

## Encaminhamento em Redes Heterogéneas – Um Estudo de Caso baseado na Rede da Universidade de Aveiro

Benjamin M. Júnior <sup>(1)</sup>, Victor Marques <sup>(2)</sup>, Amaro F. de Sousa <sup>(3)</sup>, A. M. Oliveira Duarte <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Centro de Informática e Comunicações da UA <sup>(2)</sup> Instituto de Telecomunicações – pólo de Aveiro

<sup>(3)</sup> DETUA / Instituto de Telecomunicações

**Resumo** – Este artigo aborda o problema do encaminhamento em redes heterogéneas de âmbito local. Em particular, são abordados os requisitos de encaminhamento que resultaram da integração de uma rede ATM na rede tradicional de dados da Universidade de Aveiro (UA). A tecnologia ATM permite uma maior flexibilidade em termos de gestão da rede que, por sua vez, faz aumentar a complexidade necessária para as soluções de encaminhamento adequadas. Em particular, a tecnologia ATM permite implementar (1) diferentes redes lógicas para grupos de trabalho sem restrições no número de membros ou na sua localização e (2) diferentes serviços com diferentes requisitos de Qualidade de Serviço. No caso da rede da UA, os requisitos ao seu funcionamento exigiram a utilização destas duas funcionalidades. Este artigo mostra como os protocolos de encaminhamento disponíveis nos *routers* actuais não permitem tirar partido de todas as funcionalidades da tecnologia ATM descritas. A solução implementada na rede da UA, descrita neste artigo, inclui a utilização de uma funcionalidade especial disponível nos *routers* da CISCO denominada por *policy routing*.

**Abstract** – This article addresses the routing problem in heterogeneous local area networks. In particular, the routing requirements derived from the integration of an ATM network in the University of Aveiro (UA) data network are addressed. ATM technology enables a more flexible network management at cost of an extended complexity in the required routing solutions. ATM technology enables the implementation of (1) different logical networks for working groups without restrictions on their number of members or location in the network and (2) different services with different Quality of Service requirements. In the UA case, these two ATM facilities were required to be used to cope with its operational requirements. This article shows how the routing protocols available in existent routers do not enable to take full advantage of all described ATM functionalities. The solution implemented in the UA network, and described in this article, includes the use of a special feature of CISCO routers called *policy routing*.

### I. INTRODUÇÃO

A introdução da tecnologia ATM nas redes de âmbito local conduziu a sistemas de rede simultaneamente mais flexíveis [1] e com requisitos de encaminhamento mais exigentes. Em particular, a tecnologia ATM permite a configuração da rede física em diferentes redes lógicas onde os vários equipamentos terminais podem ser agrupados de uma forma lógica independentemente da sua localização física. Esta funcionalidade permite minimizar a carga introduzida na rede pelo tráfego de *broadcast* subjacente à maioria dos protocolos existentes em LANs (IP, IPX, etc.). Outra vantagem da tecnologia ATM é a de permitir suportar diferentes serviços com diferentes requisitos de Qualidade de Serviço. Por exemplo, serviços com necessidade de reserva de recursos (de modo a garantir uma largura de banda dedicada) podem ser estabelecidos na rede ATM com PVCs (*Permanent Virtual Connections*) do tipo CBR (*Constant Bit Rate*) enquanto que serviços do tipo *best effort* tais como LANE (*LAN Emulation*) ou LIS (*Logical IP Sub-Networks*) baseiam-se em SVC (*Switched Virtual Connections*) do tipo UBR (*Unspecified Bit Rate*).

O caso de estudo deste artigo aborda os requisitos de encaminhamento resultantes da integração de uma rede ATM na rede tradicional de dados da Universidade de Aveiro (UA) e investiga quais as soluções possíveis com os protocolos de encaminhamento disponíveis nos *routers* actuais.

Foi necessário investigar soluções de encaminhamento que permitissem dar resposta a 2 requisitos particulares. O primeiro é a existência de diferentes redes lógicas às quais, ao nível do tráfego IP, são atribuídas sub-redes com máscaras de tamanho variável. O segundo foi a necessidade de suportar a ligação de uma rede Ethernet à rede geral da Universidade via 2 *routers* ligados à rede ATM (*LAN-to-LAN interconnection*) com uma largura de banda assegurada de 10 Mbps. Após uma análise dos protocolos de encaminhamento existentes, este artigo descreve e justifica qual a solução de encaminhamento encontrada que permite cumprir com os requisitos descritos. Em particular, o artigo mostra como os

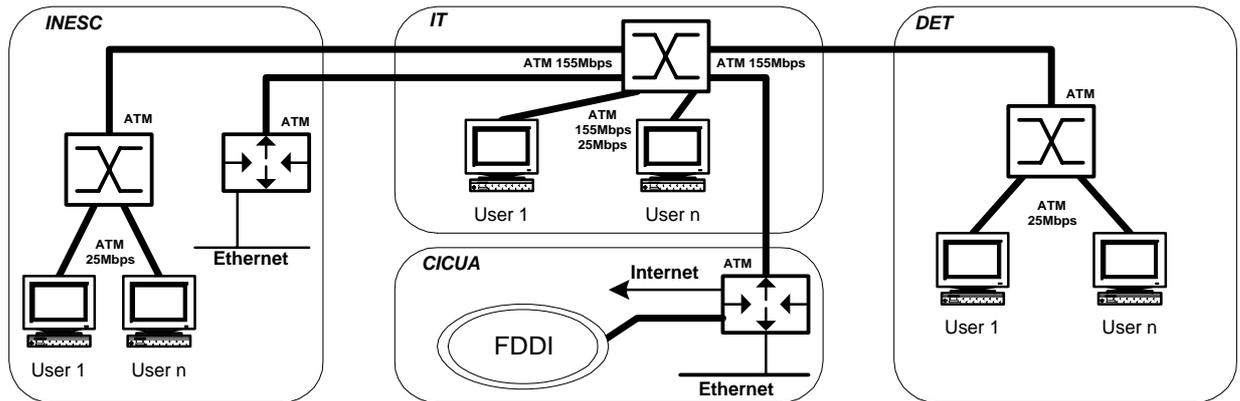


Figura 1- Configuração física da rede ATM

protocolos de encaminhamento actualmente disponíveis nos *routers* não permitem cumprir com o segundo requisito e apresenta uma solução baseada numa funcionalidade especial disponível no *router* da CISCO denominada por *policy routing*.

O artigo está organizado da seguinte forma. A secção seguinte descreve as configurações física e lógica da rede ATM implementada. A secção III faz um resumo dos protocolos de encaminhamento disponíveis nos *routers* actuais e suas principais características. A secção IV apresenta os requisitos de encaminhamento resultantes da integração da rede ATM na rede geral da UA. Finalmente, a secção V apresenta, justificadamente, a solução seleccionada e implementada.

## II. REDE DA UNIVERSIDADE DE AVEIRO

### A. Rede ATM implementada

Durante o corrente ano foi colocada em operação a plataforma ATM da UA constituída por um comutador de *backbone*, dois comutadores *workgroup*, e dois *routers* com placas ATM [2,3].

A configuração da rede resultante é apresentada na Figura 1. No edifício do Instituto de Telecomunicações (IT) ficou colocado o comutador de *backbone* da rede, um Fore ASX200-BX com 8 interfaces de 155 Mbps fibra monomodo e seis interfaces 25 Mbps UTP-5. No edifício do INESC ficou colocado um comutador *workgroup* IBM8285 com 12 interfaces de 25 Mbps UTP-5 e uma interface a 155Mbps fibra monomodo. No Departamento de Electrónica e Telecomunicações (DET) ficou o terceiro comutador idêntico ao do INESC. Um *router* CISCO 4700 com uma porta ATM 155 Mbps fibra monomodo, uma porta FDDI fibra multimodo e 6 portas Ethernet ficou instalado no CICUA e tem a responsabilidade de interligar todas as tecnologias de rede existentes no Campus. O outro *router*, um CISCO 4700 com uma porta ATM 155 Mbps fibra monomodo e 2 portas Ethernet, foi instalado no edifício do INESC com o objectivo de ligar a

rede Ethernet daquele edifício à rede geral da UA via ATM.

### B. Configuração lógica da rede ATM

A configuração lógica da rede ATM teve em conta os objectivos para os quais a rede foi implementada [2,4]. As diferentes redes lógicas são ilustradas na Figura 2.

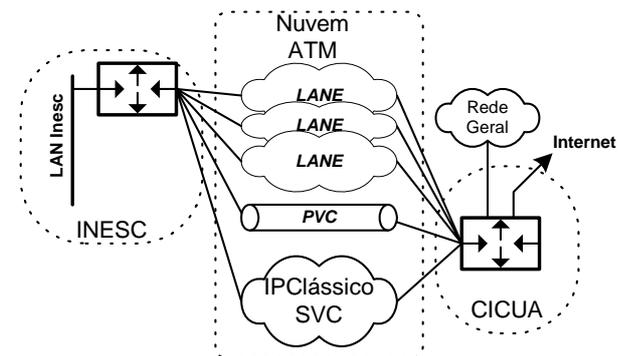


Figura 2 - Configuração lógica da rede ATM

Esta rede cobre três unidades com interesses em I&D no domínio da tecnologia ATM. Cada uma dessas unidades constitui um grupo de investigadores com interesses semelhantes. Assim sendo, foram criadas três redes lógicas LANE [5], uma por cada unidade. O LES (*LAN Emulation Server*) de cada LANE foi configurado no comutador instalado no edifício respectivo (por exemplo, a LANE do DET tem o respectivo LES configurado no comutador instalado no edifício do DET). Desta forma, garante-se que a falha de um comutador só afecta os utilizadores directamente ligados a ele. Cada uma das LANEs suporta entre os seus membros todas as aplicações de rede que anteriormente eram utilizadas sobre a rede tradicional de dados. For forma a facilitar a configuração dos equipamentos terminais directamente ligados à rede ATM, foi configurado um LECS (*LAN Emulation Configuration Server*) de suporte a todas as LANEs no comutador de *backbone* que pode ser facilmente acedido

via o *well-known LECS address*. Este endereço foi normalizado pelo ATM Forum e é suportado pelos comutadores instalados. Desta forma, o registo de um equipamento terminal numa LANE é feito especificando apenas o nome da LANE.

Por motivos de I&D, foi configurado no comutador de *backbone* um servidor ATMARP de suporte a uma LIS (*Logical IP SubNet*) [6,7] que cobre toda a rede ATM. Desta forma, o serviço de IP Clássico comutado é providenciado a qualquer equipamento terminal ligado em qualquer dos comutadores.

Adicionalmente foi configurado um PVC CBR de 10 Mbps entre os dois *routers* ligados à rede ATM de modo a suportar todo o tráfego entre a Ethernet do INESC e a rede geral da Universidade. Sobre este PVC corre apenas o protocolo IP segundo o RFC 1483 do IETF [8]. Desta forma, este serviço de interligação de LANs tem uma Qualidade de Serviço superior aos outros serviços disponíveis (LANE e LIS).

Um factor importante para a determinação dos protocolos de encaminhamento a implementar é a atribuição de endereços IP aos vários serviços implementados. Por restrições no número máximo de endereços IP de classe C em todo o domínio da UA, e porque o número total de equipamentos terminais a ligar directamente à rede ATM actual é relativamente pequeno, foi apenas atribuída uma única classe C para todos os serviços da rede ATM. A distinção entre os vários serviços é feita por sub-redes da classe atribuída com máscaras de tamanho variável. O tamanho de cada máscara reflecte o número de endereços máximo necessário para cada um dos serviços. Assim, às LANEs do DET e do INESC foram atribuídas sub-redes com a máscara 255.255.255.192 (permitindo um máximo de 62 endereços). Sub-redes com a máscara 255.255.255.224 (máximo de 30 endereços) foram atribuídas à LANE do IT e à rede lógica IP Clássica. Uma sub-rede com a máscara 255.255.255.248 com 2 endereços em uso foi atribuída ao PVC de suporte à interligação de LANs.

### C. Topologia da rede geral

A topologia de Rede da Universidade, reflecte uma evolução das várias tecnologias ao longo do tempo. Ela assentou inicialmente num *backbone* Ethernet que assegurava a conectividade das redes Ethernet existentes em cada um dos edifícios. Mais tarde, com o aumento do número de edifícios e o respectivo aumento de tráfego gerado, foi introduzido um segundo *backbone* utilizando FDDI. Alguns departamentos aderiram a esta tecnologia, ficando assim interligados a dois *backbones*, usufruindo de uma largura de banda de 100 Mbps no *backbone* FDDI e de um *backup* de 10 Mbps no *backbone* Ethernet. Finalmente a rede ATM introduzida, embora seja usada principalmente como tecnologia de *desktop* à qual os equipamentos terminais se ligam directamente, tem desde logo também a função de servir de *backbone* entre a Ethernet do INESC e o resto da rede. Pelas suas

características de escalabilidade, futuros aumentos de capacidade de *backbone* da rede poderão ser efectuados recorrendo à rede ATM. Desta forma, as outras tecnologias de *backbone* assumirão cada vez mais o papel de *backup* para o caso de falhas na rede principal.

Como resultado desta evolução, podemos caracterizar a rede geral da UA sob duas perspectivas: as tecnologias de *desktop* disponíveis nos edifícios e as tecnologias de *backbone* usadas para interligação das LANs de cada edifício.

Quanto às tecnologias de *desktop*, estão disponíveis ligações Ethernet 10 Mbps, Ethernet 100 Mbps, ATM 25 Mbps e ATM 155 Mbps. Apenas Ethernet a 10 Mbps está disponível em todos os edifícios do Campus.

Em termos de tecnologias de *backbone*, podemos distinguir as seguintes situações:

- Edifícios com Ethernet como *backbone* único;
- Edifícios com FDDI como *backbone* principal e Ethernet como *backup*;
- Edifícios com ATM como *backbone* principal e Ethernet como *backup*.

Finalmente, a interligação de todas as tecnologias de *backbone* é assegurado pelo *router* instalado no CICUA, descrito anteriormente (Figura 1).

## III. PROTOCOLOS DE ENCAMINHAMENTO

Considere-se uma rede em que várias tecnologias (ou diferentes troços da mesma tecnologia) estão interligadas por vários *routers*. Quando um equipamento terminal ligado a uma rede particular tem um pacote de informação para enviar, se o endereço de destino pertencer à mesma rede, ele é enviado directamente. Caso o endereço de destino não pertença à mesma rede, este envia o pacote para um *router* para posterior encaminhamento até ao destino. Quando um pacote de informação é enviado de um equipamento terminal a um *router*, é necessário assegurar que ele seja encaminhado da melhor forma até atingir um outro *router* que possa enviar o pacote directamente ao equipamento terminal de destino. Este processo é implementado através de protocolos de encaminhamento instalados nos *routers*.

Os protocolos de encaminhamento dividem-se em duas categorias: *Interior Routing Protocols* e *Exterior Routing Protocols* [9,10]. Os primeiros são utilizados tipicamente em redes de âmbito local. Os segundos são mais apropriados para encaminhamento de redes entre diferentes instituições, pólos da mesma instituição geograficamente distribuídos ou redes públicas (*Internet Service Providers*). No caso presente, são apenas relevantes os protocolos de encaminhamento da primeira categoria.

Um protocolo de encaminhamento é um processo distribuído entre os vários *routers* que decide, para cada pacote de informação, por que percurso deve ser enviado

até ao destino. Embora existam diferentes abordagens (protocolos *distance vector* ou protocolos *link state*) [9], em todos eles é necessário que periodicamente sejam trocados “anúncios” que não são mais do que mensagens com a informação necessária de suporte ao protocolo. É através de anúncios que cada *router* obtém a informação das várias rotas possíveis para cada destino e implementa um critério de determinação da melhor rota a seguir. A periodicidade dos anúncios possibilita que uma detecção de falha na rede seja propagada aos vários *routers*. Desta forma, é possível implementar algoritmos de encaminhamento dinâmico que permitam o envio da informação por rotas alternativas operacionais. Outra vantagem dos anúncios é a propagação automática de alterações de configuração de redes. O tempo que uma alteração demora a ser propagada (reconfiguração ou detecção de falha numa ligação) a toda a rede através dos anúncios é designado por tempo de convergência do protocolo de encaminhamento.

O primeiro protocolo de encaminhamento amplamente divulgado foi o RIP (*Routing Information Protocol*) [11] proposto pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*). Foi desenhado para ambientes com um número reduzido de equipamentos interligados através de tecnologias com características idênticas. É também o único protocolo universalmente reconhecido pelas máquinas com sistema operativo UNIX, contribuindo desta forma para uma divulgação bastante acentuada deste protocolo. No entanto, existem alguns problemas com o RIP, tais como elevada largura de banda usada pelos anúncios, tempos de convergência longos, incapacidade de suporte de sub-redes com máscaras de tamanho variável ou detecção de ciclos apenas entre *routers* adjacentes.

Entretanto, a CISCO surgiu com um protocolo de encaminhamento proprietário que responde a muitas das limitações anteriores, o IGRP (*Interior Gateway Routing Protocol*) [9,10]. Das vantagens de utilização do IGRP podem-se destacar a estabilidade, boa resistência a ciclos, bom aproveitamento do processador do *router* e capacidade de dividir o tráfego por múltiplos caminhos. A determinação das melhores rotas tem também em consideração a carga que cada um dos troços exhibe no momento da decisão. No entanto, o IGRP, tal como o RIP, não suporta sub-redes com máscaras de tamanho variável.

O OSPF (*Open Shortest Path First*) [12] é uma norma proposta pelo IETF que surgiu na sequência das limitações do RIP. Contrariamente ao RIP, este protocolo baseia-se numa abordagem de *link-state*, resolvendo algumas limitações deste. Servir grandes redes heterogéneas, substanciais melhorias no tempo de convergência da rede, agregação de rotas e suporte de sub-redes com máscaras de tamanho variável são algumas das vantagens deste protocolo.

Já depois da aprovação do OSPF, era esperado que o IGRP fosse descontinuado pela CISCO, adoptando como *standard* nos seus equipamentos este protocolo. Tal não se verificou. Foi disponibilizado nos equipamentos do

fabricante a possibilidade de utilizar o OSPF, mas a CISCO optou por continuar o desenvolvimento do IGRP surgindo então o “Enhanced IGRP” [10]. Com a evolução para EIGRP, além de melhorias em termos de recuperação de rotas / descoberta de *routers* vizinhos, o fabricante anunciou também o suporte de máscaras de tamanho variável e a capacidade de suportar tráfego IPX, constituindo assim uma opção bastante atraente em relação ao seu antecessor.

Adicionalmente à facilidade de poder utilizar todos estes protocolos de encaminhamento, os equipamentos deste fabricante permitem um controlo extenso sobre a forma como os vários protocolos enviam e recebem anúncios. Pode-se configurar qualquer interface do *router* para ignorar anúncios que lhe sejam enviados, bem como proceder a filtragens nas mensagens que são enviadas a outros *routers*. Estas funcionalidades permitem ao gestor de rede, se for do seu interesse, inibir rotas que sejam possíveis de utilizar.

#### IV. REQUISITOS AO PROBLEMA DE ENCAMINHAMENTO

Conforme referido, foi necessário investigar uma solução de encaminhamento que permitisse dar resposta a dois requisitos em particular: a existência de redes lógicas às quais, ao nível do tráfego IP, são atribuídas sub-redes com máscaras de tamanho variável, e a necessidade de suportar a ligação de uma rede Ethernet à rede geral (*LAN-to-LAN Interconnection*).

Em relação ao segundo requisito, o cenário pode ser

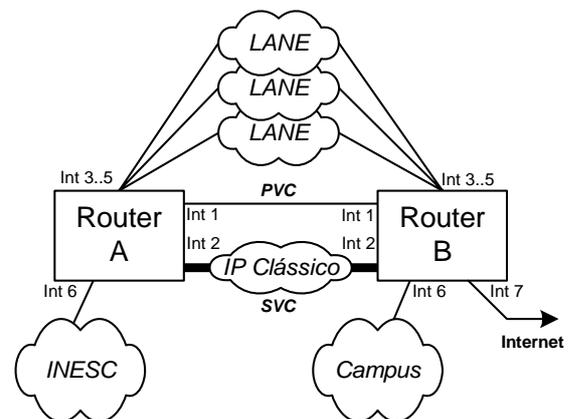


Figura 3 – Cenário do estudo de encaminhamento

visualizado na Figura 3. O *router* instalado no INESC, denominado *Router A*, tem o papel de encaminhar todo o tráfego IP entre as várias redes lógicas configuradas na rede ATM (LANEs e IP Clássico) e a LAN do INESC. Esta opção resulta num desaproveitamento dos recursos pois o tráfego IP das redes lógicas com destino à rede geral (ou à Internet) podia ser directamente encaminhado pelo *router B*. No entanto, esta deve-se ao facto do *router* instalado no CICUA possuir uma carga considerável pois

é responsável pela interligação das várias tecnologias existentes na rede geral (Figura 1). O tráfego IP entre estas redes e a rede geral da UA (ou a Internet) é encaminhado entre os dois *routers* usando um SVC da LIS ou o PVC.

Qualquer tráfego entre os dois *routers* cuja origem ou destino seja um equipamento terminal situado numa LANE ou na LIS de IP Clássico, deverá passar pelo primeiro canal de comunicação (SVC), usufruindo de uma Qualidade de Serviço UBR.

Todo o tráfego que tenha como origem ou destino a LAN do INESC deverá passar pelo PVC dispondo assim de uma largura de banda assegurada de 10 Mbps (CBR).

A solução de encaminhamento identificada para responder a estas exigências terá ainda que contemplar o encaminhamento do tráfego IPX entre as LANs e a rede geral da UA. Este requisito não foi imposto para o tráfego da LAN do INESC.

Note-se que as LANs estão também ligadas ao *router B* de modo a que este funcione como *gateway* de *backup* para o tráfego IP no caso de falha do *router A*.

V. SOLUÇÃO IMPLEMENTADA

Começemos pelo segundo requisito apresentado. Como pode ser observado na Figura 4, para que o *router B* consiga encaminhar o tráfego, procedente da rede geral ou do exterior até aos serviços disponibilizados sobre ATM (LANE e IP Clássico), deverá receber anúncios do *router A* das redes que este tem conhecimento. Para simplicidade de análise, o caminho para as três LANE e nuvem de IP Clássico será referido como “rota ATM” e o caminho para a LAN INESC como “rota INESC”. Neste

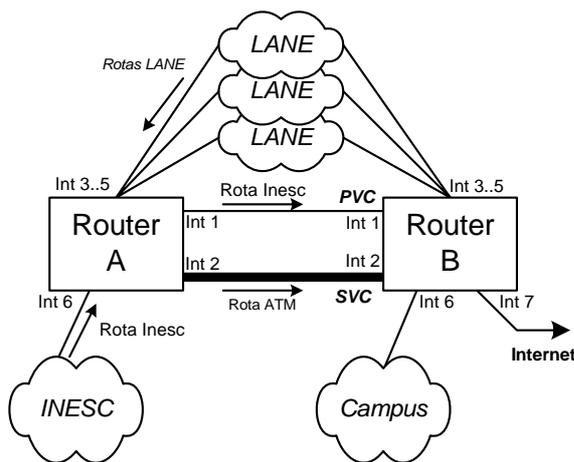


Figura 4 – Tráfego de entrada no INESC

caso em particular, o *router A*, terá que enviar anúncios da rota ATM e da rota INESC ao *router B* para que este possa decidir por qual interface deve enviar o tráfego.

Como se pretende que o tráfego com destino à LAN INESC passe exclusivamente pelo PVC, basta que o

*router A* envie os anúncios da rota INESC unicamente pelo PVC (Int. 1) e os anúncios da rota ATM pelo SVC (Int. 2). Desta forma, o *router B* encaminhará tráfego com destino distinto por canais de comunicação distintos.

Para se poderem separar os anúncios das duas rotas os *routers* possuem um mecanismo de filtragem através do qual se podem criar listas de exceções. Assim, no Int. 1 é necessário associar um filtro que permita a passagem de anúncios relativos apenas à rede atribuída à LAN INESC, e no Int. 2, permita a passagem de anúncios relativos apenas às redes lógicas dos serviços sobre ATM.

Relativamente ao tráfego de saída do INESC, considere-se a Figura 5. Para simplicidade de análise, o caminho

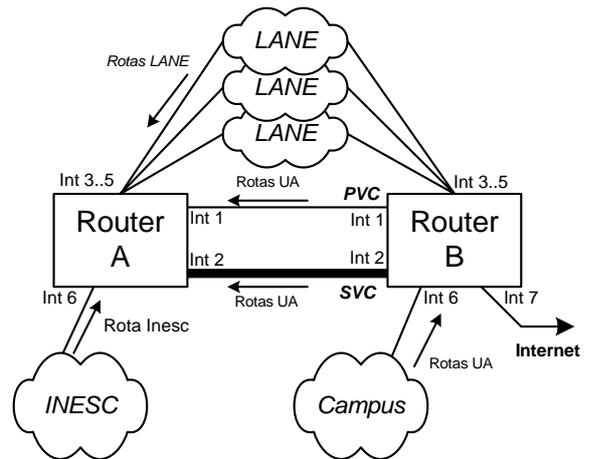


Figura 5 – Tráfego de saída do INESC

para todas as redes existentes no campus será designado por “rotas da UA”.

O *router B* tem conhecimento das rotas da UA através de anúncios que lhe chegam pelo Int. 6, e para que o *router A* possa encaminhar tráfego com destino a estas, o *router B* necessita de as “anunciar”. Como o *router A* tem dois canais de comunicação distintos (PVC e SVC), e pretende encaminhar tráfego por ambos, terá que receber anúncios por ambos os Interfaces (Int. 1 e 2). Desta forma, o *router A* possui todas as rotas que necessita ter conhecimento para posterior encaminhamento do tráfego.

Existe porém um problema. Imagine-se que existe tráfego procedente da LAN do INESC com destino a uma rota da UA. Como o *router A* recebe as rotas da UA em simultâneo pelo Int. 1 e Int. 2, qual o caminho que irá escolher para enviar o pacote de informação? Efectivamente, um correcto encaminhamento só é possível com um protocolo que tenha em conta o endereço de origem de cada pacote. As métricas usadas nos protocolos de encaminhamento actuais decidem as rotas baseados apenas nos endereços de destino e no estado da rede de modo que este requisito não pode ser cumprido utilizando apenas um dos protocolos disponíveis nos *routers*.

A solução para este problema baseou-se numa funcionalidade dos *routers* denominada por *policy routing*. Este mecanismo é aplicável nas interfaces do

*router* que se desejar e é independente do protocolo de encaminhamento em uso no equipamento. O *policy routing* limita-se a analisar, para todo o tráfego de uma interface, o endereço de origem de cada pacote de informação e compará-lo com uma lista previamente configurada no *router*. Sempre que se verifique uma ocorrência, o *router* encaminha o pacote, para um endereço de destino, pelo canal mais apropriado.

Neste caso em particular, sempre que o *router A* receber um pacote de informação procedente da LAN do INESC e com destino a uma rota da UA, envia-o para o endereço do Int. 1 do *router B*. O mesmo acontece quando o destino dos pacotes é a Internet. No caso do endereço de destino ser alguma das rotas ATM, o pacote é encaminhado pelo protocolo de encaminhamento implementado.

Desta forma o envio de anúncios através do PVC tem de ser suprimido para que o tráfego ATM seja apenas encaminhado pelo SVC. Por parte do *policy routing*, estes anúncios não são necessários, pois este mecanismo é uma forma de encaminhamento que não prevê troca de informações com outro *router*. Então, conforme pode ser observado na figura 6, o *router B* não envia qualquer

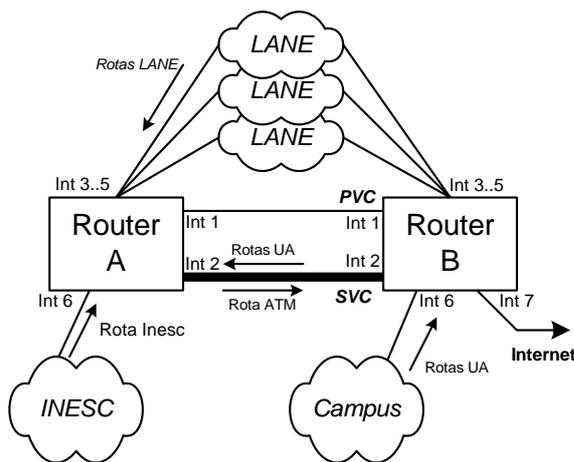


Figura 6 – Solução de encaminhamento

anúncio das rotas da UA pelo PVC, recorrendo ao mecanismo de filtragem descrito para a entrada de tráfego no INESC.

A utilização do *policy routing* tem, no entanto, duas desvantagens principais:

- Não há detecção automática de modificações ao nível da configuração das redes pelo que, sempre que haja alterações, é necessário reconfigurar a lista de encaminhamento associada ao *policy routing*.
- Na versão corrente do sistema operativo do *router*, a activação deste mecanismo obriga à inibição do *fast switching* e a consequente degradação do seu desempenho. Actualmente, este facto não tem grandes consequências na operação da rede da UA,

porque a carga deste *router* não é elevada. De qualquer modo, o fabricante anunciou a disponibilização de uma versão mais recente do sistema operativo que não exhibe esta limitação.

Antes da integração da rede ATM na rede da UA, o protocolo de encaminhamento utilizado na rede geral era unicamente o IGRP. Considerando que a solução para a implementação do segundo requisito não impõe nenhum protocolo de encaminhamento específico, foi necessário considerar um novo protocolo dado que o IGRP não suporta sub-redes com máscaras de tamanho variável.

Optou-se por utilizar o EIGRP (em detrimento do OSPF) por duas razões:

- ser mais fácil de utilizar pela sua semelhança com o IGRP em uso;
- suportar o encaminhamento de tráfego IPX (ao contrário do OSPF).

A forma de interligação dos dois protocolos foi feita através do *router* situado no CICUA recorrendo à facilidade que o equipamento possui de suportar em simultâneo protocolos de encaminhamento diferentes.

Como se pode observar na figura 7 foi colocado no *router* do CICUA um sistema autónomo de IGRP, que garante a conectividade com os restantes *routers* da rede

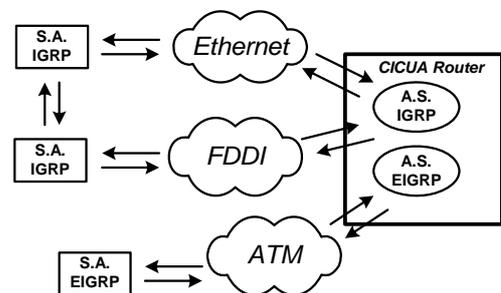


Figura 7 – Integração do IGRP e EIGRP

geral, e um sistema autónomo de EIGRP que garante a conectividade com as várias rotas “anunciadas” pelo *router* do INESC.

Na solução final, o *router* do CICUA, para além de funcionar como *gateway* de *backup* para o tráfego IP entre as várias redes lógicas ATM e a LAN do INESC, assegura também o encaminhamento do tráfego IPX entre todas as LANs.

## VI. CONCLUSÕES

Este artigo aborda a solução de encaminhamento implementada na rede da Universidade de Aveiro resultante da integração de uma rede ATM na sua rede geral. Os requisitos de funcionamento da rede resultante

exigiram um estudo dos protocolos de encaminhamento disponíveis nos *routers* usados. Em particular, a necessidade de implementação de um serviço *LAN to LAN Interconnection* impõe requisitos que os protocolos de encaminhamento actuais não conseguem cumprir. De uma forma geral, a disponibilização de serviços com diferentes requisitos de Qualidade de Serviço conduz à necessidade de protocolos de encaminhamento nos *routers* baseados também nos endereços de origem dos pacotes de informação. A solução encontrada para a rede da UA usa uma funcionalidade especial dos *routers* da CISCO denominada por *policy routing* que permite encaminhamento baseado nos endereços de origem. Esta solução tem no entanto alguns inconvenientes que só serão ultrapassados quanto forem implementados protocolos do tipo *source based routing*.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem a todos que de uma forma ou outra colaboraram neste trabalho e, em especial, ao Centro de Informática e Comunicações da Universidade de Aveiro, no âmbito do qual, este trabalho foi realizado.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Daniel Minoli, Anthony Alles, "LAN, ATM, and LAN Emulation Technologies", Artech House, 1996.
- [2] R. P. Coelho, R. L. A. Aguiar, A. F. De Sousa and A. M. Oliveira Duarte, "Integração duma Plataforma ATM no Campus da Universidade de Aveiro", Revista do DETUA, Vol. 1, No. 7, Jan. 97, pp. 747-754
- [3] R. P. Coelho, "Planeamento e integração duma rede local ATM no Campus da Universidade de Aveiro", capítulo 3 da dissertação de Mestrado "Aspectos de Planeamento de Redes em Tecnologia ATM", Universidade de Aveiro, Abril 1997
- [4] V. Marques, "Redes ATM em Aveiro", capítulo 4 da dissertação de Mestrado "Infraestruturas e Serviços em Redes de Tecnologia ATM: Implementações Práticas", Universidade de Aveiro, Abril 1997
- [5] ATM Forum Technical Committee, "LAN Emulation over ATM 1.0", Janeiro 1995
- [6] M. Laubach, RFC1577, "Classical IP and ARP over ATM", Janeiro 1994
- [7] M. Perez, F. Liaw, D. Grossman, A. Mankin, E. Hoffman & A. Malis, RFC1755, "ATM Signaling Support for IP over ATM", Fevereiro 1995
- [8] Juha Heinanen, RFC1483, "Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5", Julho 1993
- [9] Christian Huitema, "Routing in the Internet", Prentice Hall, 1995
- [10] Chris Lewis, Cisco TCP/IP Routing Professional Reference, McGraw-Hill, 1997
- [11] C. Hedrick, RFC1058, Routing Information Protocol, Rutgers University, Junho 1988
- [12] J. Moy, RFC1131, "OSPF specification", Outubro 1989