

# Encaminhamento com Qualidade de Serviço: Estratégia QoS-LCT

Marília Oliveira, Bruno Melo, Gonçalo Quadros, Edmundo Monteiro  
marilia@dei.uc.pt, bmelo@student.dei.uc.pt, {quadros, edmundo}@dei.uc.pt

Laboratório de Comunicações e Telemática  
Centro de Informática e Sistemas da Universidade de Coimbra  
Pólo II, Pinhal de Marrocos, 3030 Coimbra

## Resumo

No Laboratório de Comunicações e Telemática do Centro de Informática da Universidade de Coimbra (LCT-CISUC) está a ser desenvolvido um modelo de serviço para a Internet cujo objectivo é o fornecimento de qualidade de serviço em redes IP, seguindo o paradigma dos Serviços Diferenciados proposto pela IETF. Nuclear a este modelo de serviço, encontra-se a métrica do LCT, que permite medir o impacto que o atraso e as perdas existentes nos encaminhadores têm no desempenho das aplicações. A proposta de encaminhamento com qualidade de serviço, *Quality of Service Routing* - Laboratório de Comunicações e Telemática (QoS-LCT), enquadra-se no modelo de serviço do LCT, sendo responsável pela divulgação da métrica e pelo cálculo de caminhos de acordo com os seus valores. Neste contexto, apresentamos uma estratégia de encaminhamento dinâmico, onde os percursos são calculados com base numa métrica representativa do estado da rede e que selecciona os percursos mais adequados às características de cada classe de tráfego, contribuindo para a diferenciação de tráfego e balanceamento de carga na rede. As propostas descritas neste artigo estão a ser implementadas na distribuição do protocolo de encaminhamento *Open Shortest Path First* (OSPF) incluída no ambiente de desenvolvimento de protocolos de encaminhamento GateD. A estratégia QoS-LCT foi desenhada de modo a permitir a interoperabilidade entre a nova versão do OSPF e a versão base.

## 1 Introdução

Numa rede de comunicações que ofereça serviços com preocupação de qualidade de serviço (QoS), existe a necessidade de mecanismos de encaminhamento que tomem em consideração os requisitos de QoS do tráfego e a disponibilidade de recursos na rede. Esta característica dos protocolos de encaminhamento é fundamental para que a rede de comunicações possa oferecer tratamento diferenciado e adequado às necessidades de desempenho do tráfego. O modelo de encaminhamento que contempla as necessidades de QoS do tráfego denomina-se encaminhamento com qualidade de serviço sendo, para muitos, a peça que falta para a divulgação alargada de QoS na Internet. As componentes base do protocolo de encaminhamento são a métrica representativa do estado da rede, o processo utilizado para a propagação dos valores actuais da métrica (política de encaminhamento) e os aspectos relativos ao algoritmo de cálculo de caminhos (mecanismo de encaminhamento).

O objectivo do protocolo QoS-LCT é realizar encaminhamento com QoS, sendo que o estado dinâmico da rede é representado através da métrica do LCT [Quadros1998] e os requisitos do tráfego são obtidos a partir da classe a que pertence. A caracterização do tráfego em classes segue o paradigma dos Serviços Diferenciados<sup>1</sup> [Bernet1999]. A métrica LCT é composta por um índice de congestão relativo a atraso (*IcA*) e um índice de congestão relativo a perdas (*IcP*). Relativamente à diferenciação de tráfego, são consideradas quatro classes de tráfego, de acordo com a sensibilidade das aplicações a atraso e a perdas [Golick1999].

A estratégia QoS-LCT está a ser implementada como uma nova versão do protocolo de encaminhamento OSPF [Moy1998] incluída no GateD<sup>2</sup>. A escolha do OSPF para desenvolvimento de um protocolo de encaminhamento com QoS deveu-se aos seguintes factores: o OSPF é um protocolo da

---

Trabalho parcialmente financiado pelo Programa de Investigação PRAXIS XII do Ministério da Ciência e Tecnologia, sob o contrato PRAXIS/P/EEI/10168/1998 (Projecto QoS II – Qualidade de Serviço em Sistemas de Comunicação por Computador).

<sup>1</sup> <<http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html>>

<sup>2</sup> Ambiente de desenvolvimento de protocolos de encaminhamento <<http://www.gated.org>>.

família do estado da ligação, sendo adequado para suporte de encaminhamento com QoS, é um protocolo amplamente divulgado para encaminhamento em sistemas autónomos e suporta encaminhamento por tipo de serviço. A selecção do ambiente de desenvolvimento de protocolos de encaminhamento, GateD, deveu-se ao facto de ser uma distribuição aberta, amplamente testada e em desenvolvimento permanente. Simultaneamente, foi tido em consideração o facto das implementações de protocolos incluídos no GateD estarem em conformidade com as especificações respectivas da *Internet Engineering Task Force* (IETF<sup>3</sup>).

As características principais da estratégia QoS-LCT [Oliveira1999] são:

- protocolo de encaminhamento *unicast*;
- encaminhamento com QoS numa rede onde a diferenciação de tráfego segue o paradigma de classes;
- encaminhamento com base numa métrica composta, representativa de atraso e de perdas;
- distribuição de carga na rede e diferenciação de tráfego;
- manutenção de compatibilidade com a versão base do OSPF - divulgação e manutenção de informação de encaminhamento por um algoritmo do estado da ligação e cálculo de caminhos pelo algoritmo de *Dijkstra*.

Nas secções seguintes são analisadas estas características enquadradas no processo utilizado para a propagação das actualizações da métrica (política de encaminhamento) e nos aspectos relativos ao algoritmo de cálculo de caminhos (mecanismo de encaminhamento).

## 2 Política de encaminhamento proposta

As decisões relativas à política de encaminhamento incluem a definição da escala de tempo de distribuição da métrica, o estabelecimento dos critérios de desencadeamento de difusão da métrica e a descrição do processo a utilizar para a sua distribuição.

### 2.1 Escala de tempo de distribuição da métrica

No que respeita à escala de tempo de distribuição da métrica, existem duas abordagens possíveis: (1) divulgação de valores instantâneos, (2) divulgação de valores quantificados. No primeiro caso, os valores dos índices anunciados por cada encaminhador correspondem à medição que foi realizada imediatamente antes do instante de emissão da actualização. No segundo caso, são emitidos valores que representam, segundo determinada regra, o conjunto de medições realizado durante certo intervalo, por exemplo, deste a difusão da última actualização.

A estratégia correspondente à difusão de valores instantâneos tem a vantagem de divulgar um valor actualizado, sendo simultaneamente bastante simples. Esta característica deve-se ao facto de não ser necessário armazenar valores intermédios e não ser necessário realizar cálculos para determinação de valores representativos das medidas efectuadas durante o intervalo de medição. Como este tipo de distribuição requer pouco esforço de processamento, mostra-se adequado a situações onde a troca de informação ocorre frequentemente. No entanto, quando as actualizações são menos frequentes, o último valor medido pode não ser representativo do estado das ligações, sendo portanto mais interessante a utilização de valores quantificados que melhor caracterizam esse estado durante todo o intervalo de tempo desde a última actualização. A difusão de valores instantâneos também apresenta a desvantagem de poder induzir instabilidade, na medida em que é muito sensível a alterações transitórias. Contudo, esta abordagem é seguida nas seguintes propostas de encaminhamento com qualidade de serviço: *Quality of Service Open Shortest Path First* (QOSPF) [Zhang1997] e *QoS Routing Mechanisms* (QoSRM) [Guérin1998]. Em ambos os casos, a métrica utilizada corresponde à largura de banda disponível em cada interface do encaminhador. A divulgação de valores da métrica instantâneos justifica-se pelo facto dos valores de largura de banda disponíveis serem divulgados sempre que é realizada a reserva para um novo fluxo.

As regras que podem ser consideradas para a obtenção de valores quantificados incluem o cálculo do máximo e da média dos valores medidos. Se for seleccionada a primeira regra, vão ser divulgados os valores correspondentes ao pior caso, ou seja, considerando o nosso modelo, o pior índice de atraso e o pior índice de perdas. Esta regra seria adequada a um modelo de serviço onde existisse a obrigatoriedade

---

<sup>3</sup> <<http://www.ietf.org>>

de fornecimento de garantias de qualidade de serviço, com limites para o atraso e para as perdas, como se verifica no Serviço Garantido [Shenker1997] da arquitectura dos Serviços Integrados<sup>4</sup> desenvolvida no seio da IETF. No entanto, este não é o caso do modelo de serviço do LCT, que segue o paradigma de diferenciação de tráfego em classes, sem reserva explícita de recursos.

Ao ser divulgado o máximo dos valores medidos durante o intervalo, pode estar a ser distribuído um valor que não é representativo da situação do encaminhador nesse intervalo de tempo, por corresponder a um pico, que poderá ser uma situação limite e isolada. Em alternativa à divulgação do valor máximo, pode ser distribuída uma média dos valores medidos durante o intervalo. Neste caso, o valor divulgado já é mais representativo do estado da rede durante o intervalo, sendo eliminados os picos temporários. Um caso particular da utilização de valores médios ocorre quando a gama dos valores dos índices se encontra dividida em intervalos. Neste caso, pode ser divulgado, em alternativa ao valor instantâneo, o valor que se encontra no meio da gama de valores do intervalo [Apostolopoulos1998]. No entanto, com esta abordagem, a precisão do valor difundido vai depender da dimensão do intervalo.

Na estratégia QoS-LCT opta-se por uma abordagem onde são divulgados valores correspondentes à média dos valores dos índices de congestão obtidos durante certo intervalo de tempo. Deste modo, pretende-se evitar as oscilações de encaminhamento provocadas pela utilização de valores instantâneos e a instabilidade daí resultante. A afinação e teste da dimensão deste intervalo constitui trabalho em curso.

## 2.2 Critério de desencadeamento de distribuição da métrica

A determinação do instante de difusão das métricas deve resultar num compromisso entre o *overhead* introduzido pelas actualizações frequentes e a incorrecção da informação de encaminhamento quando esta frequência é mais reduzida. É seguro que a difusão de parâmetros de QoS através do OSPF requer que as actualizações sejam distribuídos com uma frequência mais elevada do que acontece na versão base do protocolo. A definição desta frequência pode seguir diferentes abordagens de acordo com o tipo de *trigger* utilizado. A emissão de actualizações pode ocorrer sempre que se verificam alterações nos valores da métrica, periodicamente ou quando existe uma variação significativa nos valores dos índices.

No último caso pode ser utilizado um critério em termos absolutos, com um *trigger* por intervalos, ou um critério em termos relativos com um *trigger* por limiares. Na primeira hipótese os valores possíveis dos índices são divididos por intervalos e a distribuição de um novo valor da métrica ocorre quando o valor de um índice muda para um intervalo diferente. Os valores dos índices podem estar repartidos por intervalos de dimensão fixa ou de dimensão variável. Quando é utilizado um *trigger* por intervalos, pode ser incorporado um mecanismo de histerese para evitar as oscilações inerentes a transições consecutivas do mesmo limiar entre intervalos. No caso dos *triggers* por limiares, a distribuição de um novo valor da métrica ocorre apenas quando existe uma variação em relação ao valor anterior superior a determinado limiar. Em conjunto com os *triggers* descritos, podem ser utilizados temporizadores que garantam um intervalo mínimo entre duas actualizações consecutivas, denominados *hold-down timers* ou *clamp-down timers* [Apostolopoulos1998].

O mecanismo de actualização proposto na estratégia QoS-LCT utiliza um critério baseado em limiares devido à sua simplicidade. No entanto, este critério perde a sensibilidade quando os valores dos índices são mais elevados. Para ultrapassar este problema, são utilizados dois limiares e um ponto de transição. Quando o valor do índice se encontra abaixo do ponto de transição o limiar tem o valor *L1*, e quando se encontra acima deste ponto tem o valor *L2*. O ponto de transição separa uma zona em que o índice se encontra dentro de valores razoáveis de outra zona onde os valores do índice já representam uma situação de congestão. Se o limiar *L1* for superior ao limiar *L2*, a valores do índice mais elevados correspondem actualizações mais frequentes, sendo menos frequentes no caso oposto. Embora seja seguida a primeira abordagem, será interessante estudar o comportamento do algoritmo de encaminhamento em ambos os casos. O critério proposto combina a simplicidade da actualização por limiares com a sensibilidade ao estado da rede do critério baseado em intervalos de dimensão variável.

---

<sup>4</sup> <<http://www.ietf.org/html.charters/intserv-charter.html>>

### 2.3 Processo de distribuição da métrica

O processo de distribuição da informação de encaminhamento baseia-se no método utilizado pelo OSPF para difundir as métricas necessárias ao encaminhamento por tipo de serviço. Uma estratégia semelhante é seguida na proposta QoSRM. As alterações que é necessário efectuar ao OSPF são a activação de uma nova opção no campo das opções existente nos pacotes do protocolo para indicar o suporte de encaminhamento com QoS e a inclusão nas mensagens de actualização, para além dos parâmetros correspondentes aos índices de congestão de atraso e de perdas, da métrica base do OSPF atribuída a cada ligação.

A informação relativa aos índices de congestão de atraso e de perdas é incluída nos campos dos *Link State Advertisements* (LSA) dedicados à distribuição das métricas para encaminhamento por tipo de serviço. Assim, nos LSA (*router*<sup>5</sup> e *summary*<sup>6</sup>) devem ser incluídos, além da métrica base do OSPF atribuída a cada ligação, dois parâmetros correspondentes ao índice de congestão de atraso e dois relativos ao índice de congestão de perdas. Para cada um dos índices, o primeiro parâmetro identifica o índice e o segundo contém o seu valor, de acordo com a estrutura que passamos a descrever. No primeiro campo *Type-of-Service* (TOS) é colocado o identificador do índice de congestão de atraso (*IcA ID*). O campo TOS *metric* associado é preenchido com o valor do índice de congestão de atraso a divulgar. Seguindo uma estrutura idêntica, no segundo campo TOS é colocado o identificador do índice de congestão de perdas (*IcP ID*) e o campo TOS *metric* associado é preenchido com o valor do índice de congestão de perdas a divulgar.

A identificação utilizada para os índices (*IcA ID* e *IcP ID*) segue uma abordagem semelhante à utilizada na proposta QoSRM para codificação da métrica. Os índices são codificados recorrendo a uma extensão da capacidade de TOS de acordo com os elementos da Tabela 1. Deste modo, é possível manter a compatibilidade com a versão base do OSPF.

	Parâmetro	Tipo de serviço	Codificação OSPF
QoS-R-LCT	<i>IcA ID</i>	11000	48
TOS-Routing	Atraso	1000	16
QoS-R-LCT	<i>IcP ID</i>	10010	36
TOS-Routing	Fiabilidade	0010	4

Tabela 1- Codificação dos índices de congestão.

Na Figura 1 encontra-se um excerto de um *router*-LSA com distribuição de dois parâmetros de QoS, o índice de congestão de atraso e o índice de congestão de perdas.

A interpretação dos LSAs deverá ter em consideração os campos que foram introduzidos com a informação relativa aos índices. Assim, no campo #TOS deve ser colocado o valor 2, para indicar que são divulgados dois parâmetros adicionais para a ligação em causa.

```
#links = 2; número de interfaces do encaminhador
Link ID = ; endereço do designated router
Link Data = ; interface IP
Type = ; descrição do interface
#TOS = 2
metric = 1; valor do custo base de utilizar este interface
TOS = IcA ID (48); identificação do IcA
TOS metric = IcA; valor do IcA a anunciar
TOS = IcP ID (36); identificação do IcP
TOS metric = IcP; valor do IcP a anunciar
```

Figura 1- Excerto de um *router*-LSA.

<sup>5</sup> LSA que descreve os estados dos interfaces do encaminhador.

<sup>6</sup> LSA emitido pelos encaminhadores que estão ligados a várias áreas e que descreve destinos do sistema autónomo externos à área.

### 3 Mecanismo de encaminhamento proposto

O mecanismo de encaminhamento é responsável pelo cálculo de percursos de acordo com informação divulgada pela política de encaminhamento. Na estratégia QoS-R-LCT esta informação corresponde à métrica base do OSPF e aos índices de congestão de atraso e de perdas. O modelo de serviço do LCT segue o paradigma dos Serviços Diferenciados proposto pela IETF, com a classificação do tráfego num número limitado de classes, tendo cada uma diferentes requisitos em termos de QoS. As classes são caracterizadas de acordo com a sua sensibilidade a atraso e a perdas. A cada interface de um encaminhador correspondem dois índices de congestão que caracterizam o impacto do atraso e das perdas no desempenho das aplicações.

Neste modelo de serviço, são consideradas quatro classes de tráfego de acordo com a sua sensibilidade a atraso e a perdas (Tabela 1). Esta classificação foi realizada com base na caracterização de tráfego gerado por aplicações multimedia descrito por Golick [Golick1999].

Classe	Sensibilidade a atraso	Sensibilidade a perdas	Aplicações
1	Média	Alta	<i>Video Training</i>
2	Alta	Baixa	<i>Video real-time</i>
3	Alta	Média	<i>Internet telephony</i>
4	Baixa	Baixa	<i>Best-effort</i>

Tabela 2- Classes de tráfego do modelo de serviço do LCT.

#### 3.1 Abordagens para selecção de percursos sujeitos a métricas múltiplas

As abordagens para suporte de encaminhamento com base em métricas múltiplas podem ser agrupadas em três áreas: associação de largura de banda residual com outra(s) métrica(s), filtragem sequencial e combinação de métricas. Nos dois primeiros casos estamos perante a transformação do problema original num problema de optimização com um único objectivo e várias restrições. A combinação de métricas permite transformar o problema original num problema com um único objectivo, semelhante ao problema de encaminhamento tratado pelos protocolos de encaminhamento tradicionais.

Em geral, a largura de banda residual<sup>7</sup> é uma das métricas consideradas nas propostas de encaminhamento com QoS que seleccionam percursos com base em métricas múltiplas. A utilização desta métrica apresenta duas vantagens importantes, relacionadas com o facto de ser uma métrica côncava<sup>8</sup>. Esta propriedade permite reduzir a complexidade dos algoritmos onde a selecção de percursos seja realizada com base na utilização conjunta de largura de banda residual com outra métrica aditiva ou multiplicativa (Wang1996, Shaikh1997 e Guérin1998). A outra vantagem da utilização de restrições de largura de banda pelos algoritmos de selecção de percursos prende-se com o facto de ser possível utilizar *políticas de corte*. Neste caso, o algoritmo de cálculo de caminhos é aplicado a um grafo do qual já foram excluídas todas as ligações cuja largura de banda residual é inferior a determinado limiar. Num modelo onde exista reserva de recursos, este limiar pode ser determinado por um pedido de reserva (Zhang1997, Ma 1997 e Nahrstedt1998) e, num modelo onde a diferenciação de tráfego siga o paradigma de classes, pode derivar do grau de sensibilidade das classes de serviço.

A estratégia de *filtragem sequencial* permite que sejam utilizadas várias métricas, de acordo com a sua relevância [Crawley1998b]. Inicialmente, as métricas são ordenadas segundo o seu grau de importância, sendo encontrados os percursos que satisfazem a métrica principal. Na fase seguinte são excluídos os percursos que não podem suportar os requisitos associados à métrica que se encontra em segundo lugar. Este processo é repetido até ser encontrado um percurso que satisfaça todas as restrições. Como é óbvio, o percurso encontrado não é óptimo, mas tem a vantagem de ser obtido através da aplicação de algoritmos de cálculo de percursos semelhantes aos utilizados no encaminhamento tradicional. Esta abordagem é seguida no algoritmo *shortest-widest path* [Wang1996].

<sup>7</sup> Largura de banda que está disponível em determinado percurso.

<sup>8</sup> A largura de banda residual é uma métrica côncava, porque a largura de banda residual de um percurso corresponde ao mínimo da largura de banda disponível nas etapas que constituem esse percurso.

Como a selecção de percursos sujeitos a métricas múltiplas apresenta uma complexidade elevada, uma estratégia natural resulta na combinação dos vários parâmetros de QoS numa única métrica, denominada custo. Os parâmetros são combinados de acordo com regras específicas de cada algoritmo e a métrica resultante é utilizada pelo algoritmo de cálculo de caminhos (Rutgers1991 e Chen1997). Os problemas relativos à combinação de métricas prendem-se com a dificuldade da definição dos pesos a atribuir a cada uma das componentes e com a perda de informação individual originada pela agregação de parâmetros.

Na estratégia QoS-R-LCT optámos por combinar os índices de congestão relativos a atraso e a perdas numa única métrica, devido à simplicidade desta abordagem e pelo facto de se mostrar a mais adequada ao modelo de serviço baseado em classes. A utilização de uma única métrica permite que a complexidade do algoritmo de selecção de percursos se mantenha num nível reduzido, controlando-se deste modo o *overhead* devido à inclusão de mecanismos de qualidade de serviço. A desvantagem principal da utilização de uma métrica composta prende-se com a sensibilidade aos pesos atribuídos a cada uma das componentes. No entanto, como os pesos a atribuir a cada índice devem reflectir as diferenças entre classes de modo bastante acentuado, é nossa expectativa que seja possível definir pesos que permitam obter o desempenho desejado do algoritmo de encaminhamento. Outra desvantagem da combinação de métricas deve-se ao facto da agregação de métricas de natureza distinta poder originar uma métrica que não é representativa dos valores que engloba. Contudo, a agregação dos índices da métrica do LCT não deverá ter este efeito indesejável, na medida em que estes índices representam o impacto do atraso e das perdas que a aplicação irá sofrer se enviar o tráfego através de determinado encaminhador, e não valores absolutos de atraso e perdas [Quadros1998].

### 3.2 Definição da regra de composição dos índices

A regra de composição dos índices utilizada encontra-se na Equação 1. O custo associado a cada ligação é calculado para cada uma das classes de tráfego consideradas no modelo de serviço LCT. Este custo é função dos valores dos índices de congestão de atraso e de perdas ( $Ic_A$ ,  $Ic_P$ ) verificados nessa ligação e dos pesos ( $\alpha_1$ , e  $\alpha_2$ ), que representam a sensibilidade da classe a atraso e a perdas. Com esta abordagem, obtém-se um custo que tem em consideração a sensibilidade de cada classe a atraso e a perdas, sendo simultaneamente conseguida a diferenciação do tráfego, com a selecção de percursos adequados a cada classe.

$$Custo = \alpha_1 Ic_A + \alpha_2 Ic_P \quad (1)$$

Na tabela seguinte encontram-se exemplos de valores a atribuir aos pesos dos índices de congestão de acordo com a sensibilidade das classes a atraso e a perdas. Estes pesos são utilizados nos exemplos descritos nesta secção. No entanto, a definição destes valores requer uma avaliação pormenorizada a realizar no ambiente de teste.

Sensibilidade	Peso
Alta	0,9
Média	0,5
Baixa	0,1

Tabela 3- Mapeamento de sensibilidade aos parâmetros de QoS nos pesos dos índices de congestão.

No gráfico da figura seguinte encontram-se os resultados da aplicação do método de combinação de pesos indicado na Equação 1, quando o índice de congestão de perdas tem o valor 1 e o índice de congestão de atraso toma valores de 1 até 10. Ao ser variado o índice de atraso, o custo das classes com maior sensibilidade ao atraso (classes 2 e 3) demonstram um crescimento do custo mais acentuado. De salientar que este aumento é ligeiramente mais significativo para a classe 3, derivando da sua maior sensibilidade às perdas. O custo das classes 1 e 4 também apresenta a evolução esperada de acordo com as suas sensibilidades média e reduzida ao atraso, respectivamente.

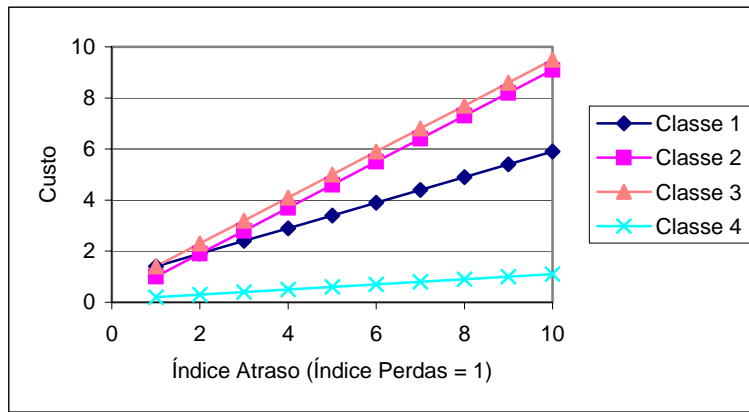


Figura 2- Influência dos índices no custo, quando o índice de perdas é constante.

Os resultados apresentados na Figura 3 referem-se à combinação de pesos, quando o índice de congestão de atraso tem o valor 1 e o índice de congestão de perdas toma valores de 1 até 10. Pode observar-se que a classe 1 (a única classe com sensibilidade elevada a perdas) é aquela que sofre um acréscimo de custo mais acentuado quando aumenta o índice de perdas. Como era esperado, verifica-se a diferenciação entre as classes restantes de acordo com o seu grau de sensibilidade a ambos os parâmetros.

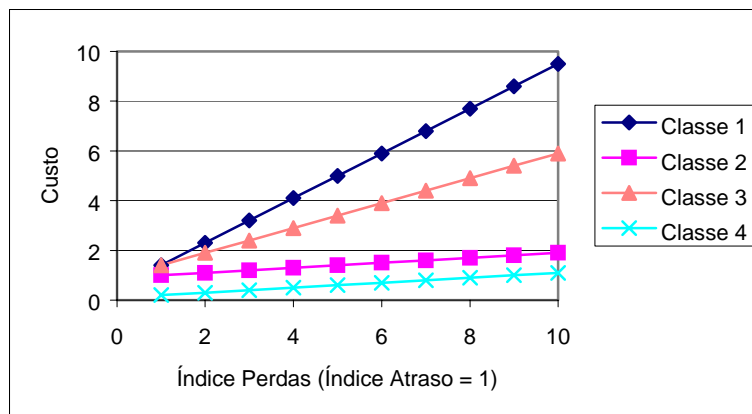


Figura 3- Influência dos índices no custo, quando o índice de atraso é constante.

Seguindo este processo de atribuição de pesos aos índices, a diferenciação entre classes ocorre como pretendido, como se pode ver no gráfico seguinte, quando os índices de atraso e de perdas têm valores iguais. As classes 1 e 3 têm o mesmo custo, pois a sua sensibilidade a atraso e a perdas é simétrica. As outras classes são diferenciadas pela sua sensibilidade ao atraso.

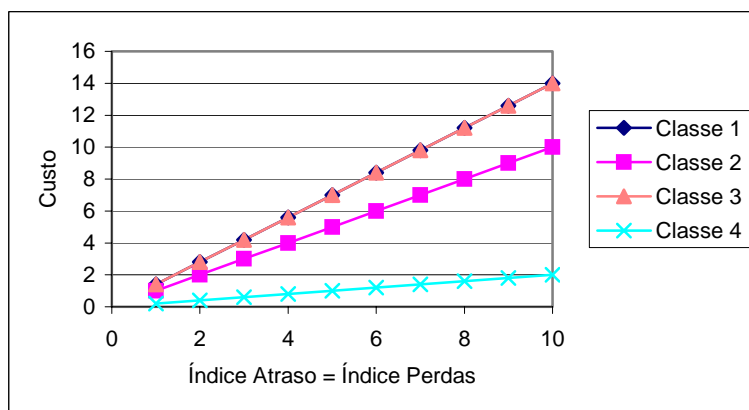


Figura 4- Influência dos índices no custo, quando os índices são iguais.

Os exemplos apresentados nesta secção mostram como a regra de cálculo de custos proposta satisfaz os critérios de diferenciação de classes relativamente à sua sensibilidade a atraso e a perdas.

### 3.3 Algoritmo de selecção de percursos

A utilização da métrica combinada descrita na secção anterior permite que a selecção de percursos seja realizada pelo algoritmo de cálculo de caminhos utilizado no OSPF, o algoritmo de *Dijkstra* [Steenstrup1995]. As diferenças em relação ao algoritmo de selecção de percursos do OSPF são a utilização do custo resultante da combinação dos índices e a aplicação do algoritmo para cada uma das classes. Deste modo é seleccionado um percurso de custo mínimo de acordo com o custo das ligações calculados para cada classe.

### 3.4 Instante de aplicação do algoritmo de cálculo de caminhos

Na versão base do OSPF o algoritmo de cálculo de caminhos é aplicado sempre que é recebida uma actualização. Com o aumento da frequência da recepção de actualizações, esta abordagem requer um esforço adicional de processamento que pode ser significativo. Em alternativa, o algoritmo pode ser aplicado periodicamente, após a recepção de determinado número de actualizações, ou através de um mecanismo misto que incorpore ambos os critérios. Devido à sua flexibilidade, optámos por utilizar um critério misto, ou seja, o algoritmo de cálculo de caminhos é aplicado quando o período chegar ao fim ou após a recepção de determinado número de actualizações. O impacto da definição destes parâmetros no desempenho do algoritmo é um dos aspectos a analisar.

### 3.5 Testes

No modelo de serviço do LCT pretende-se oferecer qualidade de serviço sem recorrer à reserva explícita de recursos. No entanto, para fornecer qualidade de serviço, é necessário que os recursos sejam distribuídos de acordo com as necessidades das aplicações. Para que este objectivo seja satisfeito, é necessário que o tráfego pertencente a classes sensíveis a atraso siga por percursos com atraso reduzido e que o tráfego de classes sensíveis a perdas seja enviado por percursos onde exista menor número de perdas. A partilha dinâmica de recursos entre as diferentes classes de tráfego é conseguida, como foi descrito nas secções anteriores, à custa da função que é utilizada para o cálculo de custos das ligações. Assim, o custo de um percurso reflecte os valores dos índices de atraso e de perdas e a sensibilidade de cada classe a estes valores. A estratégia seguida na regra de cálculo de custos e na selecção de caminhos encontra-se exemplificada nas topologias indicadas de seguida.

1. Uma topologia simples, com dois percursos alternativos para o mesmo destino, um com índice de atraso reduzido e outro com índice de perdas reduzido - topologia 1.
2. Uma topologia do tipo *switched cluster topology* [Ma1999] - topologia 2.

Na topologia 1 (Figura 5) existem dois percursos alternativos entre os nós A e D. Em cada ligação encontram-se indicados os índices de congestão relativos a atraso e a perdas sob a forma do par (índice de congestão de atraso, índice de congestão de perdas). O percurso por B é composto por etapas com índices de atraso reduzidos e índices de perdas elevados, verificando-se o oposto no percurso por C. O objectivo deste exemplo é ilustrar que a regra utilizada para o cálculo dos custos permite que o tráfego de classes mais sensíveis a atraso siga pelo percurso onde os índices de atraso têm valores mais reduzidos e que o tráfego de classes sensíveis a perdas é expedido pelo percurso com índices de perdas menores.

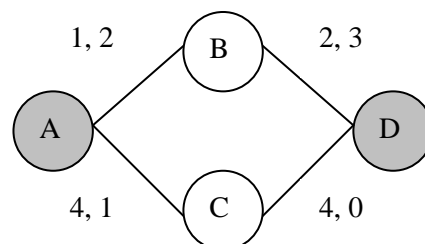


Figura 5- Topologia 1.



Na Tabela 4 encontram-se os custos associados a cada classe de tráfego. Na regra de cálculo de custos são utilizados os pesos indicados na Tabela 3. Da análise da tabela é possível determinar, para cada classe, qual a próxima etapa para o destino no percurso de menor custo.

Destino	Próxima etapa	Custo Classe 1	Custo Classe 2	Custo Classe 3	Custo Classe 4
D	B	6	3,2	5,2	0,8
D	C	4,9	7,3	7,7	0,9

Tabela 4- Custos associados ao envio de tráfego das diferentes classes entre A e D.

A classe 1, sendo a classe mais sensível a perdas, é enviada pelo percurso onde existem menos perdas, ou seja, por C. As classes 2 e 3, como têm uma sensibilidade elevada a atraso são enviadas por B, a próxima etapa no percurso de menor atraso para o destino. No entanto, a classe 4, ao ser enviada pelo mesmo percurso que as classes sensíveis a atraso, pode ir sobrecarregar um percurso que se pretende ofereça atrasos reduzidos, gerando oscilações de encaminhamento e tendo impacto no desempenho das aplicações. Nestes casos, seria interessante “desviar” o tráfego desta classe dos percurso de atraso mínimo, para que não consumisse recursos necessários às classes mais sensíveis a atraso, realizando deste modo uma protecção destas classes, embora sem recorrer a reserva explícita de recursos.

A topologia utilizada no segundo grupo de experiências encontra-se na Figura 6. Os índices de atraso e de perdas de cada ligação encontram-se, como no caso anterior, junto à ligação correspondente. Na tabela 5 encontram-se os custos associados aos diferentes percursos entre os nós A e F.

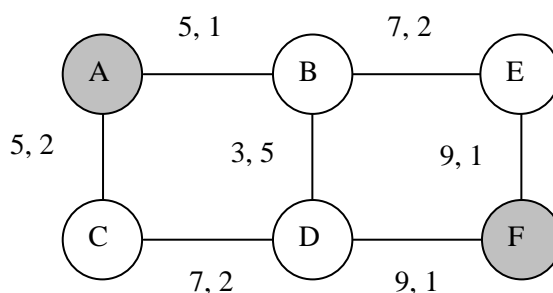


Figura 6- Topologia 2: *switched cluster topology*.

Como se pode ver na Tabela 5, a classe 1 (classe mais sensível a perdas) vai pelo percurso onde os índices de perdas são menores, verificando-se o comportamento desejado. Relativamente às classes 2 e 3, o custo mais reduzido é obtido no percurso com índices de perdas mais reduzidos.

Destino	Próximas etapas	Custo Classe 1	Custo Classe 2	Custo Classe 3	Custo Classe 4
F	B,E	14,1	19,3	20,9	2,5
F	B,D	14,8	16	18,8	2,4
F	C,D	15	19,4	21,4	2,6
F	C,D,B,E	26,3	29,1	33,9	4,3

Tabela 5- Custos associados ao envio de tráfego das diferentes classes entre A e F.

### 3.5.1 Análise de resultados

A observação dos resultados dos testes permite identificar uma situação que pela sua natureza, suscita uma análise mais detalhada. Esta situação corresponde ao caso em que o tráfego da classe 4, onde é classificado o tráfego *best-effort*, é expedido pelo mesmo percurso que as classes com sensibilidade elevada a atraso.

A coexistência de tráfego *best-effort* e de tráfego com requisitos de QoS é tratado por Ma e Steenkiste, que descrevem um algoritmo de encaminhamento com QoS cujo objectivo é a partilha dinâmica de recursos entre classes de tráfego com requisitos de QoS e o tráfego *best-effort* [Ma1999]. Na abordagem seguida, o custo utilizado para determinação de percursos para as classes que necessitam de qualidade de serviço é calculado de modo a serem evitados os percursos onde já existe muito tráfego *best-effort*. Deste

modo, em vez de ser utilizada a largura de banda que está disponível em cada ligação, é utilizado um valor de largura de banda disponível virtual, que tem em consideração a largura de banda que está disponível e o estado de congestão da ligação. O grau de congestão de uma ligação é obtido através da *max-min fair rate*. Este algoritmo de encaminhamento é interessante para ambientes onde exista reserva de recursos, na medida em que requer informação sobre a largura de banda que se encontra disponível nas ligações. Por exemplo, podia utilizar-se esta ideia como extensão aos mecanismos de QoS incluídos na proposta QoSRM.

No modelo de serviço do LCT, o grau de congestão das ligações é obtido a partir dos índices de atraso e de perdas, ou seja, o custo utilizado pelo nosso algoritmo de encaminhamento já reflecte o estado dinâmico da rede. A nossa proposta pretende, em vez de desviar as classes de QoS das ligações onde existe muito tráfego *best-effort* como é realizado no trabalho supra citado, evitar que o tráfego *best-effort* utilize os percursos com índice de atraso mínimo, de modo a ficarem “reservados” para as classes mais sensíveis a atraso. Para atingir este objectivo a regra utilizada para calcular o custo da classe 4 deve ser alterada. Normalmente, como o tráfego da classe *best-effort* tem baixa sensibilidade a atraso e a perdas, os pesos a utilizar na regra de cálculo do custo, deveriam corresponder a estas características. No entanto, como se pretende que o tráfego desta classe não utilize o percurso com menor índice de atraso, deve aumentar-se o peso do índice de congestão de perdas. A definição do seu valor deve ser analisada cuidadosamente, de modo a não excluir percursos com índices de atraso e de perdas não muito elevados, expedindo apenas o tráfego *best-effort* pelo percurso com menor índice de perdas.

## 4 Conclusões e Trabalho Futuro

A necessidade de encaminhamento com QoS tem originado um vasto conjunto de propostas que, em geral, se enquadram no paradigma da reserva de recursos. Num modelo onde a diferenciação de tráfego é feita de acordo com o modelo dos Serviços Diferenciados, importa distribuir os recursos existentes pelas diferentes classes de tráfego de acordo com as suas características. O encaminhamento com QoS tem um papel primordial neste contexto, na medida em que permite realizar uma reserva implícita de recursos, enviando o tráfego pertencente a classes mais sensíveis por percursos com características mais adequadas, e expedindo o tráfego restante por percursos alternativos. Neste documento apresentámos uma estratégia para encaminhamento com QoS adequado ao modelo de serviço do LCT. A afinação dos parâmetros utilizados e a avaliação de desempenho constituem os aspectos principais do trabalho futuro.

## Bibliografia

[Apostolopoulos1998] G. Apostolopoulos, R. Guérin, S. Kamat, and S. Tripathi, “Quality of service Based Routing: A Performance Perspective”, Proceedings of the ACM SIGCOMM’98, Aug 31- Sept 4, 1998, Vancouver, BC, Canada, pp 17-28.

[Bernet1999] Y. Bernet, J. Binder, S. Blake, M. Carlson, B. Carpenter, S. Keshav, E. Davies, B. Ohlman, D. Verma, Z. Wang, W. Weiss, “A Framework for Differentiated Services”, Internet Engineering Task Force, Internet Draft, February 1999. Work in progress.

[Chen1997] S. Chen, K. Nahrstedt, “Distributed QoS Routing”, Technical Report, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1997.

[Golick1999] J. Gollick, “Catching the Multimedia Wave”, Data Communications, March 1999.

[Guérin1998] R. Guérin, S. Kamat, A. Orda, T. Przygienda, D. Williams, “QoS Routing Mechanisms and OSPF Extensions”, Internet Engineering Task Force, Internet Draft, January 1998. Work in progress.

[Ma1997] Q. Ma, P. Steenkiste, “On Path Selection for Traffic with Bandwidth Guarantees”, In Proceedings of IEEE International Conference on Network Protocols, Atlanta, Georgia, October 1997.

[Moy1998] J. Moy, “OSPF Version 2”, Internet Engineering Task Force, Network Working Group, Request For Comments 2328, April 1998.

[Oliveira1999] M. Oliveira, G. Quadros, B. Melo, “Estratégia de Encaminhamento com Qualidade de Serviço com Base na Métrica do Laboratório de Comunicações e Telemática”, Relatório Interno, Centro de Informática e Sistemas da Universidade de Coimbra, Setembro de 1999.

[Quadros1998] G. Quadros, E. Monteiro, F. Boavida, “A QoS Metric for Packet Networks”, Proceedings of SPIE's symposium on Voice, Video, and Data Communications conference on Quality of Service Issues Related to Internet, Boston, MA, USA, November 2-5, 1998.

[Rutgers1991] C. Rutgers “An Introduction to IGRP”, Cisco Technical Tips, August 1991.

[Shaikh1997] A. Shaikh, J. Rexford, and K. Shin, “Dynamics of Quality-of-Service Routing with Inaccurate Link-State Information”, University of Michigan Technical Report CSE-TR-350-97, November 1997.

[Shenker1997] S. Shenker, C. Partridge, R. Guérin, “Specification of Guaranteed Quality of Service”, Internet Engineering Task Force, Network Working Group, Request For Comments 2212, September 1997.

[Steenstrup1995] M. Steenstrup, “Routing in Communications Networks”, Prentice Hall, ISBN 0-13-010752-2, 1995.

[Wang1996] Z. Wang , J. Crowcroft, “Quality of Service Routing for Supporting Multimedia Applications”, IEEEJSAC, September 1996.

[Zhang1997] Z. Zhang, C. Sanchez, W. Salkwicz, E. Crawley, “Quality of Service Extensions to OSPF or Quality of Service Path First Routing (QOSPF)”, Internet Engineering Task Force, Internet Draft, September 1997. Work in progress.