

Campus Porto Velho Zona Norte
Coordenação do Curso Redes de Computadores

JOSIELE DE AGUIAR GOMES MOURA E YASMIM FERNANDES PEREIRA

**A INÉRCIA DA TRANSIÇÃO : UMA ANÁLISE DAS BARREIRAS TÉCNICAS PARA
A ADOÇÃO PLENA DO PROTOCOLO IPV6**

PORTO VELHO
2026

JOSIELE DE AGUIAR GOMES MOURA E YASMIM FERNANDES PEREIRA

**A INÉRCIA DA TRANSIÇÃO : UMA ANÁLISE DAS BARREIRAS TÉCNICAS PARA
A ADOÇÃO PLENA DO PROTOCOLO IPV6**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Porto Velho Zona Norte, como requisito parcial para obtenção do grau de tecnólogo , junto ao Curso Redes de Computadores, sob a orientação do professor Silmar Antônio Buchner de oliveira .

Porto Velho
2026

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Moura, Josiele de Aguiar Gomes.

A inércia da transição: uma análise das barreiras técnicas para a adoção plena do protocolo IPv6 / Josiele de Aguiar Gomes Moura, Yasmim Fernandes Pereira. - Porto Velho, 2026.
25 f. : il.

Orientador(a): Prof. Silmar Antônio Buchner de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Superior de Tecnologia em Redes de Computadores) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Porto Velho, 2026.

1. IPv4. 2. IPv6. 3. esgotamento de endereços IP. 4. migração protocolos. 5. redes de computadores. I. Pereira, Yasmim Fernandes. II. Oliveira, Silmar Antônio Buchner de (orient.). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. IV. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Gizele de Melo Viana, CRB-11/914

JOSIELE DE AGUIAR GOMES MOURA E YASMIM FERNANDES PEREIRA

**A INÉRCIA DA TRANSIÇÃO : UMA ANÁLISE DAS BARREIRAS TÉCNICAS PARA
A ADOÇÃO PLENA DO PROTOCOLO IPV6**

Artigo entregue
como Trabalho de Conclusão de Curso ao
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Porto
Velho Zona Norte, como requisito parcial para
obtenção do grau de tecnólogo , junto ao Curso
Redes de Computadores, sob a orientação do
professor Silmar Antônio Buchner de oliveira .

Aprovado em: 17/06/2026 pela banca examinadora.

Jhordano Malacarne Bravim
Membro da Banca

Sérgio de Araújo Vilela
Membro da Banca

Silmar Antônio Buchner de oliveira
Orientador

A INÉRCIA DA TRANSIÇÃO : UMA ANÁLISE DAS BARREIRAS TÉCNICAS PARA A ADOÇÃO PLENA DO PROTOCOLO IPV6

RESUMO: Com a crescente escassez de endereços disponíveis do protocolo IPv4 desde a sua criação, tornou-se necessária a criação do protocolo IPv6. Esse protocolo relativamente novo pode ser considerado uma evolução do IPv4, oferecendo, entre outras vantagens, um espaço de endereçamento significativamente maior e capaz de atender às demandas atuais e futuras da Internet. Entretanto, essa migração vem ocorrendo em uma velocidade reduzida, sendo um dos fatores a escassez de profissionais capacitados no cenário atual. Outro fator que acarreta essa morosidade na migração entre os protocolos está relacionada à compatibilidade entre as duas versões, exigindo mecanismos específicos para garantir a interoperabilidade durante o período de transição. Para a realização deste trabalho, optou-se por uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratório, com o objetivo de compreender os principais aspectos relacionados à adoção e aos desafios da migração para o protocolo IPv6.

PALAVRAS-CHAVE: IPv4; IPv6; Esgotamento de endereços IP; Migração Protocolos; Redes de computadores.

ABSTRACT: Due to the increasing scarcity of available IPv4 addresses since its creation, the development of the IPv6 protocol became necessary. This relatively protocol can be considered an evolution of IPv4, offering, among advantages, a significantly larger address space capable of meeting the current and future demands of the Internet. However, the migration to IPv6 has been occurring at a slower pace than expected. One of the factors contributing to this situation is the shortage of qualified professionals in the current scenario. Another factor responsible for this slow migration is the compatibility issues between the two protocol versions, which require specific mechanisms to ensure interoperability during the transition period. For the development of this work, an exploratory bibliographic research was adopted, aiming to understand the main aspects related to the adoption of IPv6 and the challenges involved in the migration process.

KEYWORDS: IPv4; IPv6; IP address exhaustion; Protocol Migration; Computer Networks.

1 INTRODUÇÃO

A Internet tornou-se uma das principais infraestruturas de comunicação da sociedade moderna, permitindo a interconexão de bilhões de dispositivos em escala global. Nesse contexto, o Protocolo de Internet (IP) desempenha papel fundamental ao possibilitar a identificação e o encaminhamento de dados entre os dispositivos conectados à rede.

Durante décadas, o IPv4 foi o principal protocolo utilizado na Internet. Entretanto, o crescimento acelerado da rede evidenciou limitações relacionadas ao seu espaço de endereçamento de 32 bits, tornando insuficiente a quantidade de endereços disponíveis para atender à crescente demanda de usuários e dispositivos conectados (KUROSE J, F.; ROSS, K. W. 2013; TANENBAUM; WETHERALL, 2021).

Para prolongar a utilização do IPv4, foram desenvolvidas medidas paliativas como CIDR, DHCP e NAT. Segundo Henrique (2013), essas soluções permitem adiar o esgotamento dos endereços por vários anos, mas não eliminam definitivamente o problema.

Diante desse cenário, foi desenvolvido o IPv6, protocolo que amplia o endereçamento para 128 bits, oferecendo uma solução para as limitações do IPv4 e suporte ao crescimento contínuo da Internet (FERNANDÉZ, 2019). Contudo, sua adoção ocorre de forma gradual devido a fatores como a incompatibilidade entre os protocolos, a necessidade de atualização da infraestrutura, os custos de implementação e a escassez de profissionais especializados (HENRIQUE, 2013).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar o processo de transição do IPv4 para o IPv6, abordando: Breve apresentação sobre Internet, protocolos IPv4 e IPv6; Barreiras técnicas para adoção do IPv6; e Inércia transição.

A relevância desta pesquisa está relacionada à necessidade de compreender os desafios envolvidos na evolução da infraestrutura da Internet e na modernização das redes de comunicação.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como bibliográfica, sendo desenvolvida a partir da análise de livros, artigos científicos, normas técnicas e outras publicações relacionadas aos protocolos IPv4, IPv6 e ao processo de transição entre eles. A coleta de dados foi realizada por meio de consultas a obras especializadas da área de Redes de Computadores e a artigos científicos disponíveis em bases acadêmicas, como Google Acadêmico e Oasis.br. Entre as principais referências utilizadas destacam-se KUROSE, J, F.; ROSS, K. W. (2013), Tanenbaum e Wetherall (2021), Henrique (2013) e as RFCs que padronizam os protocolos e tecnologias estudados. A análise dos materiais ocorreu por meio de leitura seletiva e analítica, buscando identificar, compreender e comparar informações relevantes para a construção da fundamentação teórica e para o alcance dos objetivos propostos pela pesquisa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 INTERNET E PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Para compreender a evolução das redes de computadores é necessário analisar o contexto histórico das tecnologias de comunicação. Segundo KUROSE e ROSS (2013), os primeiros passos da Internet remontam ao início da década de 1960, quando a rede telefônica era o principal sistema de comunicação mundial.

Nesse período, pesquisadores como Leonard Kleinrock, Paul Baran e Donald Davies desenvolveram os conceitos de comutação de pacotes, tecnologia que se tornou a base da Internet moderna KUROSE, J, F.; ROSS, K. W. (2013). A partir dessas pesquisas, foi criada a ARPANET, considerada o embrião da Internet atual (BERNARDO, 2013).

Com o crescimento da Internet, tornou-se necessária a criação de protocolos capazes de padronizar a comunicação entre diferentes sistemas computacionais KUROSE, J, F.; ROSS, K. W. (2013). Nesse contexto, destaca-se o conjunto de protocolos TCP/IP, no qual o TCP garante a confiabilidade e a integridade dos dados, enquanto o IP é responsável pelo endereçamento e roteamento dos pacotes (GUILHERME, 2022).

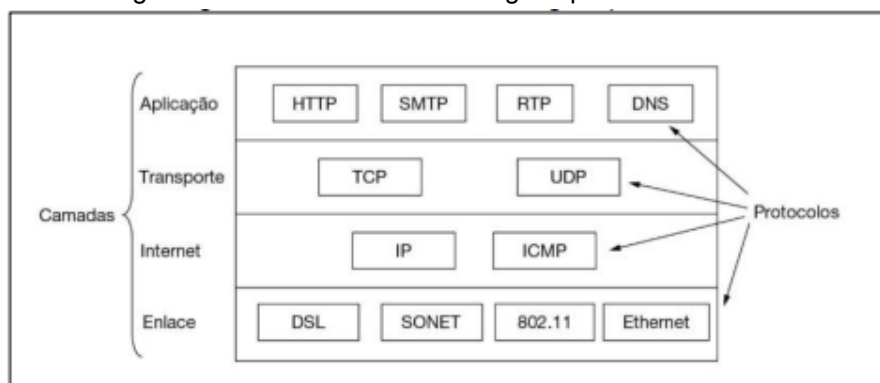
Além disso, a diversidade de fabricantes e tecnologias tornou indispensável a padronização. Organizações como a ITU, ISO, IETF e IEEE desempenham papel fundamental na criação de normas e protocolos que garantem a interoperabilidade entre dispositivos e sistemas (FERNANDEZ, 2019; TANENBAUM; WETHERALL, 2021). Assim, os protocolos de comunicação constituem a base do funcionamento das redes modernas KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. (2013).

3.2 O PROTOCOLO IPV4

Para melhor compreensão, torna-se necessário entender que protocolo TCP/IP desenvolvido na década de 1970 é um conjunto de padrões de rede que especificam os detalhes de como os computadores se comunicam, além de definir um conjunto de convenções padronizadas que permitem a interconexão redes encaminhamento de tráfego (CONSTANTINO, 2022.)

Conforme apresentado na Figura 1, a arquitetura TCP/IP organiza protocolos em diferentes camadas responsáveis pela comunicação na rede.

Figura 1 – Modelo TCP/IP com alguns protocolos



Fonte: TANENBAUM (2021, p. 132).

No modelo TCP/IP a camada denominada internet é a responsável por integrar toda a arquitetura, mantendo-a unida, tendo como objetivo permitir que hosts enviem pacotes dentro de uma rede garantindo que os mesmos trafegam até o host de destino, seja ele em uma mesma rede ou não . Tanenbaum e Wetherall (2021)

Além disso, é nela em que se encontra o protocolo IP, responsável pelo endereçamento de hosts e roteamento dos dados na rede. Segundo Knaip(2022), 8ª versão do Protocolo IP (IPv4), surgiu no início da década de 80, sendo um

protocolo predominante na Internet, pois este determina uma identificação de endereços, de quaisquer dispositivos que tenham acesso à internet.”

Ao contrário da maioria dos protocolos da camada de rede mais antigos, o IP foi projetado desde o início tendo como objetivo a interligação de redes Tanenbaum e Wetherall (2021)

3.2.1 ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DO IPV4

Antes de compreender o funcionamento do IPv4, é necessário conhecer os principais componentes da camada de rede da Internet. Segundo KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. (2013), essa camada é composta por três elementos principais: o protocolo IP, responsável pelo endereçamento lógico; o componente de roteamento, que determina o caminho percorrido pelos datagramas entre origem e destino; o mecanismo de comunicação de erros e atendimento a solicitações da camada rede.

O IPv4 realiza a comunicação por meio de datagramas, estruturas responsáveis pelo transporte de dados na rede. De acordo com SERRA (2023), trata-se de um protocolo de endereçamento de 32 bits, organizados em quatro grupos de 8 bits (4 bytes), permitindo teoricamente 4.294.967.296 endereços. Entretanto, parte desse espaço é reservada para finalidades específicas e não pode ser utilizada para o endereçamento de dispositivos.

Segundo Tanenbaum e Wetherall (2021), os endereços IPv4 possuem estrutura hierárquica composta por uma parte de rede (prefixo) e uma parte de host. O prefixo identifica a rede à qual o dispositivo pertence, enquanto a porção host identifica individualmente cada equipamento conectado. Os autores destacam que os prefixos são frequentemente representados por notações como “/16” ou “/24”, conhecidas como máscaras de sub-rede, nas quais o número indica a quantidade de bits reservados para a identificação da rede.

Conforme KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. (2013), os endereços IPv4 são representados notação decimal pontuada (dotted-decimal notation), na qual cada byte é convertido para decimal e separado por pontos. Como exemplo, o endereço 193.32.216.9, que é representado da seguinte forma: 11000001 00100000 11011000 00001001.

De acordo com Queiroz (2021), a separação entre rede e host é realizada por meio da máscara de rede. Fernández (2019) destaca que a utilização de máscaras de rede permite a criação de sub-redes, possibilitando dividir uma rede maior em segmentos menores. Esse mecanismo proporciona maior flexibilidade endereçamento IPv4 e otimiza a utilização dos endereços disponíveis.

3.2.2 CLASSES DE ENDEREÇAMENTO

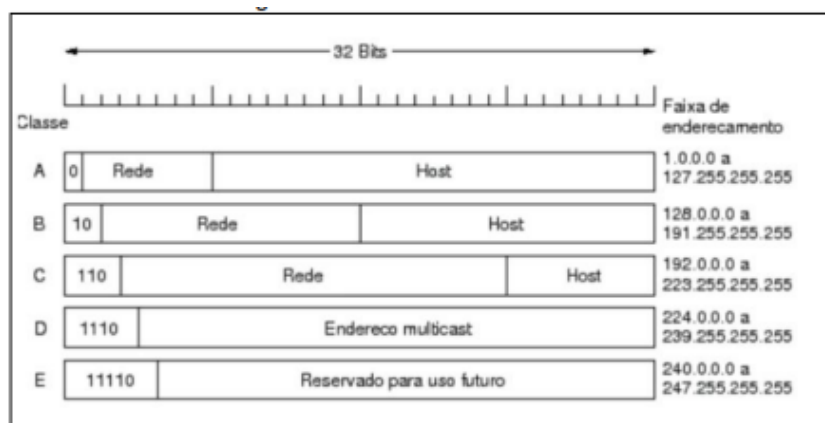
A necessidade de otimizar a utilização dos endereços IPv4 e organizar redes de forma hierárquica levou à adoção do modelo de endereçamento por classes.

Segundo Queiroz (2021), entre 1981 e 1993 os endereços IPv4 eram divididos em cinco categorias, identificadas pelas letras A, B, C, D e E. Esse Modelo, denominado endereçamento classful, permitia teoricamente a utilização de aproximadamente 4 bilhões de endereços.

De acordo com Tanenbaum e Wetherall, (2021), as classes A, B e C foram projetadas para atender redes de diferentes portes. A classe A era destinada a redes de grande porte, suportando aproximadamente 16 milhões de hosts; a classe B atendia redes médias, com cerca de 65 mil hosts; e a classe C era voltada para redes menores, suportando até 256 hosts. As classes D e E eram destinadas, respectivamente, ao multicast e a aplicações experimentais.

A Figura 2 apresenta a divisão das classes IPv4 e seus respectivos intervalos de endereçamento.

Figura 2 - divisão de classes IPV4



Fonte: FERNANDÉZ 2019 P.121

O modelo de endereçamento classful dividia os endereços IP em classes, definindo diferentes tamanhos de redes por meio da separação entre os campos rede e host. Contudo, esse modelo apresentava limitações, pois muitas organizações recebiam blocos de endereços incompatíveis com suas necessidades, ocasionando desperdício de endereços IPv4.

Esse problema contribuiu para o esgotamento do espaço de endereçamento motivou o desenvolvimento do CIDR (Classless Inter-Domain Routing). O CIDR permitiu uma distribuição mais flexível dos endereços IP por meio do uso de máscaras de sub-rede, adequando a quantidade de endereços às necessidades das redes e reduzindo o tamanho das tabelas globais de roteamento. Atualmente, embora o modelo classful não seja mais utilizado na forma tradicional, ele permanece como importante referência histórica e conceitual no estudo das redes de computadores.

3.2.3 LIMITAÇÕES E ESGOTAMENTO DO IPV4

Apesar de sua importância para a consolidação da Internet, o IPv4 apresenta limitações estruturais decorrentes do crescimento acelerado da rede. Segundo Gonzaga (2022), o protocolo foi desenvolvido em um contexto que não previa a conexão de bilhões de dispositivos. KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. (2013) afirmam que o espaço de 32 bits tornou-se insuficiente, enquanto Tanenbaum e Wetherall (2021) destacam que a distribuição dos endereços também contribuiu para a escassez.

Além disso, o IPv4 mostrou-se limitado em termos de escalabilidade de roteamento diante da expansão da Internet (BENTO et al., s.d.). Conforme Demi Getschko (NIC.br), o esgotamento dos endereços ocorreu em razão do sucesso da própria Internet, tornando-se evidente em 2011, quando a IANA distribuiu os últimos blocos centrais de IPv4 KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. (2013). Diante desse cenário, o IPv6 surge como a principal solução de longo prazo, oferecendo um espaço de endereçamento significativamente maior (TANENBAUM; WETHERALL, 2021).

3.2.4 TÉCNICAS PALIATIVAS DO IPV4

Com o avanço da Internet, o esgotamento dos endereços IPv4 já era esperado, o que levou ao desenvolvimento de medidas paliativas capazes de prolongar sua utilização por vários anos. Segundo Henrique (2013), essas soluções foram responsáveis por manter a Internet operando como IPv4 por aproximadamente 25 anos além do inicialmente previsto.

Entre as principais medidas destaca-se o CIDR (Classless Inter-Domain Routing), criado para tornar a alocação de endereços mais eficiente e flexível. De acordo com KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. (2013), o CIDR substituiu o modelo rígido de classes de endereçamento, permitindo melhor aproveitamento dos blocos disponíveis. Por exemplo, uma rede da antiga classe C, com 256 IPs pode ser dividida, por exemplo, 16 redes com 16 IPs cada, com o uso do CIDR.

Outra técnica importante foi o DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), protocolo responsável pela atribuição automática de endereços IP aos dispositivos da rede. Segundo KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. (2013), essa tecnologia simplificou a administração das redes, enquanto Henrique (2013) destaca que o protocolo também contribuiu para a reutilização temporária de endereços IPv4 pelos provedores de Internet.

Entre todas as medidas paliativas, o NAT (Network Address Translation) foi uma das mais relevantes. Conforme Henrique (2013), essa técnica permitiu que diversos dispositivos compartilhassem um mesmo endereço IPv4 público, contribuindo significativamente para a sobrevivência do protocolo. Contudo, Serra (2023) destaca que o NAT introduziu limitações relacionadas à comunicação fim a fim e ao acesso a determinados serviços.

Com o agravamento da escassez de endereços, surgiu o CGNAT (Carrier Grade Network Address Translation), uma espécie de NAT mais abrangente, que ampliou o compartilhamento de endereços IPv4 públicos entre múltiplos usuários dos provedores de Internet. De acordo com Serra (2023), embora essa técnica tenha aumentado a capacidade de atendimento dos provedores, também trouxe restrições para aplicações que dependem de conectividade direta.

Dessa forma, embora CIDR, DHCP, NAT e CGNAT tenham prolongado significativamente a vida útil do IPv4, tais medidas mostraram-se insuficientes diante do crescimento contínuo da Internet, tornando necessária a adoção do IPv6(HENRIQUE, 2013).

3.3 O PROTOCOLO IPV6

3.3.1 ORIGEM E CONCEITO

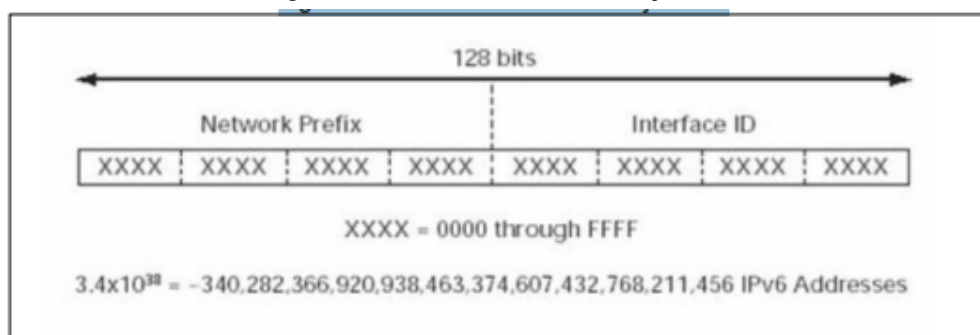
Diante das limitações do IPv4, no início da década de 1990 foi proposta nova versão do protocolo IP denominada IPng (IP Next Generation), posteriormente chamada de IPv6. O novo protocolo foi desenvolvido para superar as deficiências IPv4 e atender às necessidades futuras da Internet (IFSC, s.d.).

Enquanto o IPv4 utiliza endereços de 32 bits, permitindo aproximadamente 4 bilhões de combinações, o IPv6 emprega endereços de 128 bits, disponibilizando cerca de 340 undecilhões de endereços IP. Além da ampliação do espaço de endereçamento, o protocolo introduziu melhorias relacionadas ao roteamento, à segmentação de pacotes, à segurança e ao suporte às novas tecnologias de rede(IFSC, s.d.).

3.3.2 ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DO IPV6

A estrutura do IPv6 é formada por oito grupos de quatro dígitos hexadecimais separados por dois pontos, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 -Formato de um endereço IPV6



Fonte: MESON PI, 2004

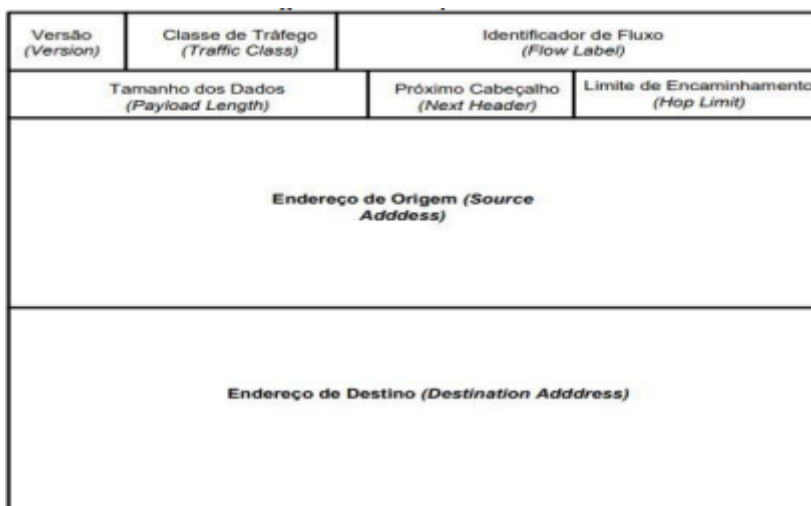
Além da ampliação do espaço de endereçamento, o IPv6 introduziu mudanças significativas em seu cabeçalho, tornando o processamento do pacote mais eficiente e favorecendo a escalabilidade e o roteamento da rede. Seu

cabeçalho foi simplificado em comparação com o IPv4, sendo composto pelos seguintes campos:

- Versão (4 bits): identifica a versão do protocolo utilizada, assumindo valor 6
- Classe de Tráfego (8 bits): define a prioridade e a classe de serviço dos pacotes.
- Identificador de Fluxo (20 bits): permite identificar e priorizar fluxos específicos de comunicação entre aplicações (TARANTO, 2006).
- Tamanho dos Dados (16 bits): informa o tamanho dos dados transportados juntamente com o cabeçalho.
- Próximo Cabeçalho (8 bits): indica o cabeçalho de extensão ou protocolo subsequente.
- Limite de Encaminhamento (8 bits): controla a quantidade máxima de roteadores que o pacote pode atravessar antes de ser descartado(SILVA;CARISSIMI; GRANVILLE, [s.d.]).
- Endereço de Origem (128 bits): identifica o remetente do pacote.
- Endereço de Destino (128 bits): identifica o destinatário do pacote.

A Figura 4 apresenta a estrutura do cabeçalho IPv6.

Figura 4 -Cabeçalho IPV6



Fonte: TARANTO, 2006, p. 25.

A simplificação do cabeçalho IPv6, aliada ao amplo espaço de endereçamento, contribui para maior eficiência no roteamento, melhor escalabilidade da rede e suporte às demandas atuais e futuras da Internet.

3.3.3 TIPOS DE ENDEREÇO IPV6

O endereçamento IP é o mecanismo responsável pela identificação e localização dos dispositivos em uma rede, permitindo a comunicação entre eles.

Esse sistema é fundamental para o funcionamento da Internet (H2IT, 2024). Segundo HENRIQUE ([s.d.]), no protocolo IPv6 existem três tipos de comunicação associados aos endereços: unicast, anycast e multicast.

- Unicast: identifica uma única interface, de modo que os pacotes enviados sejam entregues exclusivamente ao destinatário especificado.
- Anycast: permite que um pacote seja entregue ao membro mais próximo um grupo de interfaces, sendo amplamente utilizado em serviços como DNS.
- Multicast: possibilita a entrega de pacotes a todos os dispositivos pertencentes a um determinado grupo (ALECRIM, 2013).

Diferentemente do IPv4, o IPv6 não utiliza endereços de broadcast. Nessa versão do protocolo, essa funcionalidade é desempenhada por endereços multicast específicos.

Os endereços IPv6 são representados por 128 bits organizados em oito grupos de dígitos hexadecimais separados por dois pontos. Além disso, o protocolo permite regras de abreviação, como a remoção de zeros à esquerda e a substituição de sequências consecutivas de zeros pelo símbolo "::" Henrique (2013)

Existem três tipos de endereços IPv6, cada um com funções específicas:

- Global Unicast: corresponde aos endereços públicos do IPv4, sendo globalmente roteável e acessível em toda a Internet IPv6. Sua Estrutura é composta pelo prefixo de roteamento global, identificador de sub-rede e identificador da interface.
- Link Local: utilizado apenas no enlace ao qual a interface está conectada, empregando o prefixo FE80::/64. Os roteadores não encaminham pacotes com origem e destino em endereços Link Local.

- Unique Local Address (ULA): destinado a comunicações internas não roteáveis na Internet global. Utiliza o prefixo FC00::/7 e possui características semelhantes aos endereços privados do IPv4.

3.3.4 MECANISMOS DE TRANSIÇÃO

A transição do IPv4 para o IPv6 não ocorreu de forma imediata, tornando necessária a criação de mecanismos que permitissem a coexistência da comunicação entre as duas versões do protocolo. Nesse contexto, foram desenvolvidas técnicas capazes de garantir a interoperabilidade entre redes IPv4 e IPv6 durante o processo de migração.

A técnica de Pilha Dupla (Dual Stack) consiste na implementação simultânea dos protocolos IPv4 e IPv6 em hosts e roteadores. Conforme a RFC 4213(2005),essa abordagem permite que os dispositivos utilizem ambos os protocolos,selecionando automaticamente a versão mais adequada para cada comunicação.Segundo KUROSE, J, F.; ROSS, K. W. (2013), os nós que utilizam Pilha Dupla devem possuir endereços IPv4 e IPv6 e serem capazes de identificar qual protocolo é suportado pelo destino.

Outra técnica amplamente utilizada é o Tunelamento, que permite transportar pacotes de uma versão do protocolo através de infraestruturas que utilizam outra versão. Segundo Nordmark e Gilligan (2005), esse mecanismo realiza encapsulamento dos pacotes para possibilitar sua transmissão entre redes incompatíveis. Souza (2018) destaca que essa técnica se caracteriza pela simplicidade de implementação e pela eficácia em soluções de curto prazo. Entre os principais métodos de tunelamento destacam-se o 6in4, GRE, Tunnel Broker, Teredo e ISATAP.

Além disso, foram desenvolvidas técnicas de tradução, responsáveis por permitir a comunicação direta entre dispositivos que utilizam versões diferentes do protocolo IP. De acordo com o NIC.br (s.d.), destacam-se o NAT444, amplamente utilizado pelos provedores de Internet para otimizar o uso dos endereços IPv4, e o NAT64, que permite que dispositivos IPv6 acessem recursos disponíveis apenas IPv4.

3.4 BARREIRAS TÉCNICAS PARA A ADOÇÃO DO IPV6

De acordo com Henrique (2013), a transição completa para o IPv6 será um processo gradual e demorado devido à ampla disseminação do IPv4. Embora o IPv6 tenha sido desenvolvido para superar as limitações da versão anterior, fatores como a incompatibilidade entre os protocolos, a necessidade de coexistência durante migração, a atualização de infraestruturas legadas, a complexidade operacional e escassez de profissionais capacitados contribuem para a lentidão desse processo.

3.4.1 INCOMPATIBILIDADE ENTRE IPV4 E IPV6

Segundo Henrique (2013), “o IPv6 tem muitas diferenças em relação aos antecessor IPv4, que vão desde seu cabeçalho até seu modo de operação”, tornando os dois protocolos incompatíveis entre si.

Uma das principais mudanças foi a ampliação do espaço de endereçamento de 32 para 128 bits. De acordo com FERNANDEZ (2019), essa alteração possibilitou suporte a um número muito maior de endereços e novas funcionalidades, como auto configuração de dispositivos. Contudo, Tanenbaum e Wetherall (2021) destacam que o IPv6 não é compatível com o IPv4, embora mantenha compatibilidade com protocolos como TCP, UDP, ICMP, OSPF, BGP e DNS.

Assim, dispositivos e aplicações desenvolvidos exclusivamente para IPv4 não conseguem processar pacotes IPv6 de forma nativa. Conforme KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. (2013), “os sistemas habilitados para IPv4 não podem manusear datagramas IPv6”. Por isso, Henrique (2013) afirma que serão necessários mecanismos de interoperabilidade enquanto coexistirem redes IPv4 e IPv6.

3.4.2 NECESSIDADE DE COEXISTÊNCIA DURANTE A TRANSIÇÃO

A incompatibilidade entre IPv4 e IPv6 impede a substituição imediata do protocolo antigo, tornando necessária a coexistência entre ambos durante a transição. Como a Internet é formada por redes administradas de forma descentralizada, a adoção simultânea do IPv6 torna-se inviável, além de muitas infraestruturas ainda não oferecerem suporte completo ao novo protocolo (ZUCUNI, s.d.).

Para garantir a interoperabilidade, foram desenvolvidos mecanismos de transição que permitem uma migração gradual e incremental. Segundo Henrique(2013), essas técnicas podem ser classificadas nas três categorias principais mencionadas anteriormente: pilha dupla, tunelamento e tradução. Entretanto, não existe uma solução única, pois a escolha do mecanismo depende das características de cada ambiente (HENRIQUE, 2013).

Além disso, a coexistência entre IPv4 e IPv6 amplia a complexidade administração, manutenção e segurança das redes, podendo gerar vulnerabilidades e inconsistências entre domínios de rede (SILVA, 2025). Nesse sentido, Bento Et al.(s.d.) ressalta que a transição exige estratégias adicionais para mitigação de riscos. Assim, embora indispensável para a continuidade da Internet, a coexistência dos protocolos representa um importante desafio técnico e operacional.

3.4.3 ATUALIZAÇÃO DA INFRAESTRUTURA

A adoção do IPv6 exige mais do que a simples substituição do protocolo de endereçamento, demandando adequações na infraestrutura de rede, uma vez que muitos equipamentos e aplicações foram desenvolvidos originalmente para operar em ambientes IPv4.

Nesse contexto, NUCCI (2011) destaca que não existe um modelo ideal de transição, sendo necessário um planejamento que contemple a capacitação dos profissionais envolvidos, a análise dos impactos, custos e a avaliação dos equipamentos e softwares legados.

Contribuindo para essa perspectiva, Bento et al. (s.d.) afirmam que, embora IPv6 ofereça benefícios como maior escalabilidade, suporte nativo IPSec eliminação da necessidade do NAT, sua adoção é dificultada pela necessidade de atualização de dispositivos legados e pela falta de padronização entre fabricantes.

De acordo com Gonzaga (2022), a utilização de mecanismos de transição, como o Túnel Teredo, evidencia que muitas infraestruturas atuais ainda possuem suporte completo ao IPv6, exigindo soluções intermediárias durante o processo de migração.

Além disso, Knaip (2022) ressalta que a atribuição de endereços públicos para cada dispositivo, característica do IPv6, pode demandar adaptações na arquitetura das redes e maior investimento em gerenciamento e segurança. Da mesma forma, Henrique (2013) destaca que recursos como o IPSec podem exigir atualização ou substituição de equipamentos sem suporte adequado.

Para reduzir os impactos da migração, muitas organizações adotam gateways e proxies como soluções intermediárias. Entretanto, segundo Bento et al. (s.d.), em redes de grande porte essas soluções exigem monitoramento constante e, muitas vezes, investimentos em equipamentos com maior capacidade de processamento.

3.4.4 ESCASSEZ DE PROFISSIONAIS ESPECIALIZADOS

Além dos desafios técnicos relacionados à migração para o IPv6, a escassez de profissionais capacitados constitui outro fator que contribui para a lenta adoção deste protocolo. Segundo Henrique (2013), existe uma grande carência de especialistas aptos a lidar com o IPv6. De forma semelhante, Muniz et al. (2017) afirmam que, apesar de suas vantagens, a adoção do protocolo é dificultada pela complexidade dos mecanismos de transição e pela falta de profissionais qualificados para sua implementação e operação.

Essa situação é agravada pela diversidade de técnicas de transição, cuja escolha depende das características de cada ambiente, exigindo conhecimento técnico especializado (Henrique, 2013). Por isso, NUCCI (2011) destaca que a capacitação dos profissionais deve constituir uma das primeiras etapas do planejamento de migração.

Além disso, Henrique (2013) aponta que a familiaridade dos profissionais com IPv4 pode gerar resistência à adoção do novo protocolo. Assim, a escassez de especialistas, associada aos custos de atualização tecnológica, representa uma importante barreira para a implementação do IPv6 e prolonga a dependência IPv4.

3.4.5 BARREIRAS ECONÔMICAS À ADOÇÃO DO IPV6

Além das limitações técnicas, fatores econômicos também influenciam a adoção gradual do IPv6. Conforme Henrique (2013), a utilização de mecanismos

paliativos, como NAT e CGNAT, permitiu prolongar significativamente a vida útil do IPv4, reduzindo a necessidade imediata de migração para o novo protocolo. Embora essas soluções tenham sido fundamentais para contornar a escassez de endereços IPv4, elas também contribuíram para a permanência do protocolo em operação por um período maior do que inicialmente previsto.

Sob essa perspectiva, observa-se que muitas organizações passaram a priorizar a continuidade da infraestrutura baseada em IPv4, adiando investimentos relacionados à atualização de equipamentos, adaptação de sistemas e capacitação técnica necessária para implantação do IPv6. Conforme Nucci (2011), a migração exige planejamento, avaliação de custos e preparação da infraestrutura, fatores que tornam esse processo financeiramente significativo para diversas organizações.

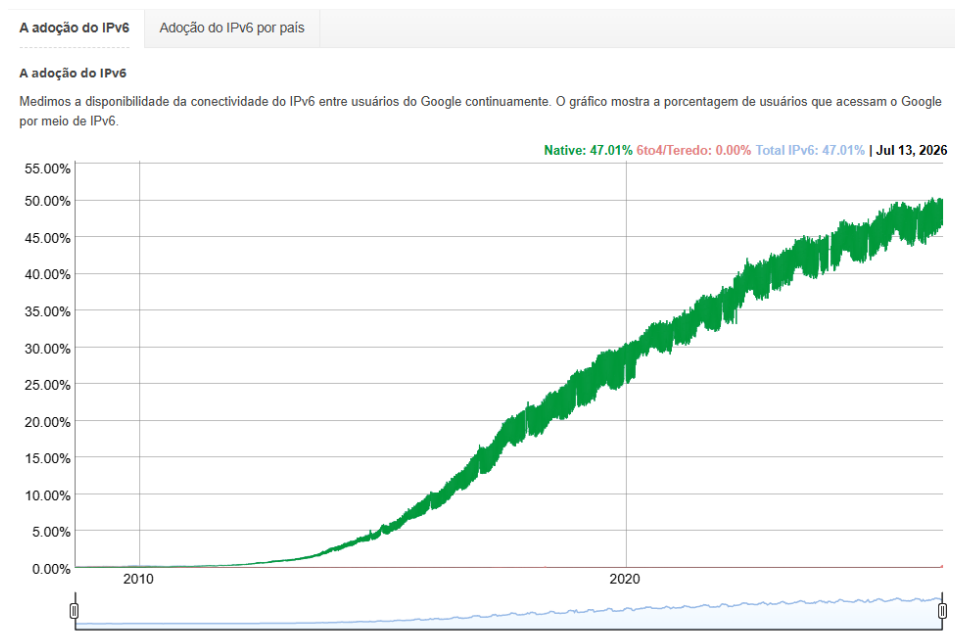
Dessa forma, verifica-se que a adoção de soluções como o CGNAT, embora tecnicamente eficientes para prolongar a utilização do IPv4, também reduz a pressão imediata pela implementação do IPv6. Como consequência, decisões relacionadas à migração deixam de envolver apenas aspectos tecnológicos e passam a considerar fatores econômicos, como custos de modernização da infraestrutura, disponibilidade de recursos financeiros e prioridades de investimento.

3.5 A INÉRCIA DA TRANSIÇÃO

Embora o IPv6 tenha sido desenvolvido para superar as limitações do IPv4, especialmente a escassez de endereços IP, sua adoção ocorreu de forma gradual, fenômeno conhecido como inércia da transição. Segundo Henrique (2013), a ampla disseminação do IPv4 criou uma zona de conforto no mercado, associada à escassez de profissionais qualificados e aos custos de atualização da infraestrutura.

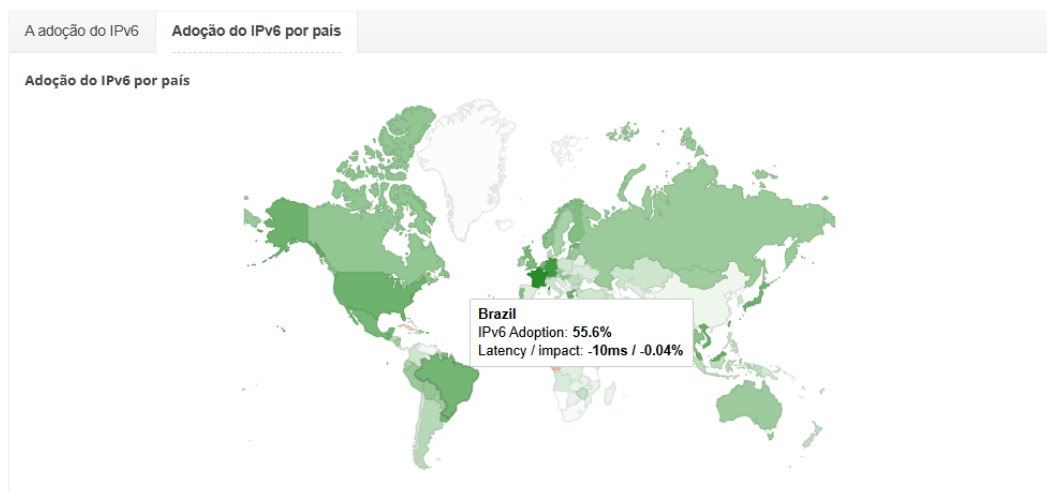
Além disso, soluções como CIDR, DHCP, NAT e CGNAT prolongaram a vida útil do IPv4, reduzindo a urgência da migração, embora já não sejam suficientes para atender ao crescimento contínuo da Internet (Henrique, 2013). Conforme NUCCI (2011), a implantação do IPv6 exige capacitação técnica, planejamento e avaliação de custos. De forma semelhante, Bento et al. (s.d.) destaca que a atualização de dispositivos legados e a interoperabilidade com ambientes IPv4 representam desafios adicionais.

Figura 5-Evolução da adoção mundial do protocolo IPv6 entre usuários dos serviços Google



Fonte: Google (2026)

Figura 6 – Percentual de adoção do protocolo IPv6 por país



Fonte: Google (2026)

Os dados disponibilizados pelo Google (2026) reforçam esse cenário ao demonstrar que, embora a adoção do IPv6 tenha apresentado crescimento contínuo nos últimos anos, ela ainda ocorre de forma gradual. Em julho de 2026, aproximadamente **47%** dos acessos globais aos serviços da empresa eram realizados por meio do IPv6, enquanto no Brasil esse percentual alcançava cerca de **55%**. Considerando que o esgotamento dos blocos centrais de endereços IPv4 ocorreu em 2011, esses índices evidenciam que, mesmo após mais de uma década, a migração para o IPv6 ainda está distante de sua adoção plena. Esses resultados corroboram as observações de Henrique (2013), ao indicar que mecanismos como CIDR, NAT e CGNAT prolongaram significativamente a utilização do IPv4, “reduzindo a urgência da migração e contribuindo para a manutenção da coexistência entre os dois protocolos.” (ZUCUNI, s.d.).

A intensidade da inércia da transição, entretanto, varia conforme a realidade de cada organização. Segundo Henrique (2013), ambientes que dependem de sistemas legados, possuem infraestrutura consolidada em IPv4 e enfrentam limitações quanto à capacitação técnica tendem a postergar a adoção do IPv6, enquanto organizações em processo de modernização apresentam condições mais favoráveis para sua implantação.

Nesse contexto, Nucci (2011) destaca que a migração exige planejamento, avaliação de custos e capacitação técnica. De forma semelhante, Bento et al. (s.d.) ressaltam que a atualização de dispositivos legados e a interoperabilidade entre IPv4 e IPv6 tornam esse processo gradual. Assim, conclui-se que a inércia da transição resulta da interação entre fatores técnicos, operacionais e econômicos, e não de limitações do protocolo IPv6.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS OU CONCLUSÃO

A transição do protocolo IPv4 para o IPv6 representa uma etapa fundamental para a continuidade do crescimento e desenvolvimento da Internet, principalmente devido ao esgotamento dos endereços IPv4 disponíveis. Embora o IPv6 tenha sido desenvolvido para solucionar as limitações do protocolo anterior e oferecer melhorias em aspectos como escalabilidade, roteamento e configuração de rede, sua adoção ocorre de forma gradual e mais lenta do que o esperado.

Por meio desta pesquisa, foi possível compreender que a incompatibilidade entre os protocolos IPv4 e IPv6 é um dos principais fatores que dificultam a migração completa para o novo protocolo. Em razão disso, tornou-se necessária a utilização de mecanismos de transição, como Pilha Dupla (Dual Stack), Tunelamento NAT64, que permitem a coexistência entre os dois protocolos durante o processo de migração.

Além dos desafios técnicos, foram identificados fatores econômicos operacionais que contribuem para a chamada inércia da transição IPv4-IPv6. Entre eles destacam-se os custos de atualização da infraestrutura de rede, a necessidade de capacitação profissional, a manutenção de sistemas legados e a ausência de incentivos imediatos para a substituição completa do IPv4 em muitas organizações.

A análise da literatura permitiu verificar que essas barreiras não atuam de forma isolada, mas de maneira interdependente. Dentre elas, destaca-se a necessidade de coexistência entre IPv4 e IPv6 como o fator de maior influência na lentidão da migração, pois ela exige a utilização de mecanismos de transição, aumenta a complexidade operacional das redes e potencializa desafios relacionados à atualização da infraestrutura e à qualificação dos profissionais. Dessa forma, conclui-se que a inércia da transição decorre da interação entre fatores técnicos, operacionais e econômicos, e não de limitações inerentes ao protocolo IPv6.

Dessa forma, conclui-se que a adoção do IPv6 é indispensável para garantir a expansão sustentável da Internet e atender às demandas crescentes de conectividade. Entretanto, o processo de migração ainda depende de investimentos, planejamento e conscientização por parte das organizações e provedores de serviços. Assim, a coexistência entre IPv4 e IPv6 continuará sendo necessária por um período significativo, até que o IPv6 alcance níveis mais elevados de implementação e utilização em escala global.

REFERÊNCIAS

ALVES, Alexandre. IPv4 e IPv6. Disponível em:

<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37081060/ArtigoIP-libre.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2026.

BERNARDO, Felipe Estellita Lins .A Evolução da Internet: uma perspectiva histórica .**Cadernos ASLEGIS** 2013.Disponível em :

https://drive.google.com/drive/folders/11wnk_o4GFr62L8RDhCUe5oS_efNY6gw3
Acesso em: 22 mai. 2026.

BENTO, A. K.; KIM, B. Y. J.; CABRAL, G. M.; SILVA, R. C. Desafios do uso de IPv6 em dispositivos IoT. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, [s.d.]. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/items/411fd31e-0bc8-4513-89a7-6bcb0c7e250c>. Acesso em: 22 mar. 2026.

CENTRO UNIVERSITÁRIO AMPARO (UNIFIA). Estudo sobre IPv6. 2018. **Gestão em Foco**, Disponível em:

https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/055_estudo8.pdf. Acesso em: 13 mai 2026.

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. Transição para IPv6. São Paulo: NIC.br, 2012. Disponível em: <https://www.ipv6.br/post/transicao/>. Acesso em: 27 mar.2026.

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS (CBPF). Sobre o IPv6. Disponível em: https://mesonpiold.cbpf.br/ipv6/textos/sobre_%20ipv6/4.html. Acesso em 22 mai 2026

CONSTANTINO, R.R. Rede mundial de computadores: transmissões e protocolos. 2022. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Anhanguera, Jundiaí, 2022. Disponível em:

https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/53729/1/ROBSON_CONSANTINO_ROSA.pdf. Acesso em: 22 mar. 2026.

FERNANDÉZ, M. P. **Rede de computadores**. 2. ed. Fortaleza: Eduece, 2019.

194p.GONZAGA, G. E. D. M. IPv4 e sua transição para o IPv6. 2022. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) – Anhanguera Educacional Participações S/A, São José dos Campos, 2022. Disponível em:<https://repositorio.pgsscogna.com.br/handle/123456789/51143> . Acesso em: 18 mar. 2026.

GUILHERME, Alexandre . Protocolos de comunicação na rede.2022. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Anhanguera, Ribeirão Preto, 2022. Disponível em:

https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/Krot_26960e8b8146944a84a3e6c9ac32ac85. Acesso em: Acesso em: 18 mar. 2026.

HENRIQUE, Samuel Brito Bucke. IPv6: o novo protocolo da Internet. 2013. Disponível em: [https://www.kufunda.net/publicdocs/IPv6%20-%20O%20Novo%20Protocolo%20da%20Internet%20\(Samuel%20Henrique%20Bucke%20Brito%20\[Brito%20 etc.\].pdf](https://www.kufunda.net/publicdocs/IPv6%20-%20O%20Novo%20Protocolo%20da%20Internet%20(Samuel%20Henrique%20Bucke%20Brito%20[Brito%20 etc.].pdf). Acesso em: 22 mai. 2026.

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE. RFC 4213: Basic Transition Mechanisms For IPv6 Hosts and Routers. [S.l.]: IETF, 2005. Disponível em: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc4213/>. Acesso em: 11 mai. 2026.

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE - IETF. RFC 791: Internet Protocol. DARPA Internet Program Protocol Specification. 1981. Disponível em: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc791.txt>. Acesso em: 25 mar. 2026.

KNAIP . D. C. N. Estratégias para a adesão ao protocolo ipv6 .2022 ,32 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Ciências da Computação)-Faculdade Pitágoras.Guarapari ,2022 , Disponível em : https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/51201/1/Daniel_Knaip_Caldas_Nascimento_Defesa.pdf Acesso em: 25 mar. 2026.

KUROSE, J, F.; ROSS, K. W. **Redes de computadores e a internet**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2013. 658 p

. MUNIZ, A. H. A.; FOREST, F. ; CECÍLIA, G. A.; SILVA, G.I de P. ; PONTES, L. G. R.de ; MUNIZ, M. S. de A. ; CRUZ, R. A. ; SABINO, E. Estudo de caso transição do

NUCCI, A. S. de. Redes IPv6 e estratégias de implementação. 2011 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Telecomunicações) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/items/63f0e2b1-6fee-42d9-b0ae-334952672b28>. Acesso em: 22 mar. 2026.

NORDMARK, Erik; GILLIGAN, Robert. Basic Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers (RFC 4213). 2005. Disponível em: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc4213/>. Acesso em: 22 mai. 2026.
SILVA, Nelton. IPv6: O futuro da Internet. Disponível em: <https://www.unibalsas.edu.br/wp-content/uploads/2017/01/Artigo-Nelton.pdf>. Acesso em: 23 mai 2026

Protocolo IPv4 para IPv6. Revista **Gestão em Foco**, n. 9, p. 529-541, 2017. Disponível em: https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/055_estudo8.pdf. Acesso em: 22 mar. 2026.

QUEIROZ, L. M. de O. Telecomunicações e redes de computadores: as vantagens da implementação do protocolo do IPv6 nas redes de internet. 2021. 29 f. Trabalho De Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) – União Metropolitana de Educação e Cultura (UNIME), Lauro de Freitas, 2021. Disponível

em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/handle/123456789/41063>. Acesso Em: 25 mar. 2026.

SILVA, J. C. Segurança em redes 5G com IPv6: uma revisão sistemática da literatura. 2025. 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Redes de Computadores) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Quixadá, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/82627>. Acesso Em: 22 mar.2026.

TANENBAUM, A ; FEAMSTER, N; WETHERALL, D. **Redes de computadores**. 6. ed.Porto Alegre: Pearson, 2021. 1.153 p.

TARANTO, Luiz Bruno. IPv6: estudo sobre a implantação do protocolo. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/3304/4/LBTaranto.pdf>. Acesso em: 15 jun 2026

NIC.br. COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. Transição para IPv6 no Brasil e o seu impacto nos ISPs e empresas. São Paulo: NIC.br, 2025. Disponível em: <https://nic.br/noticia/na-midia/transicao-para-ipv6-no-brasil-e-o-seu-impacto-nosisps-e-empresas/>. Acesso em: 04 mai. 2026.

ZACUNI, F. Martini.; BOGO, M. Análise e proposta de implantação de um ambiente de rede utilizando o protocolo IPv6. In: ENCONTRO DE ESTUDANTES DE INFORMÁTICA DO TOCANTINS, 5., Palmas, 2003. Anais [...]. Palmas, 2003. Disponível em: <https://ulbra-to.br/encoinfo/wp-content/uploads/2020/03/ipv6-encoinfo2003.pdf>.