

Apêndice *D*

*Uma breve história
da Internet*

*“Quanto mais aumenta nosso conhecimen-
to, mais evidente fica nossa ignorância”
John Kennedy, ex-presidente dos
Estados Unidos*

Este texto é de autoria dos senhores Barry M. Leiner, Vinton G. Cerf, David D. Clark, Robert E. Kahn, Leonard Kleinrock, Daniel C. Lynch, Jon Postel, Larry G. Roberts e Stephen Wolff. Se nenhum dos nomes é familiar para você, saiba que todos eles, cada um na sua área, são considerados os pais da Internet. Nada como a história contada por quem estava lá...

O texto é de propriedade da Internet Society (ISOC), que gentilmente dá permissão de republicação aos interessados. Mais informações e o texto original podem ser encontrados em www.isoc.org/internet/history/brief.shtml. *A excelente tradução do texto é de Aisa Pereira (www.aisa.com.br/aisa).*

Introdução da tradução

A melhor história é aquela ouvida de quem fez a história. E achamos na Internet o relato em inglês da história da Internet pelos seus próprios idealizadores!

A Brief History of the Internet – www.isoc.org/internet/history/brief.shtml) foi escrita por Barry M. Leiner, Vinton G. Cerf, David D. Clark, Robert E. Kahn, Leonard Kleinrock, Daniel C. Lynch, Jon Postel, Larry G. Roberts e Stephen Wolff. A tradução foi nossa (precisamos “colonizar” a Internet em português!). O texto é longo, detalhado, mas é uma pérola neste mar de conhecimento que é a Internet!

Ah, e para quem quiser saber quando a Internet chegou ao Brasil, a melhor explicação pode ser encontrada no histórico da RNP, nossa Rede Nacional de Pesquisa (www.rnp.br), ok?

Introdução

A Internet tem revolucionado o mundo dos computadores e das comunicações como nenhuma invenção foi capaz de fazer antes. A invenção do telégrafo, telefone, rádio e computador prepararam o terreno para esta integração de capacidades. A Internet é, de uma vez e ao mesmo tempo, um mecanismo de disseminação da informação e divulgação mundial e um meio para colaboração e interação entre indivíduos e seus computadores, independentemente de suas localizações geográficas.

A Internet representa um dos mais bem sucedidos exemplos dos benefícios da manutenção do investimento e do compromisso com a pesquisa e o desenvolvimento de uma infra-estrutura para a informação. Começando com as primeiras pesquisas em trocas de pacotes, o governo, a indústria e o meio acadêmico tem sido parceiros na evolução e uso desta excitante nova tecnologia. Hoje, termos como nome@nomeempresa.com (ou nome@nomeempresa.com.br, no caso do Brasil) e <http://www.nomeempresa.com> (ou <http://www.nomeempresa.com.br>, no caso do Brasil) são usados diariamente por milhões de pessoas.

Nesta análise, muitos de nós, envolvidos com o desenvolvimento e a evolução da Internet, dão suas visões sobre as origens e a história da Internet. A história envolve quatro aspectos distintos:

- ▶ a evolução tecnológica que começou com as primeiras pesquisas sobre trocas de pacotes e a ARPANET (www.cbi.umn.edu/darpa/arpamet.htm) e suas tecnologias, e na qual a pesquisa atual continua a expandir os horizontes da infra-estrutura em várias dimensões como escala, desempenho e funcionalidade de mais alto nível;

- ▶ os aspectos operacionais e gerenciais de uma infra-estrutura operacional complexa e global;

- ▶ o aspecto social que resultou numa larga comunidade de internautas trabalhando juntos para criar e evoluir com a tecnologia;

- ▶ e o aspecto de comercialização que resulta numa transição extremamente efetiva da pesquisa numa infra-estrutura de informação disponível e utilizável.

A Internet hoje é uma larga infra-estrutura de informação, o protótipo inicial do que é freqüentemente chamado a Infra-Estrutura Global ou Galáxica da Informação. A história da Internet é complexa e envolve muitos aspectos - tecnológicos, organizacionais e comunitários. E sua influência atinge não somente os campos técnicos das comunicações via computadores, mas toda a sociedade, na medida em que usamos cada vez mais ferramentas on-line para fazer comércio eletrônico, adquirir informação e operar em comunidade.

A origem da Internet

Os primeiros registros de interações sociais que poderiam ser realizadas através de redes foram uma série de memorandos escritos por J.C.R. Licklider, do MIT - Massachusetts Institute of Technology (www.mit.edu), em agosto de 1962, discutindo o conceito da “Rede Galáxica”. Ele previa vários computadores interconectados globalmente, pelo meio dos quais todos poderiam acessar dados e programas de qualquer local rapidamente. Em essência, o conceito foi muito parecido com a Internet de hoje. Licklider foi o primeiro gerente do programa de pesquisa de computador do DARPA, começando em outubro de 1962. Enquanto trabalhava neste projeto, ele convenceu seus sucessores Ivan Sutherland, Bob Taylor e Lawrence G. Roberts da importância do conceito de redes computadorizadas.

Leonard Kleinrock, do MIT, publicou o primeiro trabalho sobre a teoria de trocas de pacotes, em julho de 1961, e o primeiro livro sobre o assunto, em 1964. Kleinrock convenceu Roberts da possibilidade teórica das comunicações usando pacotes em vez de circuitos, o que representou um grande passo para tornar possíveis as redes de computadores. O outro grande passo foi fazer os computadores conversarem. Em 1965, Roberts e Thomas Merrill conectaram um computador TX-2 em Massachusetts com um Q-32 na Califórnia com uma linha discada de baixa velocidade, criando assim o primeiro computador de rede do mundo. O resultado deste experimento foi a comprovação de que computadores poderiam trabalhar bem juntos, rodando programas e recuperando

dados, quando necessário, em máquinas remotas, mas que o circuito do sistema telefônico era totalmente inadequado para o intento. Foi confirmada assim a convicção de Kleinrock sobre a necessidade de trocas de pacotes.

No final de 1966, Roberts começou a trabalhar no DARPA para desenvolver o conceito das redes computadorizadas e elaborou o seu plano para a ARPANET, publicado em 1967. Na conferência em que ele apresentou este trabalho, houve também uma apresentação sobre o conceito de redes de pacotes desenvolvida pelos ingleses Donald Davies e Roger Scantlebury, da NPL-Nuclear Physics Laboratory (mist.npl.washington.edu/home.html). Scantlebury conversou com Roberts sobre o trabalho da NPL e do trabalho de Paul Baran e outros em RAND. O grupo do projeto RAND tinha escrito um trabalho sobre o papel das redes de trocas de pacotes para voz segura, quando serviam militarmente em 1964. O que se percebeu então é que os trabalhos desenvolvidos no MIT (1961-67), RAND (1962-65) e NPL (1964-67) estavam se desenrolando em paralelo sem que nenhum dos pesquisadores soubesse dos outros trabalhos. A palavra “pacote” foi adotada do trabalho desenvolvido no NPL, e a velocidade de linha proposta para ser usada no projeto da ARPANET foi elevada de 2,4 Kb para 50 Kb.

Em agosto de 1968, depois de Roberts e o grupo do DARPA terem refinado a estrutura e especificações para a ARPANET, uma seleção foi feita para o desenvolvimento de um dos componentes-chave do projeto: o processador de interface das mensagens (IMP). Um grupo dirigido por Frank Heart (Bolt Beranek) e Newman (BBN) foi selecionado. Paralelamente ao trabalho do grupo da BBN nos IMPs, com Bob Kahn assumindo um papel vital do desenho arquitetônico da ARPANET, a topologia e economia da rede foi desenvolvida e otimizada por Roberts em conjunto com Howard Frank e seu grupo da Network Analysis Corporation, e sistema de mensuração da rede foi preparado pelo pessoal de Kleinrock na UCLA – University of California at Los Angeles. (www.ucla.edu).

Devido à teoria de trocas de pacotes de Kleinrock e seu foco em análise, desenho e mensuração, seu Centro de Mensuração de Rede da UCLA foi escolhido para ser o primeiro nó (ponta) da ARPANET. Isso aconteceu em setembro de 1969, quando BBN instalou o primeiro IMP na UCLA e o primeiro servidor de computador foi conectado. O projeto chamado Aumento do Intelecto Humano, de Doug Engelbart, que incluía NLS (um precursor dos sistemas de hipertexto), no SRI – Stanford Research Institute (www.snatford.edu/home/research/centers_eng.html) foi o segundo nó ou ponta. SRI passou a manter as tabelas de “Host Name” para o mapeamento dos endereços e diretório do RFC. Um mês depois, quando SRI foi conectado à ARPANET, a primeira mensagem entre servidores foi enviada do laboratório de Kleinrock para o SRI. Dois outros “nodes” foram acrescentados então: a UC Santa Barbara (www.uscb.edu) e a Universidade de Utah (www.utah.edu). Estes dois nós incorporavam projetos de aplicações visuais, com Glen Culler e Burton Fried na UCSB investigando métodos de uso de funções matemáticas para restaurar visualizações na rede, e Robert Taylor e Ivan Sutherland em Utah investigando

métodos de representação em terceira dimensão na rede. Assim, no final de 1969, quatro servidores estavam conectados na ARPANET e, mesmo naquela época, os trabalhos se concentravam tanto na rede em si como no estudo das possíveis aplicações da rede. Esta tradição continua até hoje.

Computadores foram rapidamente adicionados à ARPANET nos anos seguintes, e os grupos de trabalho desenvolveram um protocolo servidor a servidor funcionalmente completo e outros softwares de rede. Em dezembro de 1971, o Network Working Group (NWG), gerenciado por S. Crocker, concluiu o primeiro protocolo servidor a servidor da ARPANET, chamado Network Control Protocol (NCP). De 1971 a 1972, os usuários da rede finalmente puderam começar a desenvolver as suas aplicações. Em outubro de 1972, Kahn organizou uma grande e bem-sucedida demonstração sobre a ARPANET na Conferência Internacional de Comunicação entre Computadores (ICCC). Esta foi a primeira demonstração pública da nova tecnologia de rede para o público. Foi também em 1972 que o correio eletrônico, considerado a primeira aplicação “hot”, foi introduzido. Em março de 1972, Ray Tomlinson, da BBN, escreveu o software básico de e-mail com as funções de “send/enviar” e “read/ler”, motivado pela necessidade dos desenvolvedores da ARPANET de ter um fácil mecanismo de coordenação. Em julho, Roberts expandiu a utilidade do e-mail escrevendo o primeiro programa utilitário de e-mail para listar, ler seletivamente, arquivar, encaminhar e responder a mensagens. Dali, o correio eletrônico se tornou a maior aplicação de rede por mais de uma década. Este foi o prenúncio do tipo de atividade que vemos hoje na WWW, ou seja, o enorme crescimento de todos os tipos de aplicações e utilitários agregados pessoa a pessoa.

Os conceitos iniciais da Internet

A ARPANET original cresceu e se tornou a Internet. A Internet foi baseada na idéia de que haveria múltiplas redes independentes de desenho arbitrário, começando com a ARPANET como rede pioneira de trocas de pacotes, mas logo incluindo redes de satélites, de rádio, etc. A Internet como conhecemos hoje incorpora uma idéia-chave: **rede de arquitetura aberta**. Nesta abordagem, a opção pela tecnologia de qualquer rede individual não é ditada por nenhuma arquitetura de rede particular, e sim escolhida livremente pelo provedor, que a torna capaz de entrar em rede com outras redes pela “Arquitetura de Internetworking”. Até aquele período, havia apenas um método para agregar redes: a tradicional troca de circuitos, na qual redes se interconectavam no nível do circuito, passando bits individuais em base síncrona por um circuito ponta a ponta entre duas localidades. Lembre-se de que Kleinrock tinha mostrado em 1961 que troca de pacotes era um método mais eficiente. Condições

específicas de interconexão entre redes era outra possibilidade. Enquanto havia outras formas limitadas de interconectar redes, todas requeriam que uma fosse componente da outra, em vez de agirem como companheiras no oferecimento do serviço ponta a ponta. Numa rede de arquitetura aberta, as redes individuais podem ser separadamente desenhadas e desenvolvidas e cada uma pode ter sua interface própria, podendo ser oferecida a usuários e outros provedores. Cada rede pode ser desenhada de acordo com o ambiente e os requerimentos dos seus usuários. Não há restrições em relação aos tipos de redes que podem ser incluídas numa área geográfica, apesar de algumas considerações pragmáticas ditarem o que é razoável oferecer.

A idéia de redes de arquitetura aberta foi primeiro introduzida por Kahn, em 1972. Este trabalho foi parte de um programa de pacotes de rádio, mas depois se tornou um programa em separado. Naquele tempo, o programa foi chamado “Internetting”. NCP não tinha a habilidade de endereçar redes e máquinas além da destinação IMP da ARPANET e, portanto, deveria ser mudado. NCP se amparava na ARPANET para prover confiabilidade de ponta a ponta. Se qualquer pacote fosse perdido, o protocolo e qualquer aplicação que ele suportasse iria simplesmente parar a transferência de dados. Nesse modelo, NCP não tinha controle de erro ponta a ponta, uma vez que pensava-se que a ARPANET seria a única rede em existência e ela seria tão confiável que nenhum controle de erro seria necessário por parte dos servidores. Então, Kahn decidiu desenvolver uma nova versão do protocolo que iria satisfazer as necessidades de um ambiente de redes de arquitetura aberta. Este protocolo iria eventualmente ser chamado Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP). Enquanto NCP agia como um driver de equipamento, o novo protocolo seria mais um protocolo de comunicações.

Quatro regras foram críticas para a idéia de Kahn:

- ▶ cada rede distinta deveria ser independente, e mudanças internas não deveriam ser requisitadas para conectá-las à Internet;
- ▶ comunicações seriam na base do melhor esforço. Se um pacote não chegasse à sua destinação final, ele seria retransmitido da fonte;
- ▶ caixas pretas seriam usadas para conectar as redes. Mais tarde elas seriam chamadas gateways e roteadores. Os gateways não reteriam informações sobre os fluxos de pacotes passantes. Isso assegurou que eles se mantivessem simples, evitando adaptações complicadas e recuperações de erros;
- ▶ não haveria controle global no nível operacional.

Outros itens avaliados foram os seguintes:

- ▶ algoritmos para prevenir perda de pacote de comunicações desabilitadas, capacitando-os a serem retransmitidos da fonte;
- ▶ provimento de “pipelining” de servidor a servidor, de forma que múltiplos pacotes poderiam ser roteados da fonte ao destino à vontade dos servidores participantes, se redes intermediárias o permitissem;

- ▶ funções de gateway (porta de entrada) para encaminhar os pacotes apropriadamente. Isso incluiria cabeçalhos de IP para roteamento, interfaces dirigidas, quebra de pacotes em pedaços menores (caso necessário), etc;
- ▶ a necessidade de checagens ponta a ponta, recuperação dos pacotes de fragmentos e detecção de duplicatas;
- ▶ a necessidade do endereçamento global;
- ▶ técnicas de controle de fluxo servidor a servidor;
- ▶ interfaces com vários sistemas operacionais;
- ▶ eficiência da implementação, performance entre as redes, etc.

Kahn começou a trabalhar na série orientada às comunicações dos princípios do sistema operacional enquanto na BBN, e documentou alguns dos seus pensamentos num memorando interno chamado “Princípios de Comunicações para Sistemas Operacionais”. Neste ponto, ele percebeu que seria necessário aprender os detalhes de implementação de cada sistema operacional para ter a chance de embutir neles novos protocolos de uma forma eficiente. Assim, na primavera de 1973, depois de começar o projeto “internetting”, Kahn chamou Vint Cerf (então trabalhando em Stanford) para trabalhar com ele no desenho detalhado do protocolo. Cerf tinha se envolvido intimamente com o desenho e desenvolvimento do NCP original e já tinha o conhecimento em interfacing com os sistemas operacionais existentes. A abordagem arquitetônica para a comunicação de Kahn e a experiência em NCP de Cerf possibilitaram a construção do que se tornou TCP/IP.

O trabalho de Kahn e Cerf foi altamente produtivo e a primeira versão escrita da teoria resultante foi distribuída numa reunião especial do International Network Working Group (INWG), que tinha sido definido numa conferência da Sussex University (www.susx.ac.uk), em Setembro de 1973. Cerf tinha sido convidado para dirigir este grupo e usou a ocasião para realizar o encontro do INWG. Algumas teses básicas surgiram da colaboração entre Kahn e Cerf:

- ▶ comunicação entre dois processos deveria consistir logicamente de uma longa corrente de bytes (que eles chamaram de octets). A posição de qualquer octet na corrente seria usada para identificá-lo;
- ▶ o controle do fluxo seria feito usando janelas e correções e acks. O destino poderia selecionar quando seria efetuado o reconhecimento e cada ack retornado seria cumulativo para todos os pacotes recebidos;
- ▶ foi deixado em aberto como a fonte e o destino iriam concordar nos parâmetros das janelas a serem usadas. Padrões foram usados inicialmente;
- ▶ apesar de a Ethernet (sistema de redes que transporta sinais – bits – para todos os microcomputadores em rede) estar em desenvolvimento em Xerox PARC naquele tempo, a proliferação de LANs (redes locais) não era prevista, muito menos a proliferação de PCs (computadores pessoais) e estações de trabalho. O modelo original foi redes nacionais como a ARPANET, em que pensava que não iriam existir muitas como ela. Então um IP de 32 bits foi usado,

O teste das idéias

dos quais os primeiros 8 bits indicavam a rede e os restantes 24 bits designavam o servidor na rede. Esta hipótese de que 256 redes seriam suficientes para o futuro próximo passou necessariamente a ser reconsiderada quando LANs começaram a aparecer no final da década de 1970.

O trabalho original de Cerf e Kahn sobre a Internet descreveu um protocolo chamado TCP, que provia todo o transporte e serviços de encaminhamento na Internet. Kahn queria que o protocolo suportasse uma série de serviços de transporte, desde a entrega seqüenciada de dados totalmente confiável (modelo de circuito virtual) até o serviço de datagram, em que a aplicação fazia uso direto do serviço básico de rede, o que poderia implicar em pacotes ocasionalmente perdidos, corrompidos ou reordenados. Entretanto, o esforço inicial para implementar TCP resultou numa versão que somente permitiu circuitos virtuais. O modelo funcionou bem para transferência de arquivos e aplicações de logins remotos, mas alguns dos trabalhos em aplicações avançadas, como pacotes de voz, mostraram que, em alguns casos, a perda de pacotes deveria ser corrigida pela aplicação e não pelo protocolo TCP. Isso levou a uma reorganização do TCP original em dois protocolos: o simples IP que provia apenas o endereçamento e o roteamento dos pacotes individuais, e o TCP em separado, que se preocupava com o controle do fluxo e a recuperação de pacotes perdidos. Para as aplicações que não queriam os serviços de TCP, uma alternativa chamada User Datagram Protocol (UDP) foi adicionada para prover acesso direto ao serviço básico de IP.

Uma grande motivação inicial para a ARPANET e para a Internet foi o compartilhamento de recursos. A conexão das duas redes foi muito mais econômica do que a duplicação de caros computadores. Entretanto, enquanto a transferência de arquivos e o login remoto (Telnet) foram aplicações muito importantes, o correio eletrônico teve o impacto mais significativo das inovações daquela época. O correio eletrônico ou e-mail criou um novo modelo, no qual as pessoas poderiam se comunicar e mudou a natureza da colaboração, primeiro na construção da própria Internet e mais tarde na sua utilização por grande parte da sociedade.

Outras aplicações foram propostas nos dias iniciais da Internet, incluindo comunicação de voz (precursora da telefonia via Internet), vários modelos de compartilhamento de arquivos e discos, e os primeiros programas que mostraram o conceito de agentes e vírus. Um conceito-chave da Internet é que ela não é desenhada para apenas uma aplicação, mas é uma infra-estrutura genérica na qual novas aplicações podem ser concebidas, como aconteceu com a World Wide Web. Foi e é a natureza do serviço provido pelos protocolos TCP e IP que tornam isso possível.

DARPA fez três contratos para Stanford (Cerf), BBN (Ray Tomlinson) e UCL (Peter Kirstein) implementarem TCP/IP (que foi simplesmente chamado TCP no trabalho de Cerf/Kahn, mas que continha ambos os componentes). A equipe de Stanford, liderada por Cerf, produziu uma detalhada especificação e, em um ano, havia três implementações independentes de TCP que poderiam operar em conjunto. Este foi o começo de longa experimentação e desenvolvimento a fim de evoluir e amadurecer os conceitos e a tecnologia da Internet. Começando com as três primeiras redes (ARPANET, Packet Radio e Packet Satellite) e suas comunidades iniciais de pesquisa, o ambiente experimental cresceu para incorporar essencialmente qualquer forma de rede e grande comunidade de pesquisa e desenvolvimento. E, com cada expansão, novos desafios surgiram.

As primeiras implementações de TCP foram feitas por sistemas como Tenex e TOPS 20. Quando os microcomputadores apareceram, alguns acharam que TCP foi grande e complexo demais para rodar neles. David Clark e seu grupo de pesquisa no MIT trabalharam para mostrar que poderia haver uma simples e compacta implementação de TCP. Eles produziram esta implementação, primeiro para o Xerox Alto (a primeira estação de trabalho pessoal desenvolvida em Xerox PARC) e depois para o IBM PC. Esta implementação foi completamente interoperável com outros TCPs, mas foi feita sob medida para microcomputadores, e mostrou que estações de trabalho, tanto quanto sistemas de grande porte, poderiam tornar-se parte da Internet. Em 1976, Kleinrock publicou o primeiro livro sobre ARPANET, com ênfase na complexidade dos protocolos e nas dificuldades que eles introduzem. Este livro foi importante na divulgação da crença nas redes com trocas de pacotes para uma grande comunidade.

O desenvolvimento generalizado de LANs, PCs e estações de trabalho na década de 80 permitiu a prosperidade da Internet que nascia. A tecnologia Ethernet, desenvolvida por Bob Metcalfe, em 1973, na Xerox PARC é agora provavelmente a tecnologia de rede dominante na Internet, e os PCs e estações de trabalho são os computadores dominantes. A mudança entre poucas redes com pequeno número de servidores (o modelo original ARPANET) e muitas redes resultou num número de novos conceitos e mudanças na tecnologia básica. Primeiro, isso resultou na definição de três classes de rede (A, B e C) para acomodar o alcance das redes. A classe A passou a representar redes de grande escala nacional (pequeno número de redes com grande número de servidores). A classe B passou a representar redes de escala regional. E a classe C passou a representar redes locais (grande número de redes com relativamente poucos servidores).

Uma grande mudança ocorreu como resultado do aumento da escala da Internet e os assuntos gerenciais associados. Para facilitar o uso da rede, nomes foram atribuídos a servidores para que não fosse necessário lembrar endereços numéricos. Originalmente, o número de servidores foi limitado e, portanto, foi possível manter uma tabela única de todos os servidores e seus nomes e endereços. A mudança para o grande número de redes independentemente gerenciadas (por exemplo, LANs) significou o fim da tabela única de servidores,

e o Domain Name System (DNS) foi inventado por Paul Mockapetris, da USC/ISI. O DNS permitiu um mecanismo escalarmente distribuído para resolver nomes de servidores hierárquicos (por exemplo, www.acm.org) num endereço Internet.

O crescimento da Internet também desafiou a capacidade dos roteamentos. Originalmente existiu um único algoritmo distribuído para roteamento que foi implementado uniformemente por todos os roteadores na Internet. Quando explodiu o número de redes na Internet, e o desenho inicial de roteamento não expandiu o suficiente, este foi substituído por um modelo hierárquico de roteamento com um Interior Gateway Protocol (IGP) usado dentro de cada região da Internet e um Exterior Gateway Project (EGP) usado para ligar as regiões. Este desenho permitiu que diferentes regiões usassem diferentes IGPs, de forma que diferentes requerimentos de custo, rápida configuração, robustez e escala pudessem ser acomodados. Não apenas o algoritmo de roteamento, mas também o tamanho das tabelas de endereçamento acentuaram a capacidade dos roteamentos. Novas abordagens para agregação de endereço, em particular roteamento entre domínios sem classe (CIDR) foram introduzidas para controlar o tamanho das tabelas de roteamento. Um dos maiores desafios foi como propagar as mudanças para o software, particularmente o software do servidor. DARPA dava suporte à UC Berkeley para investigar modificações para o sistema operacional Unix, inclusive incorporando o TCP/IP desenvolvido em BBN. Apesar de Berkeley ter mais tarde reescrito o código para torná-lo mais adequado ao sistema Unix, a incorporação do TCP/IP no Unix BSD foi crítica para a dispersão dos protocolos na comunidade de pesquisa. Muitos da comunidade de pesquisa da ciência da computação já haviam começado a usar Unix BSD no seu dia-a-dia e a estratégia de incorporar protocolos Internet no sistema operacional da comunidade de pesquisa foi um dos elementos-chave da larga e bem-sucedida adoção da Internet.

Um dos mais interessantes desafios foi a transição do protocolo de servidor da ARPANET de NCP para TCP/IP em 01/01/1983. Foi uma transição imediata, requisitando todos os servidores em conversão simultânea (ou então passariam a se comunicar via mecanismos específicos). A transição foi cuidadosamente planejada pela comunidade por anos antes e foi muito fácil no dia em que realmente aconteceu (mas teve como consequência a distribuição de “buttons” dizendo “Eu sobrevivi à transição para o TCP/IP”).

O protocolo TCP/IP tinha sido adotado como padrão de defesa três anos antes, em 1980. Tal fato levou diretamente à eventual divisão entre comunidades militar e não-militar. Em 1983, a ARPANET estava sendo usada por um número significativo de organizações de pesquisa e desenvolvimento e de operações da defesa. A transição da ARPANET do protocolo NCP para o protocolo TCP/IP permitiu a divisão entre a MILNET, que passou a suportar os requisitos operacionais, e a ARPANET, que passou a suportar as necessidades de pesquisa.

Portanto, em 1985, a Internet já estava bem estabelecida como uma larga

comunidade de suporte de pesquisadores e desenvolvedores e começava a ser usada por outras comunidades para comunicações diárias pelo computador. O correio eletrônico já estava sendo usado por muitas comunidades, frequentemente com sistemas diferentes, mas a interconexão entre os diferentes sistemas de correio foi demonstrando a utilidade de comunicação eletrônica entre as pessoas.

A transição para a infra-estrutura aberta

Ao mesmo tempo em que a tecnologia Internet estava sendo experimentalmente validada e largamente utilizada por um conjunto de pesquisadores da ciência da computação, outras redes e tecnologias de rede estavam sendo criadas. A utilidade das redes computadorizadas - especialmente o correio eletrônico - demonstrada por DARPA e pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos não foi perdida em outras comunidades e disciplinas, e, ainda na década de 70, redes começaram a aparecer em qualquer lugar que dispusesse de fundos e recursos para isso. O Departamento de Energia dos Estados Unidos estabeleceu a MFENet para seus pesquisadores em energia de fusão magnética e a HEPNet para o grupo de física de alta energia. Os físicos espaciais da NASA (www.nasa.gov) seguiram com a SPAN, e Rick Adrion, David Farber, e Larry Landweber estabeleceram a CSNET para a comunidade acadêmica e industrial da Ciência da Computação com um subsídio inicial da NSF - National Science Foundation (www.nsf.gov). A livre disseminação do sistema operacional Unix na AT&T resultou na USENET, baseada no protocolo de comunicação UUCP incluído no Unix, e, em 1981, Ira Fuchs e Greydon Freeman projetaram a BITNET, que ligou os computadores acadêmicos num paradigma do tipo “correio eletrônico como imagens de cartão”.

Com a exceção da BITNET e da USENET, estas primeiras redes (incluindo ARPANET) tinham sido construídas para um objetivo específico, isto é, elas foram criadas largamente restritas a comunidades fechadas de acadêmicos. Havia pouca pressão para que as redes individuais fossem compatíveis e, na verdade, elas não eram. Mais ainda, tecnologias alternativas estavam sendo procuradas pelo segmento comercial, incluindo XNS da Xerox, DECNet e SNA da IBM. Restou à inglesa JANET (1984) e à U.S. NSFNET (1985) programas para explicitamente anunciar seus intentos de servirem à comunidade educacional, não importando a disciplina. Mais, a condição para universidades americanas receberem fundos do NSF era que “a conexão deveria estar disponível para todos os usuários qualificados no campus”.

Em 1985, Dennis Jennings, da Irlanda, passou um ano na NSF liderando o programa da NSFNET. Ele trabalhou com a comunidade para ajudar a NSF a tomar uma decisão crítica: que o TCP/IP seria mandatório para o programa da NSFNET. Quando Steve Wolff chegou à NSFNET em 1986, ele reconheceu a necessidade por uma infra-estrutura de rede maior para suportar as comunidades acadêmicas e de pesquisa, além da necessidade de desenvolver uma estraté-

gia para estabelecer esta infra-estrutura independentemente dos recursos federais. Políticas e estratégias foram adotadas para atingir este fim.

NSF também decidiu suportar a infra-estrutura organizacional da Internet da DARPA já existente, hierarquicamente arranjada pelo então Internet Activities Board (IAB). A declaração pública desta opção foi a autoria conjunta pelo grupo de Engenharia e Arquitetura da Internet da IAB e pelo grupo de Assessoria Técnica de Rede da NSF do RFC 985 – Requirements for Internet Gateways – que formalmente assegurou a interoperabilidade entre DARPA e NSF.

Em adição à seleção do TCP/IP para o NSFNET, agências federais norte-americanas fizeram e implementaram várias outras decisões políticas que definiram a Internet de hoje, como segue:

- ▶ Agências federais norte-americanas dividiram o custo da infra-estrutura, como os circuitos transoceânicos. Elas também apoiaram os pontos de interconexão para o tráfego entre agências. Federal Internet Exchanges (FIX-E e FIX-W) construídas com este objetivo serviram como modelos para os pontos de acesso da rede e facilidades “*IX” que são características proeminentes da arquitetura Internet de hoje;

- ▶ Para coordenar esta participação, foi formado o Federal Networking Council (Conselho Federal de Redes). The FNC cooperou com organizações internacionais como o RARE na Europa, através do Comitê de Pesquisa Intercontinental, para coordenar o apoio da comunidade mundial de pesquisa à Internet;

- ▶ Esta participação e cooperação entre agências em assuntos relacionados à Internet tem uma longa história. Um acordo sem precedentes realizado em 1981 entre Farber, representando a CSNET e a NSF, e Kahn, representando a DARPA, permitiu à CSNET compartilhar a infra-estrutura da ARPANET numa base estatística;

- ▶ Similarmente, a NSF encorajou redes regionais (inicialmente acadêmicas) da NSFNET a buscar clientes comerciais, expandir seus estabelecimentos para servi-los e explorar as resultantes economias de escala para baixar os custos de subscrição para todos;

- ▶ No backbone da NSFNET, o segmento de escala nacional da NSFNET, NSF fez cumprir uma política (Acceptable Use Policy - AUP) que proibiu o uso do backbone para objetivos que não fossem de suporte à Pesquisa e à Educação. O resultado previsível e desejado do encorajamento de tráfego comercial nos níveis local e regional, enquanto proibindo seu acesso ao backbone nacional, foi estimular a emergência e o crescimento de redes privadas e competitivas (como PSI, UUNET, ANS CO+RE e outras mais tarde). Este processo de aumento de redes privadas e autofinanciadas para usos comerciais foi iniciado em 1988 numa série de conferências promovidas pela NSF em Harvard's Kennedy School of Government sob o título “A Comercialização e Privatização da Internet” e na lista “com-priv” da rede;

- ▶ Em 1988, o comitê do Conselho Nacional de Pesquisa norte-americano, dirigido por Kleinrock e com Kahn e Clark como membros, produziu um relatório autorizado pela NSF intitulado “Em Direção a uma Rede Nacional de Pesquisa”. Este relatório influenciou o então Senador Al Gore e anunciou as redes de alta velocidade, que se tornariam a fundação para a superestrada da informação do futuro;

- ▶ Em 1994, o comitê do Conselho Nacional de Pesquisa norte-americano, novamente dirigido por Kleinrock e novamente com Kahn e Clark como membros, produziu um novo relatório autorizado pela NSF intitulado “Fazendo Idéia do Futuro da Informação: a Internet e Além”. Neste documento, a superestrada da informação foi articulada e tópicos críticos como direitos da propriedade intelectual, ética, preços, educação, arquitetura e regulamentação da Internet foram discutidos;

- ▶ A política de privatização da NSF culminou em abril de 1995, com o fim do subsídio ao backbone da NSFNET. Os fundos recuperados foram competitivamente redistribuídos para redes regionais para compra de conectividade nacional das agora numerosas redes privadas.

O backbone fez a transição entre a rede construída de roteadores da comunidade de pesquisa para equipamentos comerciais. Em seus oito anos e meio, o backbone cresceu de seis nodes com links de 56 Kb para 21 nodes com múltiplos links de 45 Mb. A Internet cresceu para mais de 50 mil redes em todos os sete continentes, com aproximadamente 29 mil redes apenas nos Estados Unidos.

Tal foi o peso do ecumenismo, dos recursos da NSFNET (US\$ 200 milhões entre 1986 e 1995) e da qualidade dos protocolos, que em 1990, quando a ARPANET foi desautorizada, o TCP/IP tinha suplantado e marginalizado os demais protocolos de rede, e IP estava também se tornando o serviço de sustentação da infra-estrutura da informação global.

O papel da documentação

A chave para o rápido crescimento da Internet tem sido o livre e aberto acesso aos documentos básicos, especialmente as especificações dos protocolos.

Os inícios da ARPANET e da Internet na comunidade acadêmica de pesquisa promoveram a tradição acadêmica de publicação de idéias e resultados. Entretanto, o ciclo normal da publicação acadêmica tradicional era formal e devagar demais para a dinâmica troca de idéias na criação das redes. Em 1969, um passo importante foi tomado por S. Crocker, então na UCLA, estabelecendo uma série de notas relativas a “Request for Comments” (RFC, ou, traduzindo, Solicitação de Comentários). Estas notas ou memorandos seriam uma forma rápida de distribuição de observações no compartilhamento de idéias com outros pesquisadores. A princípio, os RFCs eram impressos e distribuídos pelo

A formação da comunidade

correio tradicional. Quando o File Transfer Protocol (FTP, significando protocolo de transferência de arquivos) começou a ser usado, os RFCs se tornaram arquivos on-line acessados via FTP. Agora, claro, os RFCs (www.ietf.org/rfc.html) são facilmente acessados via web em dezenas de sites no mundo. O SRI – Stanford Research Institute, no papel de Centro de Informação de Redes, manteve os diretórios on-line. Jon Postel atua até hoje como editor dos RFCs, bem como gerente da administração centralizada de número de protocolo.

O efeito dos RFCs foi criar um círculo positivo de retornos, com idéias e propostas apresentadas em um RFC gerando outro RFC com mais idéias, e daí por diante. Quando algum consenso (ou pelo menos uma série consistente de idéias) era atingido, um documento com as especificações era então preparado. Estas especificações seriam então usadas como base para implementações pelas várias equipes de pesquisa.

Com o tempo, os RFCs se tornaram mais focados nos padrões de protocolo (as especificações oficiais), apesar de ainda existirem RFCs informativos que descrevem abordagens alternativas ou provêm informações antecedentes sobre protocolos e engenharia. Os RFCs são agora vistos como documentos de registro nas comunidades de engenharia e padrões da Internet. O acesso aberto aos RFCs (grátis, se você tem qualquer tipo de conexão com a Internet) promove o crescimento da Internet, porque permite que especificações reais sejam usadas como exemplos em classes universitárias e por empreendedores desenvolvendo novos sistemas.

O correio eletrônico tem sido essencial em todas as áreas da Internet, e especialmente no desenvolvimento das especificações dos protocolos, padrões técnicos e engenharia da Internet. OS RFCs mais antigos apresentaram um conjunto de idéias desenvolvidas por pesquisadores de um determinado lugar para o resto da comunidade. Depois que o e-mail ou correio eletrônico começou a ser utilizado, o padrão de autoria mudou – os RFCs eram apresentados por co-autores com uma visão comum, independentemente de suas localizações.

O uso de listas de discussão especializada tem há muito tempo sido usado no desenvolvimento das especificações de protocolo e continua a ser uma ferramenta importante. O IETF tem agora mais de 75 grupos de trabalho, cada um trabalhando num aspecto diferente da engenharia da Internet. Cada um desses grupos tem uma lista de discussão para trocar idéias sobre documentos em desenvolvimento. Quando o consenso é atingido num rascunho, o documento é então distribuído como um RFC.

Como o rápido crescimento da Internet é acelerado pelo entendimento da sua capacidade de promover o compartilhamento de informações, nós deveríamos entender que o primeiro papel da rede foi permitir o compartilhamento da informação sobre seu próprio desenho e operação através dos RFC. Este método único para a evolução de novas capacidades da rede continuará a ser crítico na evolução futura da Internet.

A Internet representa tanto uma coleção de comunidades como uma coleção de tecnologias, e seu sucesso é largamente atribuído à satisfação das necessidades básicas da comunidade e à utilização efetiva da comunidade na expansão da sua infra-estrutura. O espírito da comunidade tem uma longa história, começando com a ARPANET. Os pesquisadores da antiga ARPANET trabalharam numa comunidade fechada para conseguir fazer as demonstrações iniciais da tecnologia de transferência de pacotes descrita anteriormente. Da mesma forma, vários outros programas de pesquisa da ciência da computação promovidos pela DARPA (Packet Satellite, Packet Radio e outros) foram frutos de atividades cooperadas que usavam pesadamente qualquer mecanismo disponível para coordenar seus esforços, começando com o correio eletrônico e acrescentando compartilhamento de arquivos, acesso remoto e WWW. Cada um dos programas formou um grupo de trabalho, começando com o Grupo de Trabalho de Rede da ARPANET. Por conta do papel da ARPANET na infra-estrutura de suporte a vários programas de pesquisa, e com a evolução da Internet, o Grupo de Trabalho de Rede se tornou o Grupo de Trabalho da Internet.

No final da década de 70, reconhecendo que o crescimento da Internet foi acompanhado pelo crescimento em tamanho da comunidade de pesquisa interessada na Internet e que, portanto, havia uma necessidade maior de mecanismos de coordenação, Vint Cerf, então gerente do Programa Internet da DARPA, formou vários grupos de coordenação:

- ▶ um Conselho de Cooperação Internacional (ICB – Internet Cooperation Board), presidido por Peter Kirstein da UCL, para coordenar as atividades com alguns países europeus envolvidos no programa Packet Satellite;
- ▶ um Grupo de Pesquisa da Internet (Internet Research Group), para prover um ambiente para a troca geral de informações sobre a Internet;
- ▶ e um Conselho de Controle de Configuração da Internet (ICCB – Internet Configuration Control Board), presidido por Clark. O ICCB iria assessorar Cerf na gerência da florescente Internet.

Em 1983, quando Barry Leiner passou a gerenciar o programa de pesquisa da Internet na DARPA, ele e Clark reconheceram que o crescimento contínuo da comunidade Internet demandava uma reestruturação dos mecanismos de coordenação. O ICCB foi então substituído por forças-tarefa, cada uma focalizando uma área particular da tecnologia (roteamentos, protocolos ponta-a-ponta, etc.). O IAB (www.iab.org/iab), então chamado Internet Activities Board ou Conselho de Atividades da Internet, foi então formado com os presidentes das forças-tarefa. Foi uma coincidência que esses presidentes fossem os mesmos do antigo ICCB, e Dave Clark continuou a presidi-lo. Depois de algumas mudanças no IAB, Phill Gross se tornou o presidente da revitalizada IETF-The Internet Engineering Task Force (Força-Tarefa da Engenharia da Internet – www.ietf.org), naquele tempo apenas uma das forças-tarefa do IAB. Em 1985, então, houve um tremendo crescimento no lado prático da engenharia da Internet. Este cresci-

A comercialização da tecnologia

mento resultou na explosão dos comparecimentos nas reuniões do IETF, e Gross teve que criar uma subestrutura do IETF na forma de grupos de trabalho.

Este crescimento foi complementado por uma grande expansão da comunidade. DARPA então tinha deixado de ser o maior financiador da Internet. Além da NSFNet e de várias atividades financiadas pelos governos americano e internacionais, o segmento comercial começou a se interessar pela Internet. Também em 1985, Kahn e Leiner deixaram a DARPA, que não vinha conseguindo manter seu ritmo de atividades na Internet. Como resultado, o IAB perdeu seu patrocinador e progressivamente assumiu o papel de líder na Internet.

O crescimento da Internet continuou, resultando em nova sub-estruturação do IAB e do IETF. O IETF combinou Grupos de Trabalho em Áreas, e designou Diretores de Áreas. O crescimento do setor comercial trouxe uma crescente preocupação em relação ao próprio processo de standards Internet. A Internet tinha crescido muito além de suas raízes primárias de pesquisa, passando a incluir uma grande comunidade de usuários e atividades comerciais cada vez maiores. O processo deveria ser aberto e justo. Esta preocupação, acompanhada da necessidade reconhecida de suporte da comunidade da Internet, eventualmente levou à formação da Internet Society (www.isoc.org) em 1991, com o patrocínio da CNRI – Corporation for National Research Initiatives (www.cnri.reston.va.us) de Kahn e a liderança de Cerf, então com a CNRI.

Em 1992, outra reorganização foi feita de forma a reorganizar o IAB e renomeá-lo Internet Architecture Board (ou Conselho de Arquitetura da Internet) e a colocá-lo sob o comando da Internet Society. Uma relação de mesmo nível foi definida entre o novo IAB e o IESG, com o IETF e o IESG tendo uma maior responsabilidade na aprovação dos standards. Principalmente uma relação cooperativa e mutuamente apoiadora foi formada entre o IAB, o IETF e a Internet Society, esta última tomando como objetivo a provisão do serviço e outras medidas que facilitariam o trabalho do IETF.

O recente desenvolvimento e uso da World Wide Web (WWW) formou uma nova comunidade, já que muitos dos que trabalham com a WWW não são pesquisadores ou desenvolvedores. Uma nova organização coordenadora foi formada: o W3C-World Wide Web Consortium (www.w3c.org/W3C). Inicialmente liderado pelo laboratório para a Ciência da Computação do MIT, por Tim Berners-Lee (o inventor do WWW) e Al Vezza, W3C tomou a responsabilidade de evoluir com vários protocolos e padrões associados com a Web.

Assim, através das duas décadas da Internet, nós temos visto uma estável evolução das estruturas organizacionais desenhadas para suportar e facilitar uma sempre crescente comunidade trabalhando em colaboração com assuntos ligados à Internet.

A comercialização da Internet envolveu não somente o desenvolvimento de serviços privados e competitivos, mas também produtos comerciais implementando a tecnologia da Internet. Nos anos 80, dezenas de vendedores incorporaram TCP/IP em seus produtos, porque viram compradores para aquele modelo de rede. Infelizmente, eles não tiveram informação sobre como a tecnologia trabalhava e como os clientes planejavam usá-la. Muitos a viram como um add-on que deveria ser adicionado às suas soluções proprietárias de redes: SNA, DECNet, Netware, MetBios. O Departamento de Defesa americano tinha autorizado o uso de TCP/IP em muitas de suas compras, mas tinha dado pouca orientação aos seus vendedores em relação a como construir produtos TCP/IP de utilidade.

Em 1985, devido à falta de informação e à falta de apropriado treinamento, Dan Lynch e o IAB realizaram um workshop para “todos” os vendedores, para que eles pudessem aprender como TCP/IP funcionava e que problemas ainda tinha. Os palestrantes vieram em sua maioria da comunidade de pesquisa da DARPA, que tinha desenvolvido os protocolos e os usavam diariamente. Cerca de 250 representantes de vendedores ouviram 50 inventores e experimentadores. Os resultados foram surpresas em ambos os lados: os vendedores ficaram impressionados com o modo pelo qual os inventores eram tão abertos sobre como as coisas funcionavam (ou não) e os inventores ficaram felizes em ouvir sobre novos problemas que eles não tinham considerado mas que estavam sendo descobertos pelos vendedores. Desta forma, uma saudável discussão em mão-dupla foi formada, discussão esta que tem durado por mais de uma década.

Depois de dois anos de conferências, tutoriais, encontros e workshops, um evento especial foi organizado e para o qual foram convidados os fabricantes de produtos que rodavam TCP/IP bem o suficiente para se reunirem por três dias e mostrar o quanto eles trabalhavam bem juntos – e também para examinarem a Internet. Em setembro de 1988, o primeiro Interop trade show foi realizado. 50 empresas expuseram e 5 mil engenheiros de corporações consideradas clientes potenciais vieram ao trade show para ver se tudo funcionava como prometido. E funcionou! Por que? Porque os fabricantes trabalharam duro para assegurar que os produtos de todos operariam com todos os outros produtos, mesmo aqueles dos seus competidores. O Interop trade show (www.zdevents.com/interop) tem crescido imensamente desde então e hoje é realizado anualmente em sete locais no mundo, com uma audiência de quase 250 mil pessoas que querem aprender sobre os últimos produtos lançados e discutir a mais recente tecnologia da interoperabilidade.

Paralelamente aos esforços de comercialização que foram salientados, os fornecedores começaram a participar dos encontros do IETF, realizados 3 ou 4 vezes ao ano para discutir novas idéias para extensões do TCP/IP protocol suite. De poucas centenas de acadêmicos presentes e pagos pelo governo, os encon-

tros do IETF agora reúnem milhares de representantes de fornecedores e são pagos pelos próprios participantes, o que ajuda na evolução do TCP/IP.

A gerência da rede é um exemplo da interação entre a comunidade de pesquisa e a comunidade comercial. No começo da Internet, a ênfase era definir e implementar protocolos que atingiam a interoperabilidade. Quando a rede cresceu, ficou claro que procedimentos específicos usados para gerenciar a rede não mais serviriam. A configuração manual de tabelas foi substituída pela distribuição de algoritmos automatizados, e ferramentas melhores foram criadas para isolar falhas. Em 1987, ficou também claro que seria necessário um protocolo que permitisse que os elementos da rede, como roteadores, fossem remotamente gerenciados, uniformemente. Vários protocolos foram então propostos, incluindo o SNMP – Simple Network Management Protocol (Protocolo de Gerência de Rede Simples, desenhado para a simplicidade e derivado de uma proposta anterior chamada SGMP), o HEMS (um design mais complexo da comunidade de pesquisa) e o CMIP (da comunidade OSI). Uma série de encontros levou à decisão de que o HEMS seria desconsiderado como candidato para resolver a disputa, mas que o trabalho do SNMP e do CMIP prosseguiria, com a idéia de que o SNMP poderia ser uma solução a curto prazo, e o CMIP uma solução a longo prazo. O mercado iria escolher o que achasse mais adequado. O SNMP é agora usado quase universalmente como gerência de rede.

Nos últimos anos, temos visto uma nova fase da comercialização. Originalmente, esforços comerciais eram dirigidos aos vendedores, que proviam os produtos básicos da rede e, aos provedores, que ofereciam conectividade e serviços básicos da Internet. A Internet agora se tornou quase uma “commodity” e muita atenção tem sido dada recentemente ao uso de sua estrutura global de informação para suportar outros serviços comerciais. Isto tem sido tremendamente acelerado pela rápida adoção dos browsers e da tecnologia Web, permitindo aos usuários acessar a informação linkada em qualquer lugar do globo. Produtos estão disponíveis para facilitar a provisão desta informação, e muitos dos últimos desenvolvimentos em tecnologia têm sido no sentido de permitir cada vez mais sofisticados serviços de informação no topo da base das comunicações de dados da Internet.