

# Internet Disponível para Todos: Desafios do Acesso Ubíquo

Anelise Munaretto<sup>1</sup>, Carlos Kamienski<sup>2</sup>, Eduardo Cerqueira<sup>3</sup>,  
Leobino Sampaio<sup>4</sup>, Miguel Elias M. Campista<sup>5</sup> e Rossana M. C. Andrade<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

<sup>2</sup> Universidade Federado do ABC (UFABC)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Pará (UFPA)

<sup>4</sup> Universidade Federal da Bahia (UFBA)

<sup>5</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

<sup>6</sup> Universidade Federal do Ceará (UFC)

anelise@utfpr.edu.br, carlos.kamienski@ufabc.edu.br, cerqueira@ufpa.br  
leobino@ufba.br, miguel@gta.ufrj.br, rossana@ufc.br

**Abstract.** *This paper provides a historical overview of the Internet's evolution, highlighting its multifaceted role in computing and society. It examines the primary barriers to achieving true ubiquity and highlights the substantial technological and societal challenges that lie ahead. Realizing the Internet's potential as an equitable and inclusive infrastructure demands addressing not only issues like scalability, interoperability, and resilience but also critical concerns such as sustainability, privacy, and the ethical implications of the widespread adoption of artificial intelligence.*

**Resumo.** *Este artigo oferece uma visão histórica da evolução da Internet, enfatizando sua função transversal na computação e na sociedade. Ele explora as principais barreiras para alcançar a verdadeira ubiquidade e descreve os importantes desafios tecnológicos e sociais que estão por vir. Concretizar o potencial da Internet como uma infraestrutura equitativa e inclusiva exige a abordagem não apenas de questões como escalabilidade, interoperabilidade e resiliência, mas também de preocupações essenciais como sustentabilidade, privacidade e as implicações éticas da adoção generalizada da inteligência artificial.*

## 1. Um Breve Histórico da Internet

Criada em 1969 por acadêmicos como uma rede experimental, a Internet sempre teve a flexibilidade como característica central [Leiner et al. 2009]. Ao longo de sua história, a Internet passou por importantes evoluções, como a introdução da pilha TCP/IP após 15 anos de criação, e da Web, que somente surgiu na década de 1990. Hoje, após 55 anos de funcionamento, a rede ainda se adapta a novas tecnologias e serviços avançados.

Desde que a Internet se estabeleceu como uma rede de escala mundial no início dos anos 2000, muitas transformações impactaram o seu nível de popularidade, dentre as quais destacam-se os avanços nos meios de comunicação, na pluralidade de participantes e dispositivos e nas necessidades por serviços digitais inteligentes. Em relação ao acesso, é possível destacar algumas tecnologias de maior prevalência e impacto, como é o caso das redes sem fio (e.g., Wi-Fi e redes móveis 4G/5G), que oferecem suporte ao surgimento de

equipamentos como *laptops*, *tablets*, *smartphones*, *smartwatches* e, mais recentemente, os *smartwatches* que possuem a mobilidade como destaque.

Além do acesso, a Internet vivencia mudanças na geração de conteúdos, sendo mais e mais centrada nos próprios usuários, que nos últimos anos se tornaram produtores multimídia. A distribuição da geração de conteúdo é também promovida pela maior facilidade de acesso à rede, já que permite que qualquer usuário assuma o papel de produtor, caso disponha de um dispositivo interconectado. Os dispositivos também merecem destaque na transformação da Internet, já que a redução de custos ocorreu em proporção inversa ao poder computacional. Por exemplo, os *smartphones*, de uso pessoal, possuem poder de processamento e armazenamento ordens de grandeza superiores àquele existente nos servidores dos primórdios da Internet. Tal poder distribuído culmina em dispositivos (ou coisas) conectados que monitoram o ambiente e atuam em sistemas ciberfísicos, gerando grandes massas de dados.

Por fim, o surgimento de serviços baseados em inteligência artificial é uma tendência, determinando preferências e expondo os usuários a conteúdos customizados. O impacto dessa transformação ainda não está totalmente compreendido, mas se ramifica nos vários aspectos da vida em sociedade, como nas compras, uso de serviços, trabalho, lazer e interações sociais. A digitalização social, ressaltada mais recentemente pela pandemia da COVID-19, impulsionou o processo de transformação digital, já que evidenciou a necessidade de serviços mediados por tecnologia. Os impactos dessa transformação são positivos, podendo oferecer simplicidade, agilidade e comodidade, mas também impõem consequências desafiadoras, como o isolamento social, alienação, desemprego, e invasão de privacidade, que devem ser combatidas.

## 2. Os Desafios da Internet Atual e as Perspectivas Futuras

Uma das realizações mais notáveis da Internet não é necessariamente o que ela é capaz de oferecer hoje, mas o fato de ter assumido as dimensões atuais, comparada aos seus princípios que também não são imutáveis:

*“O princípio da mudança constante talvez seja o único princípio da Internet que deveria sobreviver indefinidamente.” [Carpenter 1996]*

A popularização da Internet está entre as grandes transformações possibilitadas pelo princípio da mudança constante e a sua simplicidade permite que grandes transformações se acomodem naturalmente em sua estrutura. Já o aumento do poder computacional, das taxas de transmissão e da inteligência aplicada aos serviços elevam o patamar de popularização da Internet. Nesse contexto, é essencial ter uma Internet ubíqua<sup>1</sup> que fornece serviços computacionais integrados e contínuos em todos os lugares, por meio da interconexão de uma vasta gama de dispositivos através de ecossistemas de redes de comunicação.

Entretanto, no Brasil, nem o acesso da maioria da população à Internet é uma realidade. Por exemplo, em 2023, apenas 84% dos domicílios brasileiros tinha acesso à Internet, como mostram as estatísticas do CGI.br. Embora esse número seja maior que os obtidos na mesma pesquisa em 2022, que foram de 80%, os desafios de alcançar a Internet plenamente ubíqua ainda persistem [Cetic.br 2023]. A presença de computadores nos

---

<sup>1</sup>O termo ubíqua surgiu na Computação com o artigo do Mark Weiser [Weiser 1999].

domicílios brasileiros revela desigualdade socioeconômica, sendo esse um dos entraves para o acesso à Internet. Computadores são encontrados em 10% dos domicílios das classes D e E, enquanto na classe A essa porcentagem é de até 97%. Portanto, além dos avanços tecnológicos, o maior desafio é tornar a Internet ubíqua e igualmente acessível para todos. A seguir listamos os principais desafios e perspectivas futuras da Internet Ubíqua, tanto sob o ponto de vista técnico quanto social.

**Infraestrutura e conectividade:** Um dos principais desafios para a Internet móvel e ubíqua é garantir conectividade confiável e rápida em diferentes localidades. Dessa forma, é importante assegurar o acesso global e de qualidade à Internet, inclusive em áreas florestais e subdesenvolvidas, através de redes móveis de novas gerações, comunitárias ou mesmo satelitais. A preocupação com a cobertura tem sido perseguida através da concessão de espectros de frequência, como forma de contrapartida das concessionárias. No entanto, a construção da infraestrutura necessária para assegurar a conectividade tem custo elevado de implementação e operação. Então, investir em novas soluções para baratear o custo de implantação e operação da Internet ubíqua é importante para a universalização do acesso. As perspectivas em pesquisa visam alocar e gerenciar o espectro de frequências de forma a aumentar o número de dispositivos conectados e serviços disponíveis.

**Escalabilidade e interoperabilidade:** Com a crescente demanda de dispositivos IoT (*Internet of Things*), há um aumento massivo no tráfego de rede e nas interconexões de dispositivos. Dessa forma, é importante manter a compatibilidade de dispositivos heterogêneos tanto em relação aos diferentes fabricantes quanto aos recursos computacionais e interfaces de comunicação. O aumento no número de dispositivos leva à necessidade de escalabilidade em rede para que se possa acomodar bilhões desses dispositivos com baixa latência e alta disponibilidade, sobretudo em cenários de mobilidade. Além disso, a rede de comunicação deve assegurar a transferência das grandes quantidades de dados gerados, muitas vezes em tempo real, minimizando congestionamentos e consumo de energia. Novas formas de endereçamento, inclusive baseado em nomes, vem sendo exploradas como alternativas ao atual baseado na transição IPv4/IPv6. Como perspectiva futura está a softwarização das redes acesso de rádio através de interfaces abertas que permitem a programação do plano de controle.

**Eficiência energética e sustentabilidade:** A sociedade digital precisa de comunicação ubíqua, sustentável e energeticamente eficiente. Dessa forma, os procedimentos de transferência de dados devem ser energeticamente eficientes. Uma alternativa é trazer a computação mais próxima dos usuários através de estratégias de computação em borda. Além disso, os dispositivos devem ser mais resistentes e devem manter a disponibilidade mesmo que técnicas de economia de energia sejam aplicadas, como por exemplo, através da redução do ciclo de trabalho. Uma outra forma é através de estratégias inteligentes que podem aplicar comunicação semântica para identificar apenas aquilo que é importante para transferência, processamento e armazenamento.

**Segurança, privacidade e neutralidade:** A Internet ubíqua deve garantir a segurança e a privacidade dos dados e serviços, bem como a neutralidade da rede. Para isso, os dados gerados por dispositivos e sistemas devem ser protegidos, já que podem conter informações sensíveis de cunho pessoal, como os de saúde e localização; ou estratégicos, como os segredos indústrias. É importante o desenvolvimento de protocolos e sistemas

que tenham a segurança como um pilar nativo e assim possam detectar, mitigar e responder ameaças em tempo real e com alta acurácia. No contexto da IoT, torna-se ainda mais desafiador a criação de modelos mais escaláveis de *bootstrapping* de segurança em dispositivos remotos, como forma de garantir a identidade e legitimidade dos usuários. Uma forma de combater os ataques cibernéticos e torná-los menos atraentes economicamente é através de leis que de fato punam o mau uso da Internet ou a falta de neutralidade no tráfego de dados. O desafio da ubiquidade é proporcionar maior acesso e ao mesmo tempo garantir maior segurança e a equidade de oportunidades.

**Padronização, regulamentação e governança:** A geração distribuída de dados por uma quantidade massiva de dispositivos e serviços exige uma maior regulamentação e padronização da Internet de forma a garantir conectividade, interoperabilidade e qualidade das aplicações. É essencial criar e definir padrões globais para protocolos de comunicação, sintaxe e semântica de dados, interfaces abertas e seguras para que diferentes plataformas e arquiteturas interajam. Além disso, governos e órgãos reguladores devem estabelecer leis que abordem o uso ético da IA na Internet e cuja governança inclua leis relacionadas ao combate à desinformação.

**Preocupações éticas e sociais:** À medida que a Internet ubíqua se torna mais integrada à vida cotidiana, os desafios éticos e sociais se tornam mais proeminentes. Dessa forma, a ubiquidade pode levar à vigilância em massa, levantando preocupações sobre privacidade, ética digital e liberdades individuais. A Internet inteligente oferece novos serviços digitais em diferentes verticais da sociedade, o que pode gerar a substituição de empregos destinados a humanos por máquinas e sistemas inteligentes. Então, a discussão sobre o papel do humano na sociedade digital e a promoção do emprego e da manutenção da qualidade de vida é essencial. A expansão da Internet ubíqua deve evitar a exclusão e o aletramento digital.

**Resiliência e tolerância a falhas:** A complexidade e a importância dos serviços e operações da Internet exigem que a rede continue operando mesmo em situações de falhas ou interrupções. Dessa forma, a Internet deve garantir que o ecossistema ubíquo continue a funcionar mesmo se alguns componentes falharem, particularmente em verticais críticas como saúde, indústria e direção autônoma. De maneira adicional, a redução das interações entre usuários e máquinas deve ser minimizada para que o uso da Internet se torne mais trivial e adaptativo. O desafio então está em desenvolver estratégias para recuperação de falhas na Internet causadas por diferentes fontes, inclusive falhas de equipamentos ou ataques cibernéticos, ou mau uso por parte dos usuários.

**Ambientes de ensino, formação e experimentação:** Um dos grandes desafios do Brasil é assegurar o desenvolvimento de ambientes de teste e experimentação em larga escala para fomentar o desenvolvimento de protocolos, serviços e aplicações para a Internet de forma aberta e com alto impacto. As mudanças rápidas nas tecnologias, serviços, aplicações e protocolos inteligentes na Internet obriga a adequação ou criação de novas disciplinas ou metodologias de ensino em nível técnico, superior e pós-graduação. O uso de laboratórios virtuais pode eliminar barreiras, oferecendo uma experiência de aprendizado prática e mais inclusiva.

### 3. Comentários Finais

Uma Internet disponível para todos apresenta desafios em dimensões sociais, tecnológicas, científicas, econômicas, éticas e operacionais. Superar esses desafios exige avanços em tecnologias de conectividade e também em outras transversais como a inteligência artificial, a computação, a cibersegurança e a eficiência energética. A colaboração entre indústrias, governos, academia e sociedade é essencial para definição de requisitos de acesso que promovam a ubiquidade com equidade de oportunidades na Internet. Além disso, uma discussão urgente que resulte em estratégias de ensino, qualificação e conscientização de uso deve estar presente para que a Internet seja um motor do saber e não o oposto.

### 4. Autores

**Anelise Munaretto** é professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Foi pesquisadora visitante no INRIA-Saclay França e membro da CE-ReSD da SBC. Anelise é diretora executiva do LARC e membro do CADM da RNP. Seus principais interesses de pesquisa são Internet das Coisas e Cidades Inteligentes.

**Carlos Kamienski** é professor de Ciência da Computação na Universidade Federal do ABC (UFABC). Foi pesquisador visitante no IoT-Prism Lab da Universidade de Bolonha entre 2023 e 2024. Seus interesses de pesquisa atuais incluem a Internet das Coisas, agricultura inteligente, cidades inteligentes, computação em névoa, softwarização de rede e Internet do Futuro.

**Eduardo Cerqueira**, CNPq 1-C, é professor da Universidade Federal do Pará (UFPA), possui 4 patentes com registro internacional e mais de 280 artigos em conferências e periódicos nacionais e internacionais. Seus interesses de pesquisa atuais incluem a Internet das Coisas, aprendizado de máquina aplicado, Realidade Estendida e Internet ubíqua.

**Leobino N. Sampaio** é professor da Universidade Federal da Bahia (UFBA), PQ-2 do CNPq. Foi pesquisador visitante no IRL (*Internet Research Lab*) da Universidade da Califórnia em Los Angeles (UCLA). Atualmente é vice-diretor técnico-científico do LARC. As suas pesquisas atuais estão voltadas para Redes de computadores e Cibersegurança.

**Miguel Elias M. Campista** é professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), PQ-2 do CNPq, CNE da FAPERJ e membro sênior do IEEE. Miguel é ainda editor do periódico *Annals of Telecommunications* e diretor técnico-científico do LARC. Ele foi por duas vezes consecutivas JCNE da FAPERJ, membro afiliado da ABC, coordenador da CE-ReSD da SBC e membro do CADM da RNP. Suas áreas de atuação são redes de computadores, ciência de dados, cibersegurança e aprendizado de máquina aplicado.

**Rossana M. C. Andrade** é professora da Universidade Federal do Ceará, Departamento de Computação, DT 1D, Cientista chefe da FUNCAP e membro sênior da SBC, IEEE e ACM. Foi da diretoria do LARC e, atualmente, é coordenadora da CE-ReSD da SBC. As suas pesquisas atuais estão voltadas para Internet das Coisas e Computação Ubíqua.

### Referências

Carpenter, B. E. (1996). *Architectural Principles of the Internet*. RFC 1958. Acessado em <https://www.rfc-editor.org/info/rfc1958>.

- Cetic.br (2023). Pesquisa sobre o Uso das Tecnologias de Informação e Comunicação nos Domicílios Brasileiros. TIC Domicílios. Acessado em [https://www.cgi.br/media/docs/publicacoes/2/20240826111431/tic\\_domicilios\\_2023\\_livro\\_eletronico.pdf](https://www.cgi.br/media/docs/publicacoes/2/20240826111431/tic_domicilios_2023_livro_eletronico.pdf).
- Leiner, B. M., Cerf, V. G., Clark, D. D., Kahn, R. E., Kleinrock, L., Lynch, D. C., Postel, J., Roberts, L. G., and Wolff, S. (2009). A brief history of the Internet. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 39(5):22–31.
- Weiser, M. (1999). The computer for the 21st century. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun.*, 3(3):3–11.