de banda alocada pelas CTs não pode exceder a capacidade do enlace ( $\sum_{i=0}^{C-1} N_i \leq M$ ).

Assim sendo o somatório do total de banda alocada ocupado pelas LSPs (N<sub>i</sub>) de uma determinada CT deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo de restrição de banda (BC) associado a esta CT para um determinado enlace. Além disso, o somatório das alocações de banda das CTs corresponde sempre à largura de banda disponível para alocação no enlace considerado (Figura 1) [Adami et al. 2007].

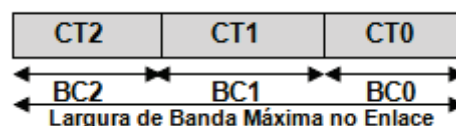


Figura 1. Modelo Alocação de Banda MAM [Adami et al. 2007].

A vantagem mais inerente do Modelo MAM é a isolamento total entre os tráfegos de CTs diferentes e, neste contexto, não se faz uso de mecanismos de preempção [Adami et al. 2007].

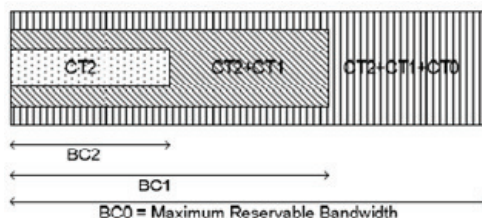
Um aspecto restritivo do modelo MAM no que diz respeito à utilização mais eficiente dos recursos de banda associados aos enlaces é não permitir o compartilhamento da banda não utilizada entre CTs. Em resumo, esta característica operacional implica na redução da eficiência em termos da utilização da largura de banda máxima disponível por enlace [Le Faucher & Lai 2005].

Para prover uma maior eficiência na utilização da largura de banda, uma variação do MAM proposta em [Tong & Yang 2007] permite que a soma dos BCs exceda a capacidade do enlace ( $\sum_{i=0}^{C-1} BC_i \geq M$ ).

### 2.2. Russian Doll Model (RDM)

O diferencial do modelo RDM [Le Faucher 2005(a)] com relação ao modelo MAM está principalmente no compartilhamento da banda não utilizada alocada para CT de hierarquia superior por CTs hierarquicamente inferiores. No modelo RDM (Figura 2) as CTs com maior valor numérico são hierarquicamente superiores em relação às CTs com

menor valor numérico. 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. Neste cenário, 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.



**Figura 2. Modelo Alocação de Banda RDM [Adami et al. 2007].**

O modelo de compartilhamento de banda RDM apresenta como característica básica ser mais eficiente quanto à otimização da banda total utilizada se comparado com o modelo MAM [Lai 2005]. Uma consideração com relação ao modelo RDM é que este modelo não leva em conta a disponibilidade de banda em classes menos prioritárias e, também, o uso de preempções leva em princípio a uma inibição de serviço para as classes de aplicações mais prioritárias.

No modelo proposto em seguida, espera-se atingir uma melhor utilização dos enlaces e, em comparação ao modelo RDM, espera-se também reduzir o impacto da estratégia de preempções adotada por este modelo.

### 3. Modelo Oportunista de Alocação de Banda – AllocCT-Sharing

O modelo de alocação de banda com comportamento oportunista, denominado AllocCT-Sharing, propõe um novo modelo de alocação de banda entre classes de tráfego prioritárias e não-prioritárias.

Em resumo, a idéia proposta pelo Modelo AllocCT-Sharing (Figura 3) consiste em permitir que classes de tráfego de maior prioridade possam também utilizar a banda disponível e não utilizada alocada para as classes de tráfego de menor prioridade.

Como principal característica operacional, o modelo AllocCT-Sharing tem como objetivo permitir uma maior utilização dos enlaces de rede e um melhor compartilhamento entre as restrições de banda definidas (BCs), considerando que as classes de tráfego (CTs) inferiores podem utilizar a banda não utilizada de CTs hierarquicamente superiores e vice-versa. Outro aspecto observado é o fato dele preservar as garantias mínimas de banda previstas nos acordos de serviço (SLAs) e, além disso, propiciar uma eventual melhoria da qualidade do atendimento do mesmo em determinados cenários de distribuição de tráfego. Entretanto, para que seja garantido o cumprimento das prioridades é necessário que o tráfego utilizado de forma oportunista por uma classe de tráfego, que já havia extrapolado sua restrição de banda, seja devolvido. Para isto, é definido o conceito de “empréstimo” que corresponde ao uso temporário da banda de LSPs menos prioritárias por parte das LSPs mais prioritárias e o conceito de “devolução” sempre que existe uma necessidade de banda por parte de uma LSP menos prioritária que leve ao encerramento de uma LSP mais prioritária estabelecida por empréstimo.

Fundamentalmente, o modelo AllocCT-Sharing mantém o conceito de restrição de banda já adotado nos modelos anteriores (MAM e RDM), porém adota a restrição de banda determinada nos casos onde existe uma efetiva competição por recurso entre as classes de tráfego independentemente das prioridades alocadas por CT. O algoritmo é aplicado na condição de conflito em que não há largura de banda disponível no enlace. Nessa situação é verificado se existe LSPs com “empréstimos”. Caso haja, é solicitada a “devolução” do empréstimo até o valor extrapolado.

Em outras palavras, as classes podem, de forma oportunista, utilizar a banda disponível para as classes de prioridade inferior ou superior.

A implementação do AllocCT-Sharing implica que os conflitos como devoluções, preempções e bloqueios só são verificados quando a capacidade de enlace é excedida.

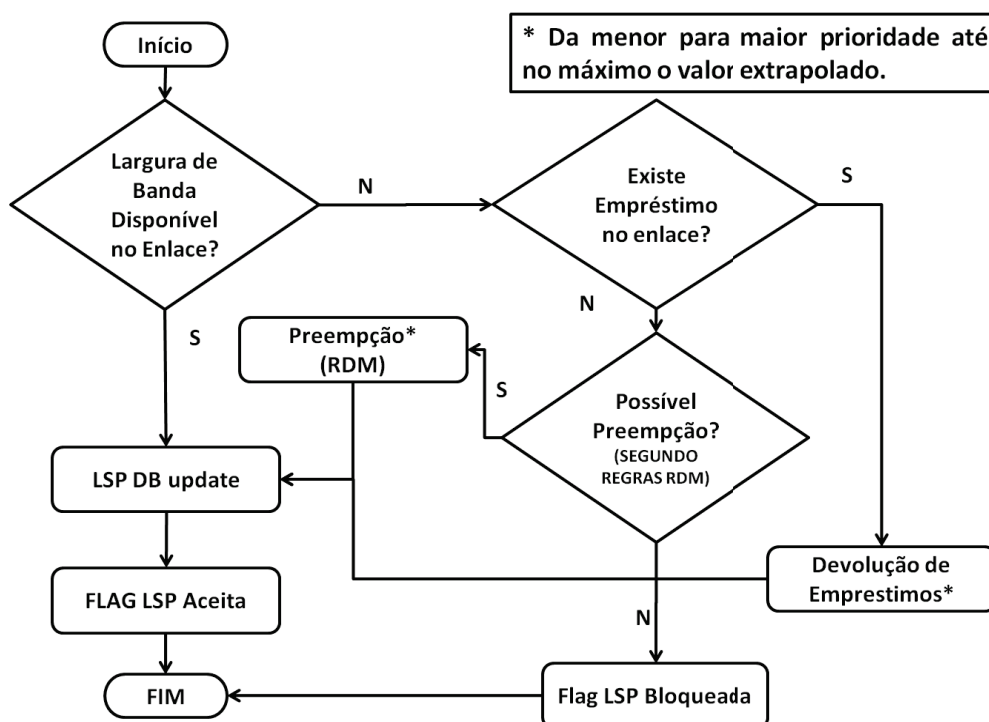


Figura 3. Modelo Alocação de Banda AllocCT-Sharing.

É necessário atenção à característica inerente do modelo em que a largura de banda emprestada (excedente) de uma CT superior pode ser sujeita a devolução pela CT inferior que cedeu a banda.

Considerando o universo das aplicações, considera-se que este modelo tende a favorecer aplicações emergentes de áudio e vídeo com características adaptáveis em relação à taxa de transmissão, pois pode ser contratado um serviço com a qualidade aceitável para a aplicação e em diversos momentos esta qualidade poderá ser superior à contratada.

#### 4. Integração do Algoritmo CSPF

Quando uma nova requisição de LSP chega a uma rede habilitada com DS-TE é necessário procurar um caminho na rede (*path*) através de um algoritmo de seleção de caminho baseado em restrições.

Segundo Le Faucher & Lai (2003), no DS-TE as capacidades de banda disponível nos enlaces devem ser divulgadas baseadas na informação das CTs. Na realidade, as CTs correspondem a um conjunto de LSPs (*traffic trunks*) agrupados segundo um mesmo critério e regidas por um modelo de restrição de banda [Lai 2005][Le Faucher & Lai 2005][Le Faucher 2005(a)].

Uma possibilidade é a utilização do algoritmo CSPF para o cálculo da trajetória de novas requisições que cheguem a uma rede DS-TE. Para tal é necessário a extensão do CSPF sugerida na RFC 4124 [Le Faucher 2005(b)], de forma que a largura de banda disponível não seja calculada apenas por enlace, e sim que seja calculada por CT.

A métrica mais intuitiva utilizada pelo CSPF para o cálculo do caminho para uma nova requisição é o que tenha menor quantidade de saltos (*hops*) e que exista banda disponível na CT de acordo com as restrições de banda impostas pelo modelo de alocação de banda. Cada caminho é testado por ordem crescente de número de saltos, e se existir banda correspondente para ser utilizada em todos os enlaces do caminho na CT associada à nova requisição, o mesmo é selecionado. Se em nenhum dos caminhos existentes houver banda disponível para a CT ao qual a nova requisição está associada, a mesma é bloqueada.

Neste artigo é proposta uma adaptação ao algoritmo de seleção de caminho CSPF baseado em sua extensão sugerida na RFC 4124 [Le Faucher 2005(b)] para que o mesmo trabalhe de forma “oportunista” junto ao novo modelo AllocCT-Sharing proposto. Esta adaptação é necessária, pois o algoritmo de seleção de caminhos deve estar integrado ao modelo de restrição de banda para a melhor escolha dos enlaces (caminho) da nova LSP que, com o AllocCT-Sharing, inclui o conhecimento dos empréstimos entre CTs.

#### **4.1. AllocCT-Sharing c/ CSPF**

A proposta de extensão do algoritmo de seleção de caminhos CSPF para trabalhar em conjunto com o modelo de alocação de banda AllocCT-Sharing segue a proposta sugerida na RFC 4124 [Le Faucher 2005(b)]. Considera-se que a largura de banda disponível não seja calculada apenas por enlace, e sim que seja calculada por CT e que cada caminho seja testado por ordem crescente de número de saltos, e se existir banda correspondente a ser utilizada em todos os enlaces do caminho na CT associada à nova requisição a LSP é aceita.

Para integração como o modelo de banda AllocCT-Sharing ainda foram necessárias as seguintes adaptações:

- Todas as LSPs são aceitas enquanto houver banda disponível no caminho selecionado apenas registrando em uma base de dados as LSPs estabelecidas e suas respectivas CTs.
- Conhecimento dos empréstimos para que, em caso de efetiva concorrência, os mesmos possam ser devolvidos para as CTs proprietárias.
- Conhecimento das prioridades entre CTs.

A combinação da proposta sugerida na RFC 4124 com as adaptações necessárias resulta no fluxograma representado na figura 4.

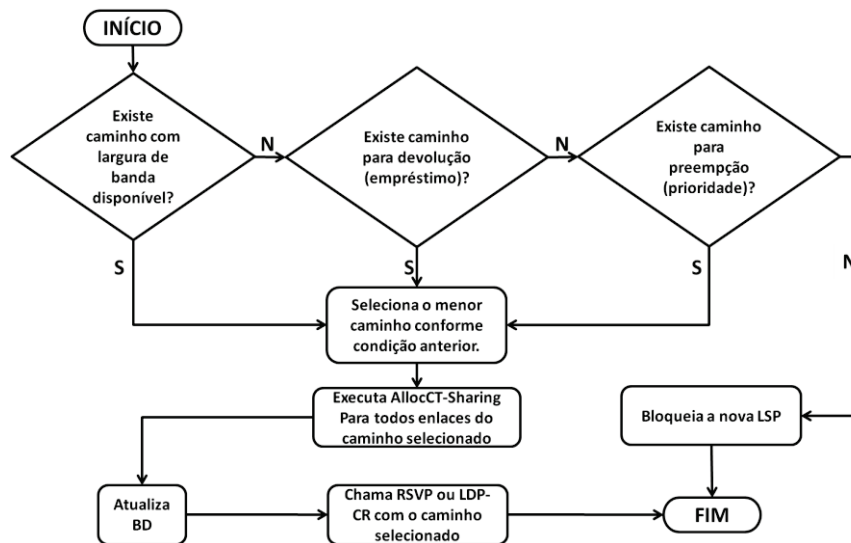


Figura 4. Fluxograma do CSPF adaptado para o AllocCT-Sharing.

As premissas apresentadas anteriormente implicam na possibilidade de empréstimos entre CTs enquanto não houver efetiva concorrência, ou seja, quando não há saturação da rede. Essa estratégia apresenta o potencial benefício de permitir em diversas distribuições de tráfego que as LSPs que solicitaram empréstimo de banda, possam finalizar sua utilização antes de acontecer uma solicitação de devolução da mesma. Em casos de efetiva concorrência, as LSPs com empréstimos são as primeiras a devolver o tráfego como pode ser observado na Figura 3. Essa característica faz a rede convergir para um cenário sem empréstimos, apenas com restrições de banda e prioridades, onde são aplicadas as regras do RDM.

## 5. Avaliação de Resultados

Nesta seção são apresentados os cenários e as campanhas de simulação do algoritmo AllocCT-Sharing juntamente com as considerações sobre os resultados obtidos.

De maneira geral, a simulação descrita focou na validação comparativa do caráter oportunista do modelo e do algoritmo AllocCT-Sharing com CSPF correspondente que representa seu maior diferencial com relação às soluções existentes para os modelos de alocação de banda (MAM e RDM).

Em particular, optou-se por fazer uma avaliação comparativa em relação ao algoritmo RDM [Pinto Neto & Martins 2008(a)][Pinto Neto & Martins 2008(b)] com CSPF, na medida em que este implementa uma versão já avaliada de algoritmo de alocação de banda e apresenta diversas vantagens em relação ao modelo e algoritmos MAM.

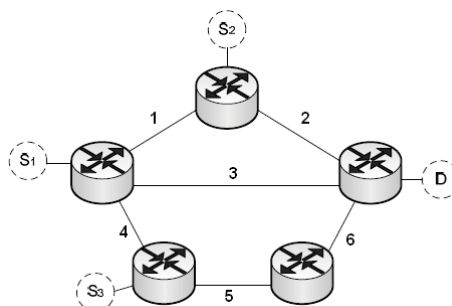


Figura 5. – Topologia de Rede – Simulação

A validação comparativa do algoritmo AllocCT-Sharing com CSPF utilizou uma topologia de rede (Figura 5) com três fontes de tráfego (S1, S2 e S3), sendo duas como tráfego de interferência, e um único destino (D), com dois cenários de avaliação.

Cada cenário foi simulado com 05 sementes aleatórias com o cuidado para não reutilizar sementes e o uso do “zero” e os resultados apresentados com base na média dos valores obtidos. Para validação geramos os intervalos de confiança (95%) e desvios padrões.<sup>1</sup>

Os parâmetros de configuração dos cenários de simulação são como segue:

- Enlaces: 622 Mbps (STM-4 – SDH)
- Classes de tráfego (CTs) existentes: CT0, CT1 e CT2
- Restrições de banda (BCs): conforme a Tabela 01

**Tabela 1. Alocação de Banda por Classe de Tráfego (CT)**

BC	Max BC (%)	MAX BC (Mbps)	CT por BC
BC0	100	622	CT0+CT1+CT2
BC1	70	435,4	CT1+CT2
BC2	40	248,8	CT2

No cenário de avaliação 01 os modelos foram comparados em uma situação onde o tráfego gerado inicialmente era maior para as classes de tráfego (CTs) de maior prioridade, tentando mostrar assim o caráter oportunista do modelo proposto.

No cenário de avaliação 02 os modelos foram comparados com um tráfego maior alocado para as classes de tráfego (CTs) de menor prioridade em relação às classes de tráfego de maior prioridade. Este é um cenário típico previsto no modelo RDM e, neste sentido, o intuito é de demonstrar que o modelo AllocCT-Sharing possui desempenho equivalente ao modelo RDM nesta situação.

### 5.1. Cenário 01 – Descrição e Resultados

Neste cenário de simulação as seguintes métricas de desempenho foram comparadas:

- Média da carga dos enlaces;
- Quantidade de preempções;
- Quantidade de bloqueios e
- LSPs atendidas (Mbps).

No caso, compara-se os modelos RDM e AllocCT-Sharing com CSPF quando o tráfego de maior prioridade (CT2) possui banda disponível acima da sua restrição de banda e após um determinado período gera-se tráfego de competição para as classes CT1 e CT0. Assim sendo, foram definidos os parâmetros de execução da simulação como segue:

- Intervalo entre chegadas de solicitações de LSPs modelado exponencialmente tendo como média os seguintes valores para origem do tráfego S0:
  - LSPs – CT0 – geradas a cada 4 s com retardo de 500 s na primeira LSP
  - LSPs – CT1 - geradas a cada 2 s com retardo de 300 s na primeira LSP
  - LSPs – CT2 – geradas a cada 1 s sem retardo na primeira LSP

<sup>1</sup> Tabela completa com todos resultados obtidos pode ser acessada em: [http://www.rafaelreale.net/alloct\\_sharing](http://www.rafaelreale.net/alloct_sharing).



- Para os tráfegos de interferência S1 e S2 o intervalo entre chegadas de solicitações de LSPs modelado exponencialmente tendo como média os seguintes valores:
  - LSPs – CT0 – geradas a cada 20 s com retardo de 500 s na primeira LSP
  - LSPs – CT1 - geradas a cada 22 s com retardo de 300 s na primeira LSP
  - LSPs – CT2 - geradas a cada 24 s sem retardo na primeira LSP
- Demais parâmetros de simulação:
  - LSP - duração do estabelecimento modelada exponencialmente - média de 150 segundos, provocando a saturação do enlace
  - LSP – largura de banda - distribuída uniformemente entre 05 Mbps e 20 Mbps
  - Número de LSPs – 1.000

O critério de parada de simulação utilizado foi o número LSPs geradas, pois o cenário se repetia para valores superiores devido a todas as CTs utilizarem o máximo permitido para suas restrições.

Até o instante 300 segundos existem apenas LSPs da CT2 sendo geradas na simulação executada. A figura 6 mostra que o modelo RDM limita a carga média dos enlaces ao valor de 248,8 Mbps, configuração do seu BC2. No modelo RDM, somente após a chegada de LSPs de CT1 e CT0 tem-se que a carga média dos enlaces assume valores maiores que 248,8 Mbps. Já o modelo AllocCT-Sharing permite que seja utilizada a banda livre das demais classes de tráfego, de forma oportunista como empréstimo para a CT2 e, depois, passa a devolvê-la com a chegada de LSPs das CT0 e CT1.

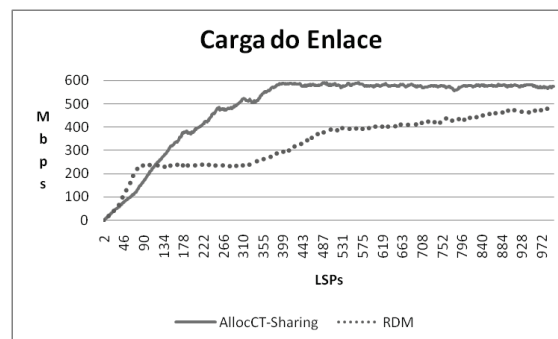


Figura 6. – Média da Carga dos Enlaces

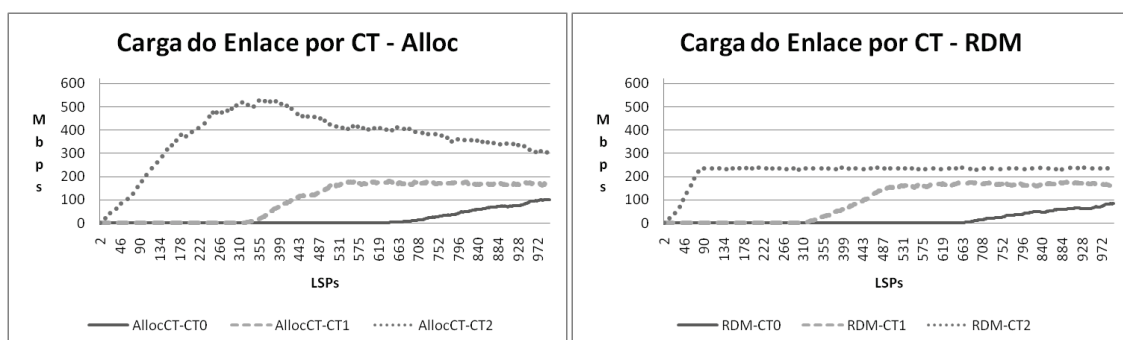


Figura 7. – Média da Carga do Enlace por CT

A carga do enlace por CT (Figura 7), mostra o uso oportunista da banda livre no modelo AllocCT-Sharing e depois a devolução no instante que as CT0 e CT1, respectivamente,

necessitam da banda para suas LSPs. É importante observar que no modelo AllocCT-Sharing, após CT2 devolver o tráfego emprestado, as cargas do enlace por CT ficam bastante semelhantes ao modelo RDM, demonstrando que o mesmo converge para o modelo RDM quando as CTs passam a solicitar a totalidade de suas bandas configuradas. Desta maneira são preservadas as garantias mínimas de banda previstas nos acordos de serviço (SLAs) como pode ser observado no comparativo da figura 7.

Um aspecto importante dos modelos de alocação de banda é o volume de preempções decorrente. Conforme verificado na figura 8, as preempções nos modelos só começaram instantes após a chegada dos tráfegos competitivos das CT0 e CT1 devido à concorrência entre as CTs. Mesmo com banda disponível no enlace verificou-se que o modelo RDM gerou preempções desnecessárias por prioridade em CT1, ao chegar LSPs de CT2, para atender o limite de BC1. As preempções em CT0 foram preempções por prioridade. Já no modelo AllocCT-Sharing sua característica oportunista reduziu o número de preempções ocorridas em CT1 já que o enlace não estando saturado não é motivo para preempções, permanecendo apenas as preempções ocorridas após a saturação do enlace.

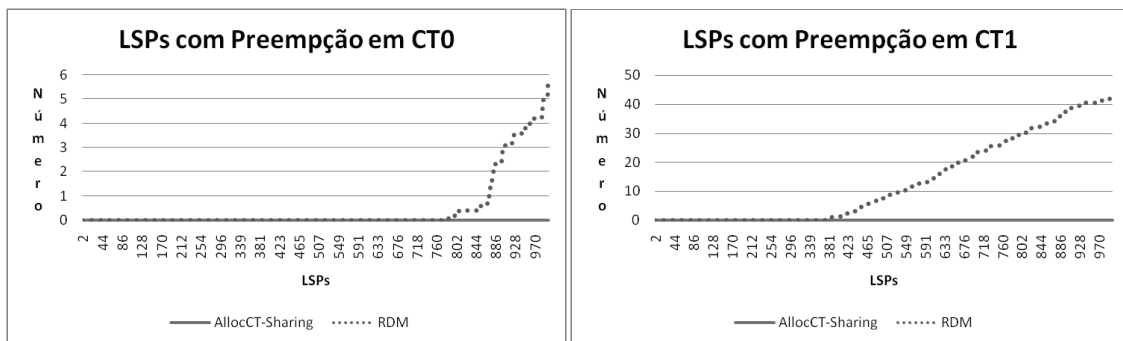


Figura 8. – Preempção por Classe de Tráfego (CTs)

No comparativo da figura 9 é ilustrado o comportamento dos modelos com relação aos bloqueios por classe de tráfego. Devido à largura de banda disponível para a CT2 ter sido limitada a 248,8 Mbps e devido à configuração da restrição de banda para o BC2 no modelo RDM para este cenário, todas as LSPs que chegaram após esse limite ser atingido foram bloqueadas, mesmo havendo banda disponível no enlace. No modelo AllocCT-Sharing os bloqueios só começaram a ocorrer quando o enlace saturou, ou seja, não havia banda disponível.

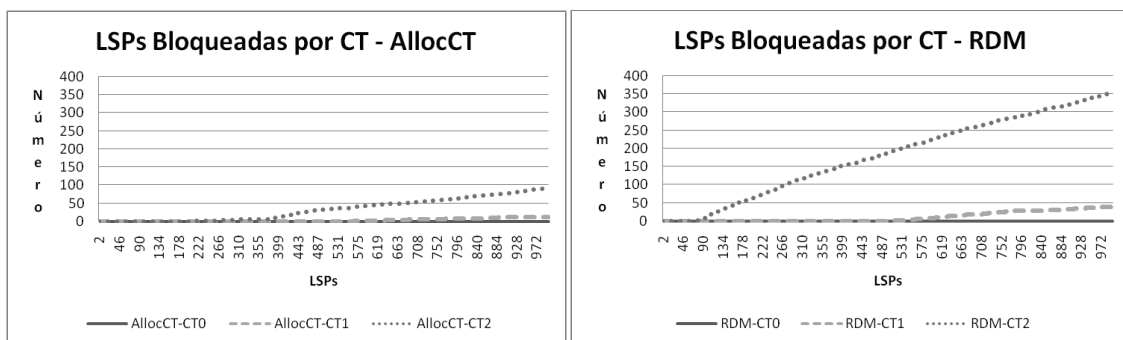
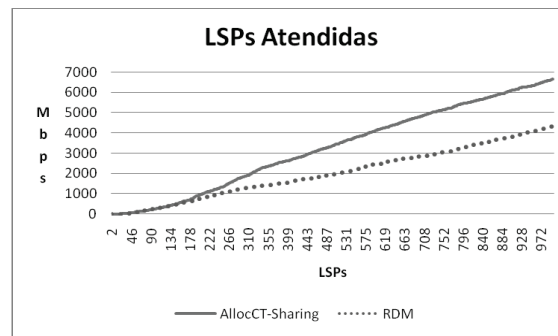


Figura 9. – Bloqueios por Classe de Tráfego (CTs)



**Figura 10 – LSPs Atendidas (Mbps)**

Devido ao menor bloqueio e preempções de LSPs no AllocCT-Sharing houve um valor consideravelmente maior de LSP atendidas (Figura 10). A figura demonstra que neste cenário o AllocCT-Sharing permite uma maior utilização dos enlaces de rede, aproximadamente 35% (2327 Mbps). Consideraram-se como LSPs atendidas as LSP que foram estabelecidas e concluídas sem preempção.

## 5.2. Cenário 02 – Descrição e Resultados

Neste cenário de simulação as seguintes métricas de desempenho foram comparadas:

- Média da carga dos enlaces;
- Quantidade de preempções;
- Quantidade de bloqueios e
- LSPs atendidas (Mbps).

No caso, compara-se os modelos RDM e AllocCT-Sharing quando é gerado um tráfego maior alocado para as classes de tráfego (CTs) de menor prioridade em relação às classes de tráfego de maior prioridade. Este é um cenário típico previsto no modelo RDM. Assim sendo, foram definidos os parâmetros de execução da simulação como segue:

- Intervalo entre chegadas de solicitações de LSPs modelado exponencialmente tendo como média os seguintes valores para origem do tráfego S0:
  - LSPs – CT0 – geradas a cada 1 s
  - LSPs – CT1 - geradas a cada 2 s
  - LSPs – CT2 - geradas a cada 4 s
- Para os tráfegos de interferência S1 e S2 o intervalo entre chegadas de solicitações de LSPs modelado exponencialmente tendo como média os seguintes valores:
  - LSPs – CT0 – geradas a cada 20 s
  - LSPs – CT1 - geradas a cada 22 s
  - LSPs – CT2 - geradas a cada 24 s
- Demais parâmetros de simulação:
  - LSP - duração do estabelecimento modelada exponencialmente - média de 170 segundos, provocando a saturação do enlace
  - LSP – largura de banda - distribuída uniformemente entre 05 Mbps e 20 Mbps
  - Número de LSPs – 1.000

O critério de parada de simulação utilizado foi o número LSPs geradas, pois o cenário se repetia para valores superiores devido a todas as CTs utilizarem o máximo permitido para suas restrições.

Na simulação executada (Figura 11) se identificou que o modelo RDM e o AllocCT-Sharing possuem utilização do enlace semelhantes. O AllocCT-Sharing obteve vantagem nos primeiros instantes devido a sua premissa de permitir o livre uso do enlace até que o mesmo sature.

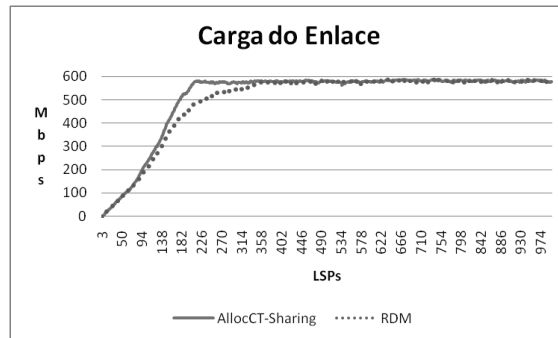


Figura 11 – Carga Média do Enlace

A carga do enlace por CT (Figura 12), possui comportamento semelhante apenas diferenciando por alguns picos permitidos no modelo AllocCT-Sharing implicando em uma maior flexibilidade do modelo.

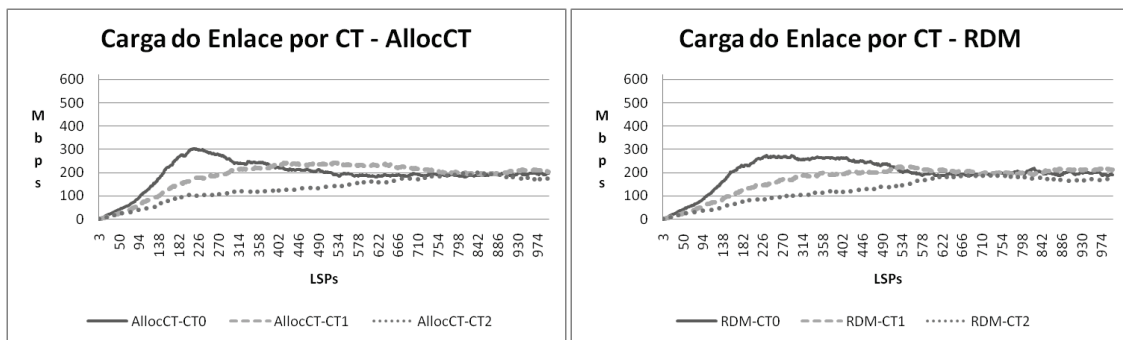


Figura 12 – Carga Média do Enlace por CT

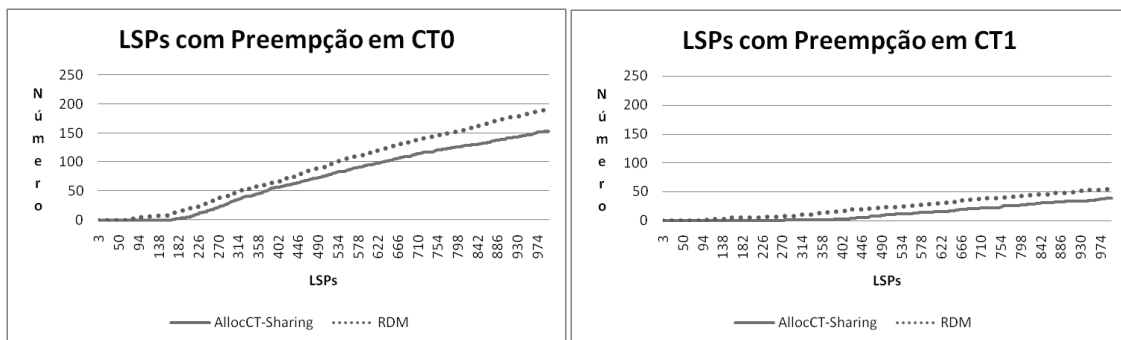
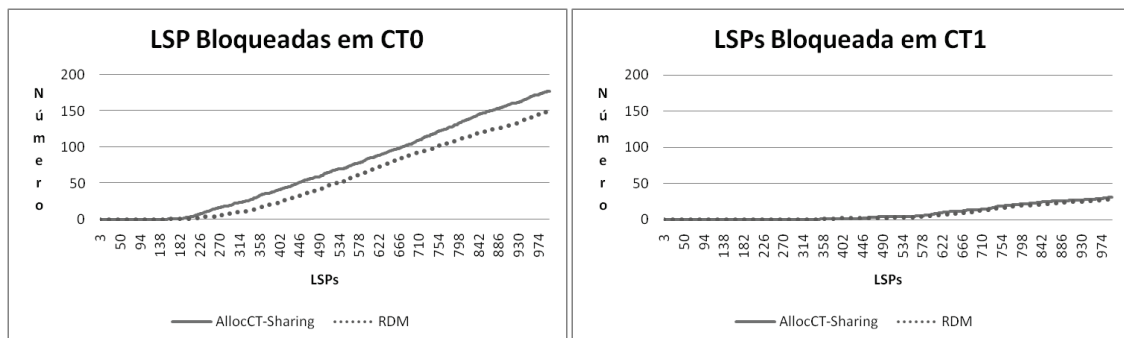


Figura 13. – Preempção por Classe de Tráfego (CTs)

Conforme observado na figura 13, AllocCT-Sharing obteve, neste cenário, uma performance levemente superior com 56 preempções a menos que o modelo RDM otimizando principalmente as preempções em CT1. Registramos que o modelo RDM causou a preempção LSPs desnecessárias, para atender a restrição do modelo, mesmo

havendo banda livre. O principal motivo das preempções em ambos os modelos foi a saturação do enlace que levou a preempções por prioridade.

A figura 14 ilustra o comportamento dos modelos comparados com relação aos bloqueios por classes de tráfego. Em ambos os modelos o principal motivo de bloqueio foi a saturação do enlace. Devido ao maior número de LSPs atendidas e o menor número de LSPs com preempção, o modelo AllocCT-Sharing trabalhou sempre no máximo permitido pelo enlace. Esse comportamento levou a 30 LSPs bloqueadas a mais em relação ao modelo RDM.



**Figura 14. – Bloqueios por Classe de Tráfego (CTs)**

Em relação às LSPs atendidas, o modelo AllocCT-Sharing obteve um melhor desempenho com 48Mbps atendidos a mais do que o modelo RDM.

## 6. Considerações Finais

O algoritmo AllocCT-Sharing implementa um modelo oportunista de alocação de banda onde LSPs associadas à classes de tráfego de maior prioridade podem utilizar de forma circunstancial a banda disponível e não utilizada por classes de tráfego menos prioritárias e vice-versa. O AllocCT-Sharing cria efetivamente o conceito de “empréstimo” de banda com um mecanismo de “devolução” da mesma quando solicitado ou requerido pela classe de tráfego proprietária.

O algoritmo foi implementado e simulado com foco na avaliação do seu caráter oportunista. Verificou-se que em qualquer cenário em que não haja saturação do enlace, o AllocCT-Sharing com CSPF permite um maior compartilhamento entre as CTs e uma melhor utilização da banda disponível no enlace. Nos cenários onde existe a saturação do enlace, o AllocCT-Sharing com CSPF comporta-se de forma semelhante ao modelo de alocação de banda RDM com CSPF.

Outra característica do AllocCT-Sharing é que as preempções só ocorrem quando da efetiva disputa por recursos (banda alocada). As simulações mostraram também que, estatisticamente, nem toda LSP que solicita banda emprestada precisa devolver (preempção) antes do seu encerramento e, assim sendo, tem-se novamente um sinalizador da melhor e mais flexível utilização da banda de enlace disponível.

Em resumo, o AllocCT-Sharing amplia o compartilhamento entre CTs implicando numa melhor utilização dos enlaces e na redução de preempções e bloqueios quando comparado ao modelo RDM.

Em termos dos trabalhos futuros, pretende-se criar um algoritmo de seleção de caminhos que otimize as características oportunista do AllocCT-Sharing, implicando em

uma utilização ainda mais eficiente dos enlaces da rede, e políticas aplicadas diretamente nas LSPs, como limiar aceitável de redução da banda inicialmente solicitada, com o objetivo de permitir uma maior elasticidade da rede a partir do seu ponto de menor granularidade que são as LSPs.

## Referências

- D. Adami, C. Callegari, S. Giordano M. Pagano and M. Toninelli, "G-RDM: a New Bandwidth Constraints Model for DS-TE networks", Proceedings of IEEE GLOBECOM 2007.
- D. Awduche, J. Malcolm, J. Agogbua., M. O'Dell, and J. McManus, "Requirements for traffic engineering over MPLS", IETF, RFC 2702, September 1999.
- F. Le Faucheur (a), "Russian dolls bandwidth constraints model for DiffServ-aware MPLS traffic engineering", IETF, RFC 4127, June 2005.
- F. Le Faucheur (b), "Protocol Extensions for Support of DiffServ-aware MPLS Traffic Engineering", IETF, RFC 4124, June 2005.
- F. Le Faucheur and W. Lai, "Maximum allocation bandwidth constraints model for DiffServ-aware MPLS traffic engineering", IETF, RFC 4125, June 2005.
- F. Le Faucheur and W. Lai, "Requirements for support of differentiated services-aware MPLS traffic engineering", IETF, RFC 3564, July 2003.
- J. Martins, S. Aidarous, T. Plevyak et al, "Managing IP networks: challenges and opportunities", Willey -IEEE Press, September 2003.
- M. Macdougall, "Simulating Computer Systems Techniques and Tools", The Massachusetts Institute of Technology Press. 1987.
- S. Blake, D. black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang and W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services", RFC 2475, December 1998.
- S. Tong, O. Yang: Bandwidth Management for Supporting Differentiated Service Aware Traffic Engineering. IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst. 18(9): 1320-1331 (2007)
- W. Lai, "Bandwidth constraints models for DiffServ-aware MPLS Traffic Engineering: Performance Evaluation", IETF, RFC 4128, June 2005.
- W. Pinto Neto and J. Martins, "A RDM-like Bandwidth Management Algorithm for Traffic Engineering with DiffServ and MPLS Support", Proceedings of the 15th International Conference on Telecommunications - ICT, St. Petersburg, Russia, 2008a.
- W. Pinto Neto, J. Martins e S. Brito, "Algoritmos de Seleção de Caminho e Gerenciamento de Banda Compartilhada conforme ao Modelo RDM para Classes de Tráfego em Rede DS-TE", Anais do 26º SBRC, Rio de Janeiro - RJ, 2008.
- W. Pinto Neto, "Proposta e Avaliação: Algoritmos para a Gerência de Banda e Seleção de Caminhos em Redes MPLS (DS-TE)", 2008, Dissertação (Mestrado Acadêmico em Sistemas e Computação) - Universidade Salvador, Salvador, 2008.