IPv6-mostly no Campus

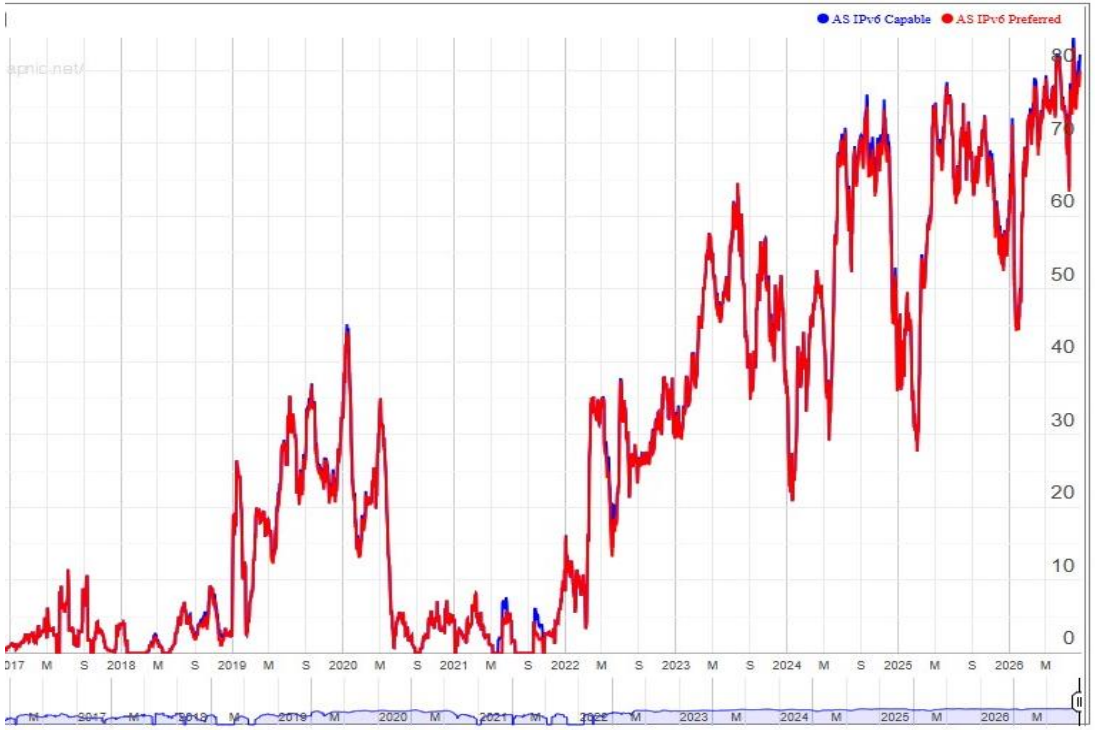
Henri Alves de Godoy | Universidade Estadual de Campinas | UNICAMP

LACNOG 2026 | 19 - 22 Octubre | Mendoza, Argentina.

lacnic

www.lacnic.net

A UNICAMP e o IPv6



IPv6 Per-Country Deployment for AS53187|APNIC Labs



Foto aérea noturna do Campus em Campinas

Cenário e Motivação

- Projeto piloto realizado na rede wireless da Faculdade de Ciências Aplicadas da Unicamp (FCA).

- Possui 2.524 alunos de graduação, o maior número entre as unidades acadêmicas e em número de concluintes com 452 alunos em 2025.



Foto aérea Campus FCA

IPv6-mostly funciona?

- Compreender o comportamento real dos dispositivos em uma rede de campus com IPv6-mostly.
- Os clientes realmente deixam de solicitar/utilizar IPv4 quando recebem a Option 108?
- A ausência de IPv4 nativo ativa mecanismos como CLAT de forma transparente?
- Quanto IPv4 ainda precisamos, quem ainda precisa dele e para quê?
- Compartilhar evidências práticas com a comunidade técnica.

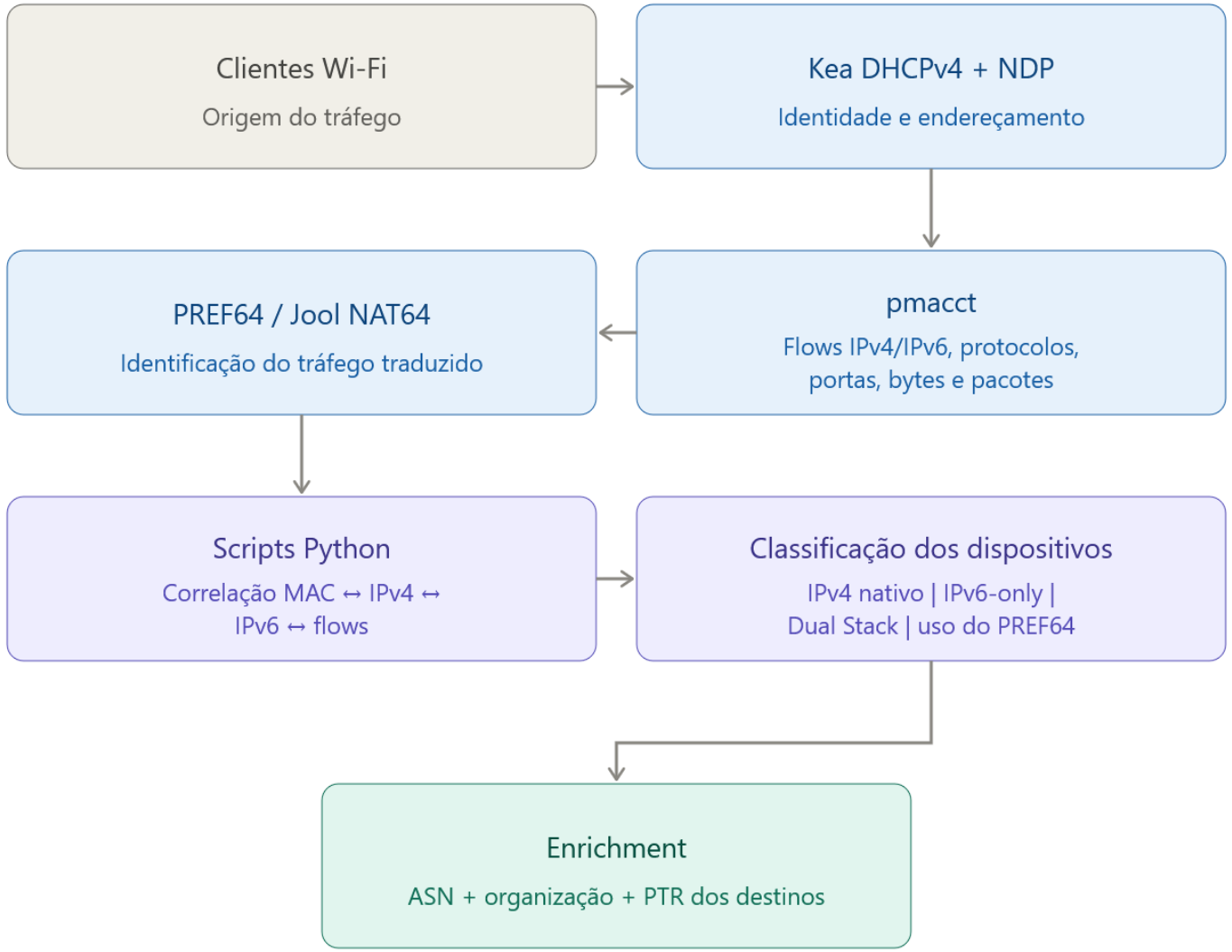
lacnic

IPv6-mostly ≠ IPv6-only

- IPv6-mostly define uma política de preferência que incentiva sistemas operacionais e aplicações a utilizarem IPv6 sempre que possível, utilizando mecanismos de transição quando necessário
  - DHCP Option 108 / RFC 8925 → sinaliza preferência por IPv6.
  - PREF64 / RFC 8781 → anuncia a presença e o prefixo NAT64.
  - CLAT → fornece compatibilidade para aplicações IPv4 quando necessário.
- IPv6-only: host recebe exclusivamente endereçamento IPv6 e não possui conectividade IPv4 nativa.

lacnic

Metodologia e coleta de dados



Scripts Python: https://www.fca.unicamp.br/ipv6/scripts-ipv6mostly.tar.gz

Configurações Básicas

- radvd.conf

```
# PREF64 via RA (RFC 8781)
nat64prefix 64:ff9b::/96
{
    AdvValidLifetime 1800;
};
```

- kea-dhcp4.conf

```
{
"name": "v6-only-preferred",
"code": 108,
"data": "1800"
 }
```

- named.conf

```
dns64 64:ff9b::/96 {
    clients { any; };
    mapped { any; };
    break-dnssec no;
};
```

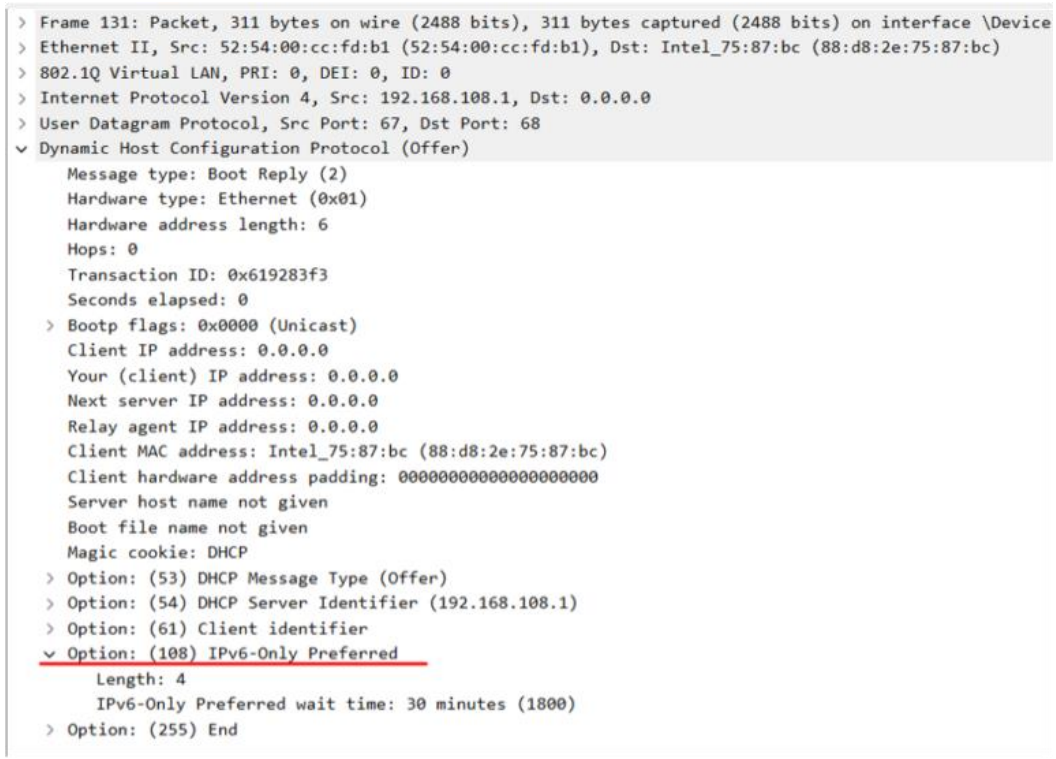
- jool.conf

jool instance add default --netfilter --pool6 64:ff9b::/96

lacnic

Option 108

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Lengtl	Info
124	43.499894	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	342	DHCP Discover - Transaction ID 0x619283f3
131	43.513695	192.168.108.1	0.0.0.0	DHCP	311	DHCP Offer - Transaction ID 0x619283f3



- Option 108 → sinaliza preferência por operação sem IPv4 nativo.
- Informa que a rede oferece conectividade IPv6 e prefere operação sem IPv4 nativo. Quem toma a decisão é o cliente.

Exemplo de fluxo DHCPv4 mostrando a interrupção do processo DORA após a sinalização da Option 108, evidenciando a decisão do cliente de não prosseguir com a obtenção de um endereço IPv4.

lacnic

PREF64

- Anunciado via Router Advertisement (RFC 8781), informa aos hosts o prefixo utilizado pelo NAT64.
- Permite que o host descubra o prefixo NAT64 sem depender do DNS64.
- Pode ser utilizado pelo sistema operacional para configuração ou ativação do CLAT.
- Não desabilita IPv4 e não garante, sozinho, a ativação do CLAT.

lacnic

CLAT (Customer-side Translator)

- O CLAT fornece conectividade IPv4 para aplicações que ainda dependem de IPv4 em uma rede IPv6-only.
- Sem o CLAT, as conexões falhariam em uma rede IPv6-only onde as aplicações:
  - Criam sockets IPv4 explícitos (AF_INET).
  - Utilizam endereços IPv4 literais.
  - Possuem código legado.

lacnic

CLAT em macOS, iOS e Android

```
henri@Henris-Mac ~ % ifconfig en0
en0: flags=88e3<UP,BROADCAST,SMART,RUNNING,NOARP,SIMPLEX,MULTICAST> mtu 1500
        options=424<VLAN_MTU,TSO4,CHANNEL_IO>
        ether 00:0c:29:ea:e1:15
        inet6 fe80::c1d:6cbc:e7a6:1360%en0 prefixlen 64 secured scopeid 0x4
        inet6 2801:8a:c040:108:10b4:93b0:24c5:4541 prefixlen 64 autoconf secured
        inet6 2801:8a:c040:108:d412:22a:23e5:4271 prefixlen 64 autoconf temporary
        inet 192.0.0.2 netmask 0xffffffff broadcast 192.0.0.2
        inet6 2801:8a:c040:108:1878:455e:9fb6:15f8 prefixlen 64 clat46
        nat64 prefix 64:ff9b:: prefixlen 96
        nd6 options=201<PERFORMNUD,DAD>
        media: autoselect (10Gbase-T <full-duplex>)
        status: active
henri@Henris-Mac ~ % ping 8.8.8.8 -c 3
PING 8.8.8.8 (8.8.8.8): 56 data bytes
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=0 ttl=114 time=16.097 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=1 ttl=114 time=13.082 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=2 ttl=114 time=12.089 ms

--- 8.8.8.8 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 12.089/13.756/16.097/1.704 ms
henri@Henris-Mac ~ %
```

Dispositivos móveis, como Android e iOS, e versões recentes do macOS possuem suporte nativo ao CLAT, permitindo que operem de forma transparente em ambientes IPv6-only.

Captura de tela da interface CLAT observada em um macOS demonstrando a presença do endereço IPv4 192.0.0.2 associado ao tradutor local.

lacnic

CLAT em Linux

```
root@tic:~# ifconfig
clat: flags=4305<UP,POINTOPOINT,RUNNING,NOARP,MULTICAST>  mtu 1500
        inet 192.0.0.1  netmask 255.255.255.255  destination 192.0.0.1
        inet6 fe80::7ab1:f7b2:1816:dc6b  prefixlen 64  scopeid 0x20<link>
        unspec 00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00  txqueuelen 500  (Não Especificado)
        RX packets 0  bytes 0 (0.0 B)
        RX errors 0  dropped 0  overruns 0  frame 0
        TX packets 6  bytes 400 (400.0 B)
        TX errors 0  dropped 0 overruns 0  carrier 0  collisions 0

enp2s0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>  mtu 1500
        inet6 2801:8a:c040:fca1:421d:5e78:b3d5:875e  prefixlen 64  scopeid 0x0<global>
        inet6 2801:8a:c040:fca1:5e3e:33c2:3027:f8a7  prefixlen 64  scopeid 0x0<global>
        inet6 fe80::320:56cd:158c:666e  prefixlen 64  scopeid 0x20<link>
        ether 1c:39:47:52:31:c9  txqueuelen 1000  (Ethernet)
        RX packets 5358  bytes 3021106 (3.0 MB)
        RX errors 0  dropped 5  overruns 0  frame 0
        TX packets 1113  bytes 138540 (138.5 KB)
        TX errors 0  dropped 6 overruns 0  carrier 0  collisions 0
```

NetworkManager 1.58

What's new

5 minute read · Published: 20 Jul, 2026

Network World - IPv4 address exhaustion drives NetworkManager 1.58 release

NetworkManager 1.58 was released this week, following more than five months of development and 407 commits since version 1.56. The release covers three areas: expanded support for IPv6-only networks, a set of Wi-Fi management updates, and a round of security hardening.

Figura do clatd em um Ubuntu Linux demonstrando a criação manual da interface CLAT.

Em distribuições Linux, o suporte automático ao CLAT ainda está em processo de adoção. Implementações recentes do NetworkManager avançam nessa direção. O CLAT também pode ser configurado manualmente utilizando ferramentas como clatd ou Jool.

lacnic

CLAT em Windows

```
Adaptador de Rede sem Fio Wi-Fi:

   Sufixo DNS específico de conexão. . . . . : fca.unicamp.br
   Endereço IPv6 . . . . . : 2801:8a:c040:108:6cf5:5f2b:c88f:ad52
   Endereço IPv6 . . . . . : 2801:8a:c040:108:c0:0:500:0
   Endereço IPv6 Temporário. . . . . : 2801:8a:c040:108:89b3:94d5:eacd:aa19
   Endereço IPv6 de link local . . . . . : fe80::2cf5:781b:3d2a:ff0a%12
   Endereço IPv4. . . . . : 192.0.0.5
   Máscara de Sub-rede . . . . . : 255.255.255.255
   Gateway Padrão. . . . . : fe80::5054:ff:fecc:fdb1%12
                                 192.0.0.0
```

```
C:\>netsh interface clat show global
-----------------------------------
permitir                    : enabled
pref64fromdns               : enabled
pref64fromra                : enabled
```

NETWORKING BLOG 5 MIN READ

Announcing Windows CLAT Public Preview

JimAlumbaugh MICROSOFT
Jun 09, 2026

Microsoft Begins Rolling Out Windows CLAT for IPv6-Only Networks *2026/09/23*

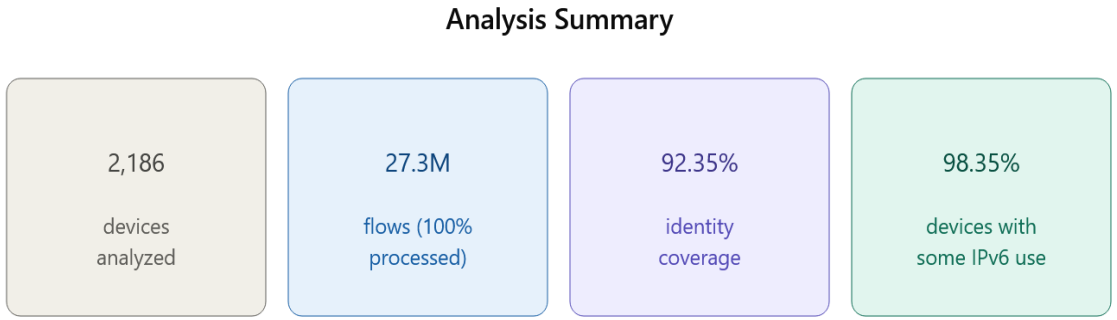
As figuras ilustram a Interface CLAT observada em ambiente Windows 11.

O suporte ao CLAT no Windows representa um avanço importante e significativo para a adoção de redes IPv6-only em ambientes gerenciáveis, como redes corporativas e universitárias.

Fonte: https://directaccess.richardhicks.com/2026/09/23/microsoft-begins-rolling-out-windows-clat-for-ipv6-only-networks/

lacnic

Device Classification Criteria

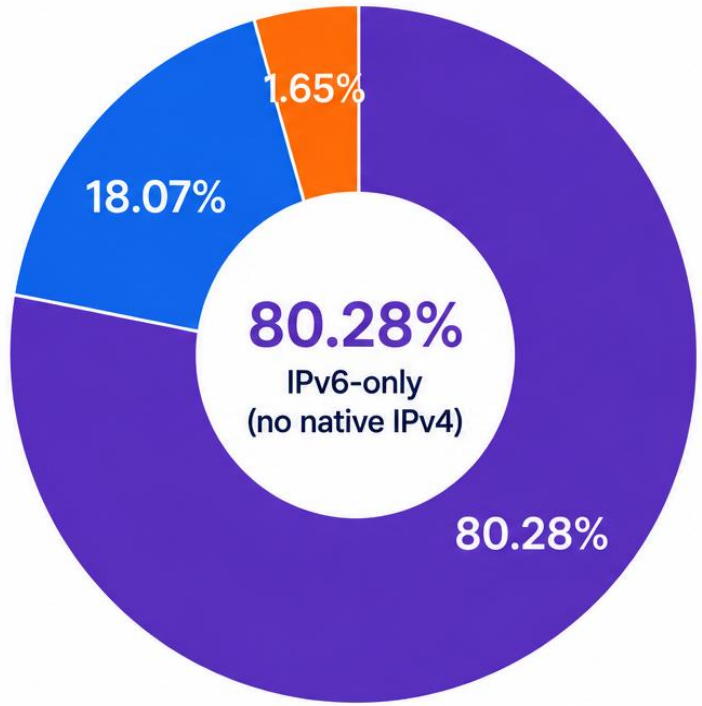


Classification	Observed evidence
Native IPv4	IPv4 assigned by **Kea** and observed IPv4 traffic, with **no evidence of IPv6 usage.**
Native IPv6-only	Observed **IPv6 traffic**, **no IPv4 assigned by Kea**, and **no traffic towards the NAT64 prefix.**
IPv6-only + PREF64/NAT64	**No IPv4 assigned by Kea**, observed IPv6 traffic, and **traffic towards the NAT64 prefix.**
Dual Stack	Observed **IPv6 traffic** and **IPv4 assigned by Kea**, with **no traffic towards the NAT64 prefix.**
Dual Stack + PREF64/NAT64	Observed **IPv6 traffic**, **IPv4 assigned by Kea**, and **traffic towards the NAT64 prefix.**

lacnic

DEVICE CONNECTIVITY PROFILE

Distribution of devices by connectivity profile (based on observed behavior)



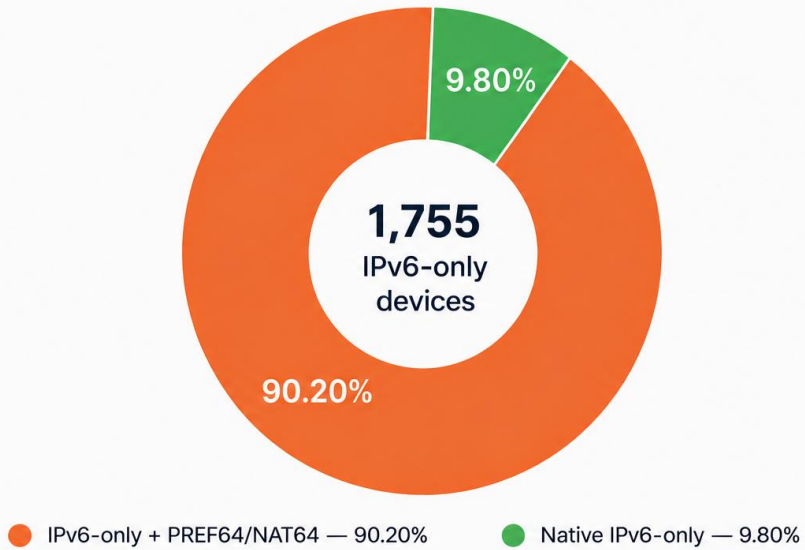
IPv6-only (no native IPv4)	80.28%
Dual Stack (IPv4 and IPv6)	18.07%
Native IPv4 (no observed IPv6)	1.65%

80.28% of identified devices operated without native IPv4 during the observation period.

lacnic

ZOOM INTO IPv6-ONLY DEVICES

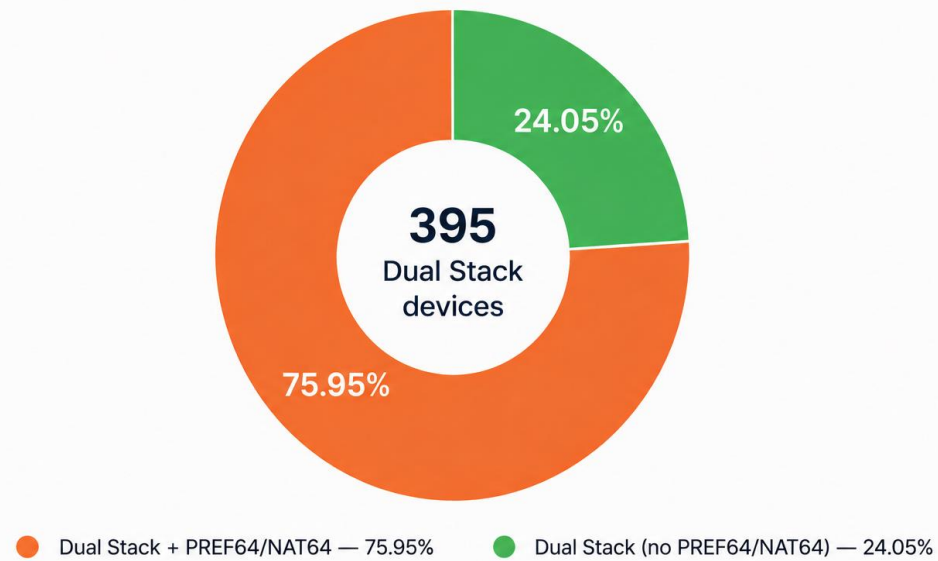
Observed behavior among 1,755 devices without native IPv4 connectivity.



90.20% of IPv6-only devices generated traffic towards the PREF64/NAT64 path.

ZOOM INTO DUAL STACK DEVICES

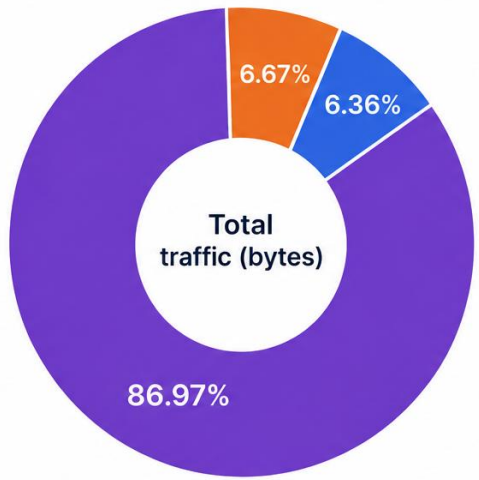
Observed behavior among 395 devices with native IPv4 connectivity.



75.95% of Dual Stack devices also generated traffic towards the PREF64/NAT64 path.

TRAFFIC DISTRIBUTION BY IP VERSION

Distribution of the total observed traffic (in bytes) by IP version.



86,97%	6,67%	6,36%
IPv6 nativo	PREF64/NAT64	IPv4 nativo
153.580 MB	11.772 MB	11.230 MB

86.97% of all observed traffic (in bytes) was carried over IPv6.

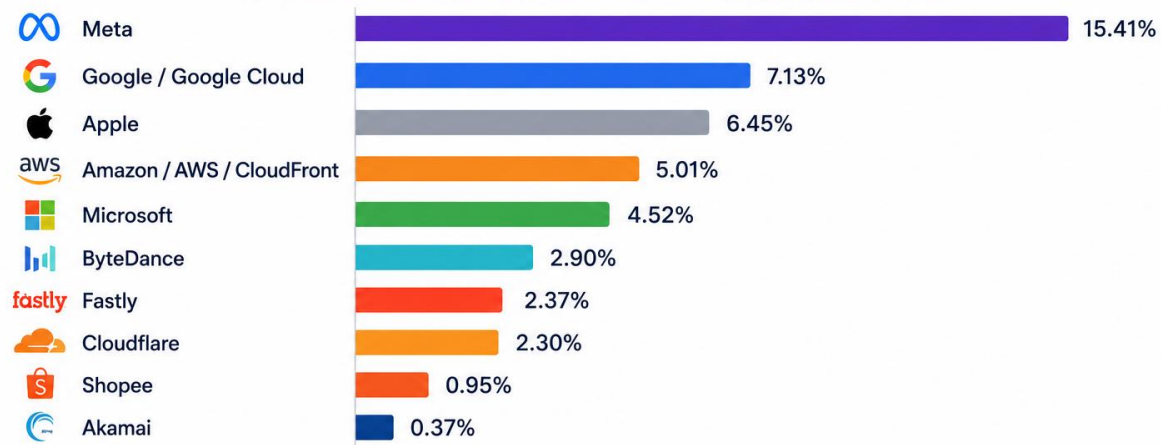
WHAT ARE THESE 6.67%?

Where does the traffic that still requires NAT64 go?

1,606,277 NAT64 flows were analyzed, representing approximately **14.1 GB** of traffic.

Top Platforms Observed in NAT64 Traffic

Approximate share of total NAT64 traffic, based on IPv4 destination grouping by ASN/organization.



NAT64 traffic reaches major Internet platforms and CDNs — not only legacy services.

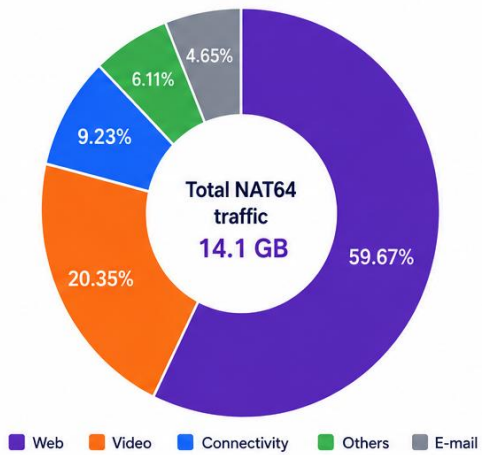
WHAT TRAFFIC GOES OVER NAT64?

Applications and protocols observed

Analysis based on **1,606,277** NAT64 flows, corresponding to approximately **14.1 GB** of traffic.

NAT64 traffic distribution by category

Share of total volume (in bytes)



Top applications and protocols observed

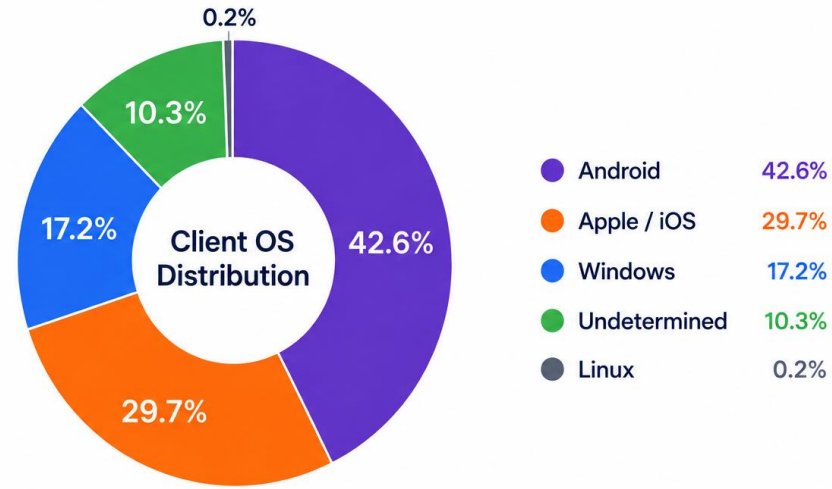
Application / Protocol	Category	Share (in bytes)
HTTP / HTTPS (TCP 80 / 443)	Web	48.72%
YouTube (QUIC / UDP 443)	Video	12.18%
Netflix (QUIC / UDP 443)	Video	6.89%
Google APIs / Services (TCP 443)	Connectivity	5.63%
Apple Services (TCP 443)	Connectivity	4.21%
Microsoft Services (TCP 443)	Connectivity	3.52%
DNS (UDP 53)	Connectivity	1.71%
WhatsApp (TCP 5222 / 443)	Others	1.48%
Instagram (TCP 443)	Others	1.23%
E-mail (SMTP / IMAPS) (TCP 25 / 465 / 993)	E-mail	4.65%

Note: categories are grouped for the purpose of application/protocol analysis.

INSIGHT | Most NAT64 traffic is composed of Web browsing (HTTP/HTTPS), video consumption (YouTube and Netflix), and connectivity services from major platforms.

CLIENT OPERATING SYSTEMS

Operating system distribution among observed client devices



Android and Apple/iOS accounted for **72.3%** of the observed client population.

OS classification represents an independent measurement of the observed client population.

lacnic

Resultados Observados

- Option 108: não impede nem desabilita o uso do IPv4.
- PREF64: necessário, mas não suficiente.
- A ativação automática do CLAT está fortemente associada à ausência de IPv4 nativo.
- IPv6-mostly funciona e promove uma transição transparente para o usuário final.
- Reduz a necessidade de IPv4 no pool DHCP, permitindo uso mais racional dos blocos IPv4, movendo os endereços disponíveis para serviços legados.

lacnic

Resultados Observados

- Também observamos tráfego destinado ao PREF64/NAT64 em dispositivos classificados como dual-stack. Mecanismos de resolução utilizando DNS64, seleção de endereços e estratégias como Happy Eyeballs podem influenciar a escolha do caminho.

- Esse comportamento é compatível com as observações do draft-ietf-v6ops-6mops, que destaca também o valor das redes IPv6-mostly em revelar dependências residuais de IPv4 e problemas de operação com IPv6. (https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-v6ops-6mops/) v10. Sep 2026.

Considerações Finais

- IPv6-mostly não elimina IPv4: permite identificar onde ele ainda é realmente necessário.
- A experiência mostra que grande parte dos dispositivos já pode operar sem IPv4 nativo, mantendo compatibilidade com destinos IPv4 por mecanismos de transição.
- Talvez a pergunta não seja se devemos utilizar IPv6, mas sim mapear onde ainda precisamos entregar IPv4 e onde já não precisamos mais.

lacnic

Muito Obrigado!

Perguntas?

Henri Alves de Godoy
henri@unicamp.br
linkedin.com/in/henri-alves-godoy