

Groupware multicast com QoS pró-activa integrado num sistema de e-learning

Sérgio Deusdado

sergiod@ipb.pt

Escola Superior Agrária
Secção de Informática
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança-Portugal
Tel. 351 273 303 267

Paulo Carvalho

pmc@di.uminho.pt

Escola de Engenharia
Departamento de Informática
Universidade do Minho
Braga-Portugal
Tel. 351 253 604 432

Maio, 2004

Resumo

As novas formas de geração, desenvolvimento, transmissão e conservação dos saberes convergem nos sistemas de processamento de informação digital e na sua interligação, em súpula na Internet. As novas aplicações, cada vez mais pró-humanas e interactivas, que fomentam encontros virtuais usáveis e plausíveis no e-learning, emergem sem garantias de qualidade de serviço (QoS) substantivas, óbice do modelo IP best-effort.

As aplicações multicast, pelo suporte telemático eficiente à comunicação em grupo, afirmam-se como fundamentais para a implantação de serviços multimédia interactivos. Em prol do seu desenvolvimento e adicionalmente aos seus atributos de eficiência, estas aplicações deveriam incorporar mecanismos que lhes permitissem integrar-se amigavelmente na competição por recursos da Internet.

A capacidade de adaptação da QoS de uma aplicação em face dos recursos disponíveis é um factor de qualidade dessa mesma aplicação. As aplicações de tempo crítico tolerantes, como as videoconferências, são potenciais beneficiárias desta inovação, no entanto, nem todas incorporam tecnologia adaptativa que lhes permita um comportamento "consciente" perante a QoS prestada pela rede e pelo sistema final. A adaptação, nestes casos, pode ser lograda com recurso a uma camada de middleware multiplataforma, que tutelarà a adjudicação ou limitação dos recursos de processamento e interligação disponíveis para as aplicações.

Articulando estas contribuições tecnológicas, desenvolveu-se uma plataforma adaptativa integrando ferramentas multicast de domínio público, servindo de suporte a um sistema de educação à distância. Este sistema, baseado no serviço WWW está centrado no cliente (e-aluno), privilegiando as boas práticas pedagógicas e a usabilidade pró-activa de meios telemáticos e multimediáticos. Os serviços disponibilizados, incluindo as conferências multimédia multicast (CMM) interactivas com QoS adaptada, são usáveis de forma integrada e transparente para o utilizador.

Os resultados obtidos ratificam a importância da adaptabilidade de todas as componentes fim-a-fim, mas neste trabalho com particular ênfase para as aplicações. Obtiveram-se benefícios ao nível da escalabilidade e da preservação dos recursos para os parâmetros mais críticos, essenciais para a complacente realização de sessões de e-learning.

1. Introdução

A Internet, sobretudo a nova geração, perfila-se como panaceia para as exigências de comunicação digital nos mais vastos domínios. Na educação, sobretudo no nível superior, e particularmente no ensino à distância (EAD), a via da "webização" não ficou por explorar. Decorrente da evolução do serviço WWW, incorporaram-se ferramentas de conferência multimédia distribuída que fomentam a interactividade e as relações pró-humanas.

As aplicações de comunicação em grupo são, cada vez mais, representativas no rol de aplicações que usam a Internet mas, insipientes em sustentar o seu desempenho devido a uma Qualidade de Serviço (QoS) limitada [1]. Tais aplicações encontraram na tecnologia *multicast* [2] uma aliada para a sua implantação e escalabilidade, usando o Mbone [3], a rede virtual sobre a Internet que suporta o tráfego *multicast*. À medida que o *groupware* prolifera nos sistemas e tráfego da Internet a apetência pela tecnologia *multicast* vai crescendo, sobretudo pela necessidade de optimização da utilização dos recursos fim-a-fim.

Conferir adaptabilidade às aplicações [4], [5], é igualmente uma via em exploração para a integração das aplicações de *groupware* na Internet. A combinação de *multicast* e adaptabilidade augura uma participação proactiva em CMMs. Em transmissões de vídeo usando entrega selectiva aos utilizadores finais, uma das formas de conviver com as flutuações de largura de banda disponível e acomodar-se à heterogeneidade dos utilizadores, ao nível dos seus sistemas e capacidade de interligação, é a interposição de um módulo adaptador de QoS [6]. Este proverá, de forma adaptada, proactiva e transparente, a execução das aplicações *multicast* nos clientes que pretendem emitir, indexando as configurações das aplicações aos recursos disponíveis aferidos, nomeadamente à QoS da sua interligação e à QoS de processamento do seu hardware. No sistema desenvolvido a QoS é adaptada selectivamente para cada novo membro interventivo, referenciado-se no binómio e-aluno/e-tutor.

2. Motivações

Este trabalho visou a integração adaptativa e transparente de aplicações multimédia *multicast* na Internet e instanciou-se num sistema de *e-learning*. Inicialmente focalizou-se o estudo na solvência das comunicações por computador em trabalho colaborativo.

Numa rede provedora de serviço indiferenciado, sem mecanismos de suporte de QoS, as aplicações multimédia podem ser adversamente afectadas pela flutuação dos recursos de interligação. As aplicações multimédia *multicast* usam, para o transporte dos seus dados, o protocolo RTP, descrito no RFC 1889, que assenta no UDP. O tráfego desta natureza intensifica-se na Internet, muitas vezes sem controlo associado, e quase sempre pondo em causa as aplicações que usam o TCP. A congestão das sub-redes dá-se, em muitos casos, pela replicação de pacotes oriundo destas aplicações multimédia que não se integram na Internet de forma consciente da QoS que necessitam e dos recursos que consomem.

A adaptabilidade assegura que os excessos são evitados e que o tráfego que se injecta na rede terá boas probabilidades de atingir o seu fim, evitando situações de colapso e mantendo a conferência "viva"[6]. As aplicações *multicast* de domínio público, com ênfase para as que lidam com áudio e vídeo, as mais utilizadas neste trabalho, são insensíveis a situações de congestão ou mesmo degradação das condições de emissão/recepção, tal comportamento é atentatório contra os recursos, sempre escassos em termos de serviço de transmissão, que partilham todos os utentes da Internet.

Os requisitos das aplicações de áudio e vídeo interativo, como as que são usadas no *e-learning*, estão bem estudados em termos de desempenho dos serviços de rede, de modo a suportar a inteligibilidade e a interactividade. A ITU (*International Telecommunication Union*) produziu vários estudos e recomendações sobre a qualidade de comunicações de: voz (ITU-T-G.114), vídeo (BT.500.10) e de serviços sobre IP (ITU-T-Y1514). Se em termos de largura de banda, as necessidades oscilam entre as centenas de Kbps e as dezenas de Mbps, em termos de tolerância a perdas de pacotes, os limites situam-se abaixo dos 10% para o vídeo e são mais restritos para o áudio. O atraso também põe em causa a eficácia da comunicação interactiva. A Figura 1 apresenta graficamente a influência destes requisitos de QoS.

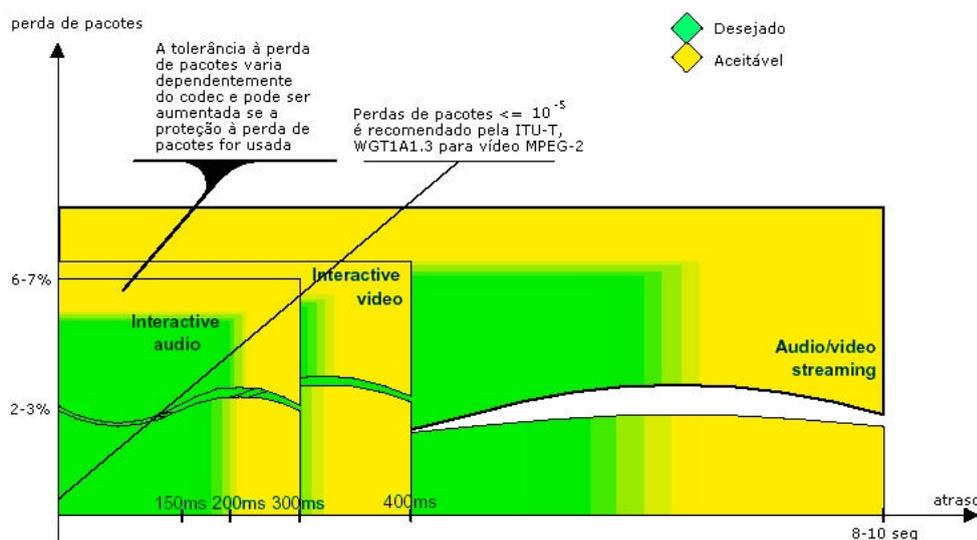


Figura 1 - Mapeamento dos requisitos de atraso e perda de pacotes para aplicações multimédia interactivas [13].

Relativamente ao desiderato do *e-learning*, refira-se o projecto IRI (*Interactive Remote Instruction*), descrito em [7], como precursor do ensino colaborativo baseado em infocomunicação interactiva de conteúdos multimédia.

A concepção de um sistema de *e-learning* é necessariamente complexa. O protótipo desenvolvido seguiu as directrizes da literatura bem como exemplos comerciais bem sucedidos, com é o caso do *Centra One*¹. No desenvolvimento do *e-learning*, os investigadores procuram conciliar a profícua aplicação da tecnologia existente, com o estado evolutivo/social da humanidade. Os ambientes de aprendizagem baseados em meios telemáticos e conteúdos digitais devem adaptar-se e responder a esta diferença natural, a concepção de novas metodologias de ensino não se deve afastar da personalização apesar do processo virtual [8].

¹ www.centra.com

3. Metodologias e arquitectura do sistema desenvolvido

As aplicações de ensino à distância que assentam em videoconferência, requerem ao serviço de rede *multicast*, condições que assegurem que os atrasos e as perdas experimentadas pelos pacotes de áudio/vídeo se situam dentro dos limites tolerados, por forma a manter uma qualidade aceitável na informação que é prestada ao utilizador. Uma das soluções para lidar com este *status quo*, prende-se com a introdução de adaptabilidade nos elementos produtores de tráfego, sobretudo nas aplicações com maior débito. A adaptabilidade é exercida de forma independente da aplicação, introduzindo uma camada de *middleware*. Será necessário que os vários módulos (*applets* e *javascript*) que a constituem, em primeira instância, se possam inteirar das condições de QoS existentes em tempo de transmissão, bem como dos recursos à disposição nos sistemas clientes (sobretudo a capacidade de processamento e recursos de memória disponíveis), e actue no sentido de regular de forma pró-activa as parametrizações das aplicações *multicast* a executar.

Como parâmetros que serão alvo de tratamento para fornecer um comportamento adaptativo das aplicações, destacam-se os seguintes:

- i. no caso do sistema cliente pretender tornar-se activo na emissão de áudio/vídeo, adaptar a qualidade da imagem/som transmitidos em função das condições verificadas ao nível de comunicações/processamento/memória;
- ii. no caso do vídeo, adaptar a qualidade da imagem e a taxa de imagens por segundo aos recursos de largura de banda disponíveis;
- iii. em cenário de escassez de recursos optar pelos formatos de codificação mais compactos na transmissão de áudio e vídeo bem como limitar o consumo de largura de banda;
- iv. em suma, fornecer ao utilizador de forma transparente, o melhor serviço *multicast* que o seu sistema/ligação podem alcançar sem comprometer a rede e a comunicação com o grupo.

A arquitectura do sistema, esquematizada na Figura 2, é sobretudo pensada para uma acoplagem perfeita ao enquadramento interdependente de QoS operacional, incorporando os vectores relativos à rede, ao sistema operativo e à capacidade de processamento.

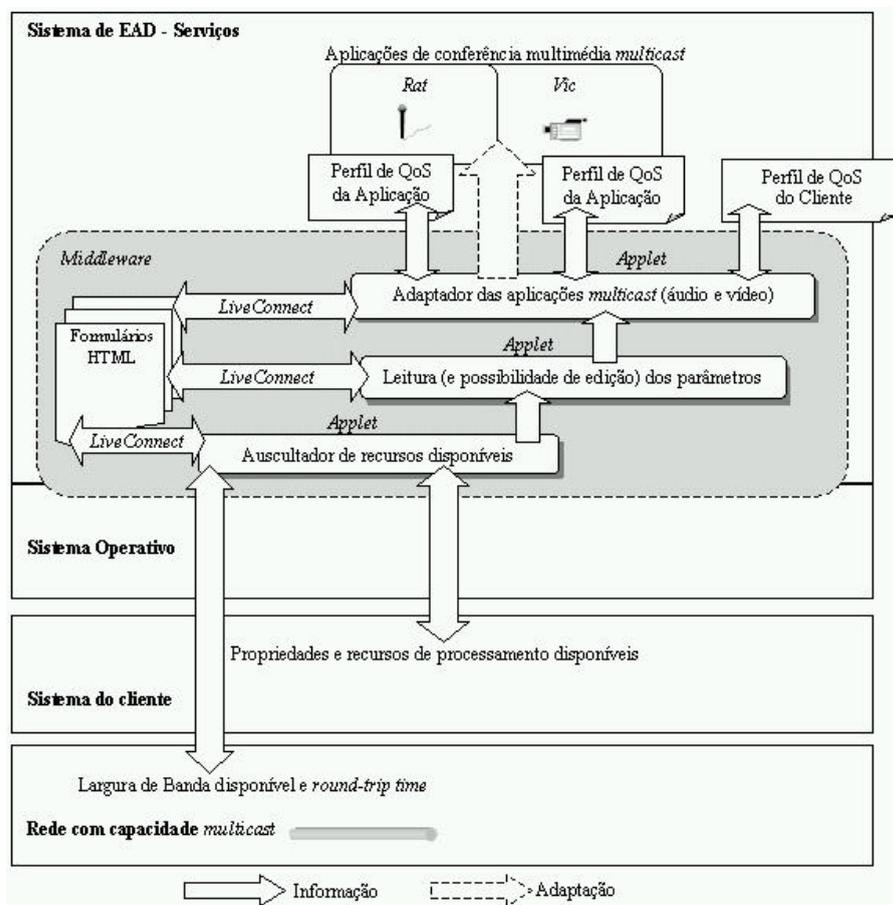


Figura 2- Arquitectura do sistema de gestão adaptativa da QoS para as aplicações *multicast*.

Por forma a assegurar maior escalabilidade e qualidade continuada para clientes que constituem um grupo *multicast* heterogéneo, na óptica da rede, monitorizam-se os seus parâmetros de QoS, que constituem, juntamente com as propriedades do sistema cliente, os *inputs* para que o *middleware* regule proactivamente os recursos usáveis. Na rede importa verificar a largura de banda disponível e o *round-trip time (rtt)* entre e-aluno e e-tutor, e no sistema do cliente consideram-se a memória disponível e a carga do processador. Em situações de congestão da rede ou escassez de recursos, o *middleware* irá despoletar as aplicações num modo de "consumo mínimo", evitando dessa forma que o restabelecimento da QoS da rede seja hipotecado.

A adaptação das aplicações é computada em função do perfil de QoS determinado para cada novo membro *multicast* activo. O resultado da computação emanará um conjunto de pré-parametrizações estratificadas por modos qualitativos (a desenvolver em 5.3) que ajustarão as aplicações para um funcionamento eficaz e eficiente no âmbito das conferências típicas do processo de ensino à distância.

A camada de *middleware* é o cerne da arquitectura, praticamente todos os fluxos de controlo do sistema são originados nesse módulo. Antes de se processar a adaptabilidade é necessário recolher dados, auscultando o sistema cliente. Compete à camada de *middleware*, avaliar as condições de interligação e processamento para deliberar com base numa equação (Equação 1), o modo de adaptação a incutir às aplicações de suporte à conferência.

O *middleware* é constituído por cinco componentes básicos que operam sequencialmente, a saber:

<i>Applet</i> prospector de condições e calculador do modo de adaptação - <i>Auscultador.class</i> ;	Formulário HTML para visualização das propriedades e recursos disponíveis no sistema;	<i>Applet</i> que lê os parâmetros do formulário para os passar ao <i>applet</i> seguinte - <i>leParametros.class</i> ;	Formulário HTML para visualização/edição da parametrização e lançamento do <i>applet</i> seguinte;	<i>Applet</i> de iniciação das aplicações <i>multicast</i> - <i>IniciaApAdaptada.class</i> .
--	---	---	--	--

Os *applets* usados para recolher a informação relevante visando estabelecer o perfil de QoS do cliente necessitam de privilégios de segurança adicionais, por exemplo, para executar aplicações ou escrever ficheiros temporários na máquina do cliente. Consequentemente, será exposta uma janela para requerer a autorização explícita do utilizador que se faz acompanhar da amostragem de um certificado de segurança (que para este trabalho de investigação é de tipo teste).

A recolha dos indicadores de disponibilidade dos recursos do *host* é feita por invocação de aplicações auxiliares, normalmente de sistema ou comandos internos, que permitem escrever em ficheiros temporários a listagem dos recursos de processamento disponíveis num determinado momento. Nesses ficheiros é possível posteriormente identificar e recolher os indicadores dotados de significado para o trabalho, como o tipo de processador, a sua carga efectiva e o estado da memória. A tarefa de encetar o processo de auto-avaliação e recolha dos indicadores é da responsabilidade do *applet Auscultador*, que obviamente necessita de ver concedidos os já aludidos privilégios adicionais de segurança.

Quanto às métricas que avaliam as condições de interligação, nomeadamente a largura de banda disponível e o *rtt*, estas são obtidas por média móvel de repetidas medições de desempenho em transações de datagramas entre o sistema do e-aluno e do e-tutor.

A parametrização inferida pelo *middleware* é apresentada ao utilizador, este confirma ou edita as configurações das aplicações. De facto, os parâmetros finais são editáveis (dentro da gama de possibilidades aceitáveis) de forma assistida por *javascrit* embutido, conferindo ao utilizador o controlo se resolver dispensar total ou parcialmente a adaptabilidade. Finalmente as aplicações iniciam-se aderindo à conferência.

4. Aplicações *multicast* envolvidas

As aplicações *multicast* usadas neste trabalho são de domínio público, foram criadas para demonstrar as potencialidades da tecnologia *multicast* e servir de ferramenta no Mbone. Usaram-se aplicações para CMM, produzidas na University College of London e nos Laboratórios da Universidade da Califórnia em Berkeley.

As aplicações que normalmente constituem a base de uma sessão no Mbone são as seguintes:

- i. *rat* [9] (*robust audio tool*) - audioconferência;
- ii. *vic* [10] (*videoconferencing tool*) - videoconferência ;
- iii. *wb* (*whiteboard*) - conferência gráfica;
- iv. *nte* (*network text editor*) texto-conferência.

Mais recentemente, o JMF - *Java Media Framework* [11], deu um contributo interessante para o desenvolvimento da difusão selectiva de media na Internet. Embora o JMF não proporcione a pré-parametrização, essencial para este trabalho, é utilizado como servidor de media. No sistema de *e-learning* incluem-se os *plugins*, provenientes da sua plataforma, para aceder aos media directamente via *browser*.

De entre as aplicações que integram o sistema de *e-learning*, a adaptabilidade aplica-se somente às aplicações de voz e vídeo interactivo, pois são aquelas que apresentam maior necessidade de QoS, e mais afectam os recursos disponíveis.

A forma de modelar os parâmetros de QoS das aplicações envolvidas neste trabalho resultou da conjugação dos resultados obtidos experimentalmente e das referências científicas nesta matéria [12]. Por exemplo, os utilizadores de videoconferências, tipicamente requerem melhor qualidade de áudio que de vídeo. O sucesso da comunicação numa videoconferência também pode depender de factores como, a cadência de *frames*, a qualidade da imagem, a resolução, o tamanho e a iluminação [13], [14], [15].

Para este trabalho, foi usada parametrização para modelar a QoS nas aplicações *vic+rat*. A sinopse da parametrização de tais aplicações é apresentada na Tabela 1. De forma transparente, caberá ao *middleware* invocar estas aplicações parametrizado-as adequadamente faces aos recursos utilizáveis.

Na especificidade do *e-learning*, a adaptabilidade dinâmica e *on-the-fly* [16], não se torna adequada por não garantir a estabilidade das condições de transmissão durante a sessão de ensino. Outro factor que inviabiliza a utilização desta técnica no trabalho efectuado incide no facto de as aplicações usadas não possuírem a estabilidade suficiente para aceitarem reconfigurações de todos os parâmetros de QoS durante a emissão.

<i>rat</i>	-f format	Indica o formato de codificação áudio: <i>l16, pcm, dvi, gsm and lpc</i>
	-B Kbps	Limita a largura de banda a consumir em Kbps
<i>vic</i>	-f format	Indica o formato de codificação vídeo: <i>h261, h263, jpeg, nv,...</i>
	-F fps	Configura a taxa de imagens por segundo (fps) a transmitir

Tabela 1- Parâmetros usados nas aplicações *vic+rat* para ajustar o perfil de QoS inicial.

5. Sistema desenvolvido para apoio ao *e-learning*

Geralmente os serviços de EAD podem ser entregues de forma tríplice: síncrona (tempo-real); assíncrona (a pedido); e híbrida. No sistema desenvolvido poderá aceder-se a estes três tipos de serviços.

Sinteticamente, o sistema visa aproximar a mais avançada tecnologia de *groupware*, numa interface *web* de usabilidade profusamente desenvolvida, que permita aos agentes educativos usar as ferramentas *multicast* de forma transparente. Acrescidamente, é salvaguardada a qualidade de serviço em serviços assíncronos e síncronos por intermédio de automatismos de adaptabilidade que supervisionam o bom funcionamento do sistema.

O sistema desenvolvido está preparado para fornecer vários níveis de serviço:

- i.* faculdade virtual com interface *Web*, de elevada usabilidade, servindo de ponto de partida e chegada aos conteúdos disponíveis, centralizando as demandas e organizando as respostas, conduzindo alunos e professores aos serviços disponibilizados de forma eficaz e eficiente;
- ii.* registo, autenticação e manutenção de estado dos agentes educativos, alunos e tutores mormente;
- iii.* gestão/manutenção/calendarização das sessões *multicast* originadas pelo sistema de EAD;
- iv.* acesso a material pedagógico assincronamente, como *multicast* de gravações de aulas, apresentações diferidas, documentação multimédia, etc.;
- v.* *multicast* em tempo real de texto, áudio e videoconferências, para grupos de utilizadores dispersos na Internet, com acesso adaptativo para qualidade de serviço diferenciada nos emissores;
- vi.* disponibilização de ferramentas de desenvolvimento de relações de comunidade e espaços de trabalho partilhado como sendo, *whiteboard multicast*, fóruns e *chats* (textuais e gráficos) ou apresentação de *slides*.

A Figura 3 dá uma perspectiva esquemática do sistema na sua globalidade, onde são visíveis os componentes que constituem o lado servidor, a topologia de rede de alto nível bem como a visão das potenciais entidades clientes.

Desenvolveu-se uma interface *web* do sistema de *e-learning* facilitando a sua acessibilidade e usabilidade. A usabilidade foi um dos vectores principais que nortearam este trabalho. As aplicações *multicast*, mesmo nos meios académicos e considerando utilizadores tecnicamente evoluídos, demonstraram lacunas na sua usabilidade, especialmente no tocante à escolha consciente dos formatos de codificação áudio e vídeo mais apropriados para determinado tipo de sessão, ou mais elementarmente, como atribuir um endereço *multicast* e respectiva porta para transmitir uma determinada fonte de media. O sistema *web* faculta ao utilizador um acesso transparente às sessões multimédia, autoconfigura-se para fornecer a melhor QoS perante os recursos efectivos, integrando soluções tecnológicas avançadas num sistema de *e-learning* amigável.

O sistema de *e-learning* está acessível em www.esa.ipb.pt/multicast, numa versão de demonstração. Os utilizadores necessitam de efectuar um registo para disporem das funcionalidades previstas para os e-alunos.

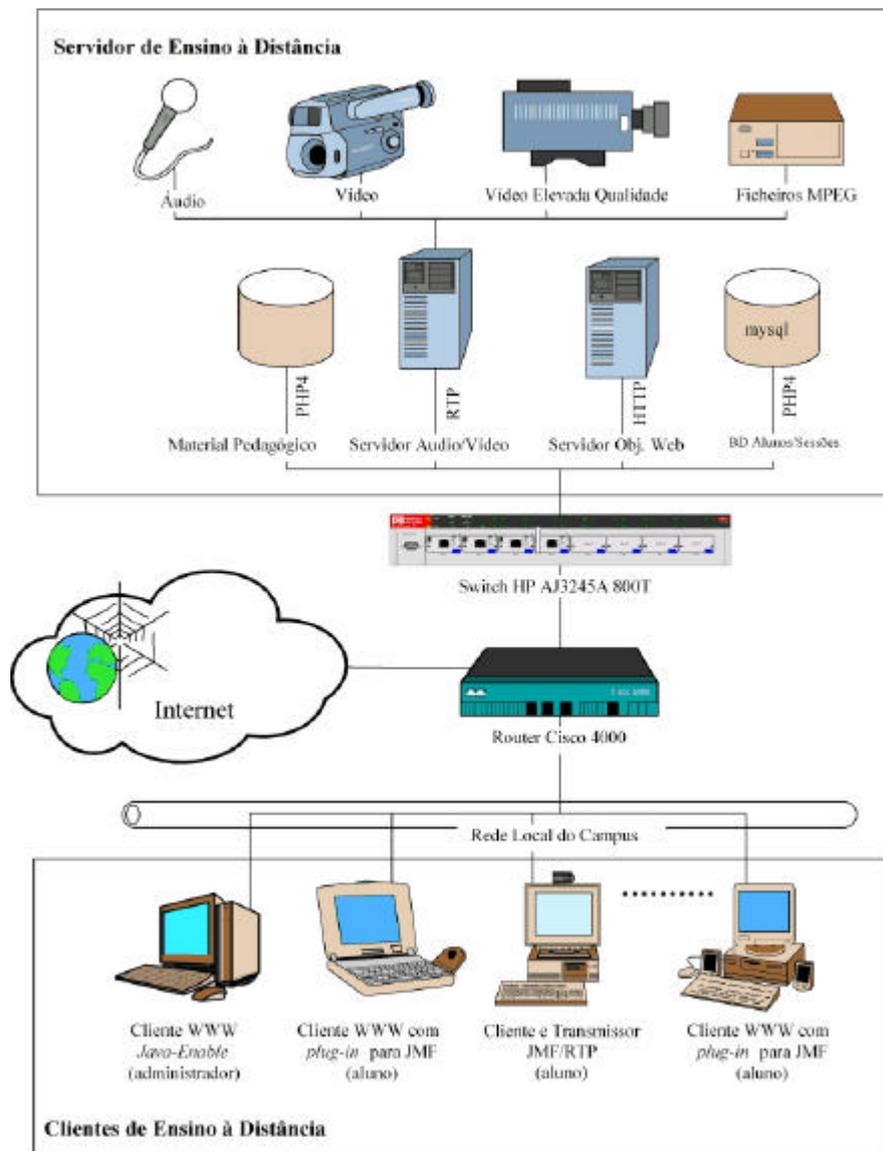


Figura 3 - Representação esquemática do sistema desenvolvido para suporte ao *e-learning*.

No modelo em apresentação, cabe ao tutor, no tocante à produção de conteúdos síncronos, decidir os conteúdos que melhor servirão os interesses do grupo académico, bem como sequenciá-los em sessões.

Sendo as sessões de conferência *multicast* a ferramenta mais poderosa deste tipo de ensino, pois coloca todos os tipos de média em convergência para a finalidade de aprender, o tutor deverá saber gerir esses meios, convocando os argumentos adequados que podem ir do vídeo ao som, passando pelo texto, imagens e grafismos.

Criar uma sessão exige tão-somente o preenchimento do formulário *on-line* da Figura 4.

O preenchimento dos pormenores técnicos é assegurado automaticamente pela aplicação, exigindo apenas ao tutor que assinala, nas caixas de verificação correspondentes, os media que pretende usar, encarregando-se a aplicação de conformar os parâmetros relativos ao endereço *multicast* e porta para as comunicações *multicast*. Este automatismo é logrado por um pequeno trecho de programação em *Javascript*, embutido na página, que "injecta" nas caixas de texto correspondentes os dados técnicos relevantes à ulterior realização da sessão. O mesmo é aplicável ao campo "data e hora" de início da sessão, que é automaticamente preenchido pela aplicação, mas de forma editável, obviamente.

Resulta de todo este processo de definição de características de uma nova sessão, a inserção final de um novo registo na base de dados, que constitui o repositório de dados do sistema de informação associado ao processo de EAD. Imediatamente, os alunos poderão consultar as sessões calendarizadas e associar-se a elas.

Aulas, conferências, palestras, vídeos didácticos, e outras fontes de conhecimento não perdem a sua eficácia se forem emitidas em diferido. O sistema de EAD pode integrar tais recursos pedagógicos organizando-os de forma a responderem às necessidades dos e-alunos, com reprodução a pedido.

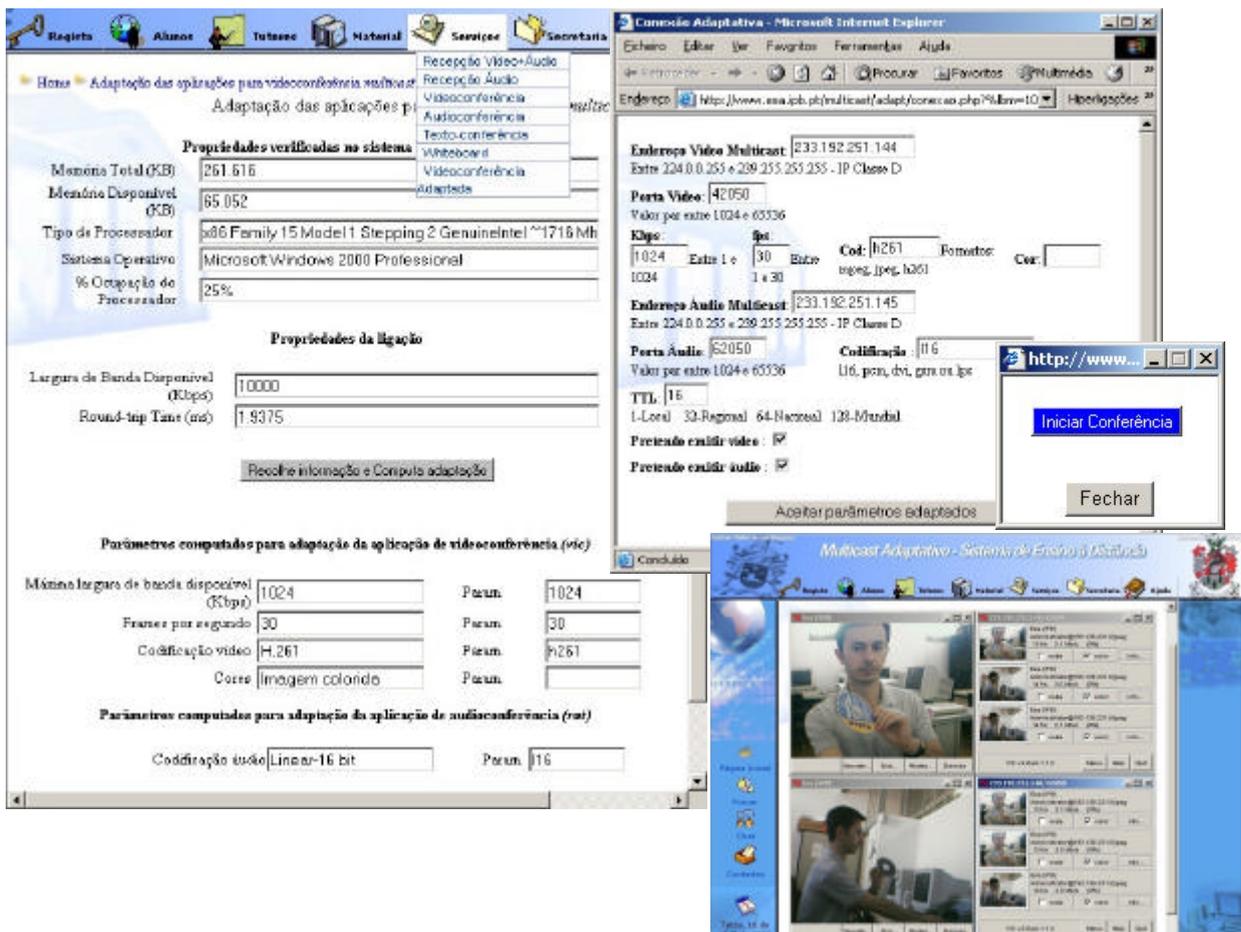


Figura 7 - Sucessão de eventos na interface *web* que precedem a participação adaptada na conferência *multicast*.

5.3. Computação da adaptabilidade

Os parâmetros de adaptação são calculados com recurso a uma equação que produzirá um modo de adaptação a usar pelo novo membro *multicast* activo. Os excessos ou defeitos são integrados algoritmicamente, respectivamente nos limites superior e inferior. Eis a equação para o cálculo da adaptação:

$$M = (\text{int}) (B / (RTT/2) + ML/P) * K \quad (1)$$

onde:

M - Modo de ajuste seleccionado (Tabela 2);

B - Largura de banda em Kbps;

RTT - *round-trip time* em ms;

ML - Memória livre em MB;

P - Taxa de ocupação processador em %; **K** - 1/50 - constante com o fim reduzir o resultado à escala que gradua os modos (1 a 5).

A equação será protegida de divisões por zero assegurando que os valores de **RTT** e/ou **P** sejam, caso necessário, igualado(s) a 1. Para evitar incongruências, não será permitido às aplicações emitirem tráfego a uma taxa superior à detectada em **B** como utilizável. Assim, o modo **M** será ciclicamente decrementado enquanto a incongruência se mantiver e **M** > 1.

A Tabela 2 lista os modos adaptativos estabelecidos, refira-se que as opções por determinados formatos vídeo e áudio resultam da especificidade das sessões de *e-learning*, assim como de testes efectuados com os formatos disponíveis nas aplicações usadas perante condições diversas de interligação e processamento, avaliando o compromisso entre a escalabilidade e a fiabilidade.

MODO	LARGURA DE BANDA MÁXIMA	TAXA DE FRAMES	CODEC VÍDEO	CORES	CODEC ÁUDIO
5	1 Mbps	30 fps	H.261	Sim	L16
4	512 Kbps	25 fps	H.261	Sim	PCM
3	256 Kbps	20 fps	H.261	Sim	DVI
2	128 Kbps	15 fps	H.263	Sim	GSM
1	64 Kbps	10 fps	H.263	Não	LPC

Tabela 2 - Modos de adaptação da QoS das aplicações de áudio e vídeo

6. Avaliação dos resultados

O sistema de EAD desenvolvido, baseado em aplicações *multicast* adaptadas por *middleware*, mais concretamente o protótipo testado, apresentou bons indicadores de desempenho, que permitem validar o modelo de arquitectura seguido. A Figuras 8 demonstra a validação dos modelos de adaptação usados, os formatos de codificação usados e todos os outros parâmetros que perfazem o modo de adaptação requerem efectivamente um nível de QoS diferenciado e graduam-se adequadamente.

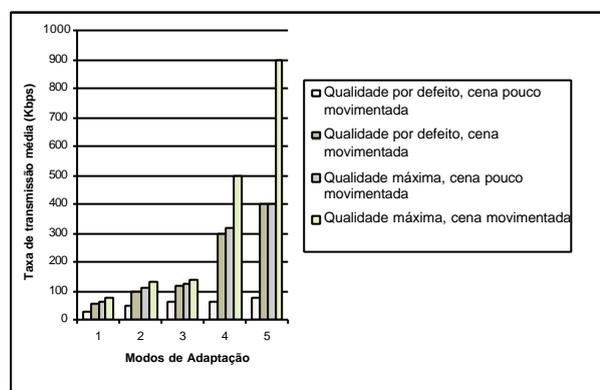


Figura 8 - Teste aos modos de adaptação em termos de largura de banda consumida vistos em diferentes cenários prováveis.

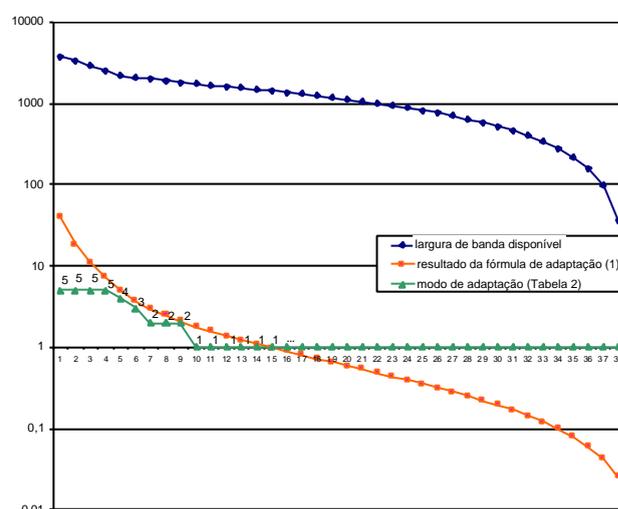


Figura 9 - Comportamento adaptativo do sistema desenvolvido na utilização dos recursos disponíveis.

Os testes efectuados para avaliar a escalabilidade propiciada pelo sistema adaptativo tiveram como referência o cenário mais provável em ensino à distância, patente na Figura 8 e descrito como "Qualidade Máxima, Cena Pouco Movimentada". Assim, e para a transmissão vídeo, a mais exigente, usaram-se os valores de taxa de transmissão neste cenário, em oposição aos constantes 128 Kbps que o *vic* usa por defeito para emitir.

A concessão selectiva de recursos às aplicações *multicast* revelou-se eficaz em termos de escalabilidade e aproveitamento dos recursos disponíveis. A política seguida privilegia os membros não flutuantes, bem como aqueles que dispõem de recursos que assegurem a profícua utilização de concessão de largura de banda. Em escassez de recursos as aplicações sujeitam-se aos mínimos funcionais, em abundância aproveitam os recursos.

Os resultados obtidos por simulação, foram positivos em matérias como a escalabilidade dos grupos e a preservação dos recursos para os parâmetros críticos das aplicações. A simulação da utilização dos recursos de largura de banda, partindo de uma existência de 4 Mbps dedicados e, usando a adaptabilidade provida pelo sistema desenvolvido, está exposta na Figura 9. A repartição dos recursos sem adaptabilidade corresponderia a uma atribuição "cega" a cada novo membro, com uma redução linear de recursos.

Apesar das aplicações serem tolerantes à esporádica degradação da QoS, variando o nível de tolerância para cada media, há parâmetros de qualidade que não podem ser descontinuados, sob pena de destituir de eficácia a comunicação que é fundamental em qualquer processo de ensino. Por exemplo, 10 *fps* deverá ser o mínimo exigível para a transmissão vídeo, logo não fará sentido despendere os recursos disponíveis na obtenção da qualidade perfeita da imagem se, com isso, aniquilarmos a percepção do acompanhamento visual de uma experiência laboratorial.

Através da limitação da utilização de largura de banda, articulada com a escolha de formatos de codificação adequados às necessidades específicas das conferências para EAD, podem-se utilizar racionalmente os recursos, prevenindo situações de exaustão e consequente interrupção da QoS para o processo pedagógico.

7. Conclusões

O trabalho desenvolvido procurou integrar, na sua forma otimizada, um conjunto de soluções conformando um sistema de ensino à distância baseado em tecnologia *multicast* com preservação de QoS por adaptabilidade.

No modelo original do *multicast*, o ASM (*Any Source Multicast*) [17], a complexidade inerente à sua arquitectura aberta, especificamente do modelo *many-to-many* e o escasso número de aplicações desenvolvido podem estar na base das dificuldades de maturação da tecnologia. Um estudo efectuado para avaliar a implantação *multicast* e repensar a sua arquitectura e modelo de serviços sumariou um conjunto de prerrogativas que deveriam ser adquiridas por esforço de investigação para reanimar o serviço *multicast* [18]. Mais tarde, a simplificação introduzida pelo SSM (*Source Specific Multicast*) [19], dinamizou a comunidade científica no sentido de reinventar o *multicast*. Se pensarmos que num grupo *multicast*, o *streaming* deveria ser enviado a uma taxa suportável por todos os elementos do grupo, sendo que o membro de menores recursos seria o que ditaria a QoS do grupo certamente ficaríamos desiludidos, tal solução de nivelamento por baixo não é atractiva. Esta limitação pode ser obviada por mecanismos de decomposição de serviço *multicast*, usando canais SSM para determinada emissão, onde cada membro aderirá ao sub-grupo que corresponda ao seu nível de QoS, designado *layered multicast* [20], [21], [22]. Estas soluções constituem vias de exploração para trabalho futuro.

A adaptação por *middleware* é uma abordagem recente, que parece ajustar-se às características de heterogeneidade da Internet e aos requisitos das novas aplicações de comunicação em grupo. Operar em multiplataforma e ser independente das aplicações que controla são características abonatórias. Porém, as aplicações *multicast* disponíveis, carecem de formas de minuciosa parametrização exterior que possibilite modelação mais eficaz do seu funcionamento.

De acordo com os objectivos traçados inicialmente, esperava-se contribuir na implementação de práticas "ecológicas" no ambiente da Internet, i.e., utilizar de forma mais eficiente os recursos disponíveis e prevenir a sua exaustão. As contribuições deste trabalho enunciam-se nos seguintes tópicos:

- i. integração adaptativa de aplicações *multicast* para conferência multimédia interactiva;
- ii. melhoramento da usabilidade das aplicações *multicast*;
- iii. desenvolvimento e promoção do ensino à distância;
- iv. desenvolvimento de aplicações *multicast* "conscientes" da qualidade de serviço nos três quadrantes: rede, aplicação e máquina.

Referências

- [1] X. Xiao, L. Ni, *Internet QoS: a big picture*, IEEE Network, vol. 13, no. 2, pp. 8–18, March 1999.
- [2] Steve Deering, *Host Extensions for IP Multicasting*, IETF RFC-1112, August 1989.
- [3] K. Almeroth, *The evolution of multicast: From the Mbone to inter-domain multicast to internet2 deployment*, IEEE Network, 14(1):10–20, January 2000.
- [4] B. Li, K. Nahrstedt, *A Control-based Middleware Framework for Quality of Service adaptations*, IEEE Journal of Selected Areas in Communications, vol. 17, no. 9, pp. 1632–1650, September 1999.
- [5] J. Liu, B. Li, Y. Zhang, *Adaptive Video Multicast over the Internet*, IEEE, 2003.
- [6] Sérgio Deusdado, *Integração Adaptativa de Aplicações Multicast para Conferência Multimédia*, Master Thesis, Departamento de Informática, Universidade do Minho, Julho de 2002.
- [7] K. Maly, H. Adbel-Wahab, C. Overstreet, A. Gupta, M. Kumar and R. Srivastava, *Issues in Scaling Multimedia Collaboration Tools for Remote Instruction*, Computer Science Department, Old Dominion University, November, 1994.
- [8] Margaret Martinez, C.Victor Bunderson, *Foundations for Personalized Web Learning Environments*, ALN Magazine Volume 4, Issue 2, December 2000.
- [9] V. Hardman, M. A. Sasse & I. Kouvelas, *Successful Multi-party Audio Communication over the Internet*, Communications of the ACM, 1995.
- [10] Steve McCanne, Van Jacobson, *VIC : A Flexible Framework for Packet Video*, ACM Multimedia, November 1995.
- [11] *Java™ Media Framework API Guide*, Sun Microsystems, JMF 2.0 FCS, November 1999.
- [12] D. Wu, Y. Hou, W. Zhu, Y. Zhang, and J. Peha, *Streaming video over the internet: approaches and directions*, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 11, no. 3, pp. 282–300, March 2001.
- [13] Dimitrios Miras, *Network QoS Needs of Internet2 Applications - A Survey*, I2-QoS Working Group, Computer Science Department, UCL, UK, May 2002.

- [14] A. J. Ahumada, C.H. Null, *Image quality: A Multidimensional Problem*, In A. B. Watson, ed., *Digital Images and Human Vision*, MIT Press, Cambridge, MA, 1993.
- [15] Lj. Josifovski, S. Gievska, D. Davcev, *Frame Rate Control in a Multimedia Distance Learning System*, Faculty of Electrical Engineering, "St. Kiril&Metodji" University, Skopje, Macedonia, 1994.
- [16] O. Layaida, D. Hagimont, *Dynamic Adaptation in Distributed Multimedia Applications*, Thème 1 Réseaux et systèmes, Projet Sardes, Rapport technique n° 0266, INRIA, August 2002
- [17] H. Asaeda, *Protocol Analysis of Any-Source Multicast and Source-Specific Multicast*, Rapport de recherche n ° 5080, INRIA, January 2004.
- [18] C. Diot, B.N. Levine, B. Lyles, H. Kassem, and D. Balensiefte, *Deployment issues for the IP Multicast Service and Architecture*, IEEE Network, vol. 14, pp. 88–98, January 2000.
- [19] H. Holbrook, B. Cain, *Source-Specific Multicast for IP*, <draft-ietf-ssm-arch-04.txt>, work in progress, IETF Internet Draft, October, 2003.
- [20] Y. Chu, S. Rao, S. Seshan, H. Zhang, *Enabling Conferencing Applications on the Internet Using an Overlay Multicast Architecture*, In proceedings of SIGCOMM, September, 2001.
- [21] M. Johanson, A. Lie, *Layered Encoding and Transmission of Video in Heterogeneous Environments*, ACM, 2002.
- [22] J. Liu, B. Li, Y. Zhang, *An End-to-End Adaptation Protocol for Layered Video Multicast Using Optimal Rate Allocation*, IEEE Transactions On Multimedia, Vol. 6, No. 1, February 2004.