CIÊNCIA EMBARCADA

Como uma página chega até você

Do toque na tela até o servidor e de volta: o caminho de um acesso ao cienciaembarcada.com.br, com os protocolos de cada trecho.

Endereços e números de AS dos exemplos são reservados para documentação (RFC 5737, RFC 5398); 1.1.1.1, 8.8.8.8, 9.9.9.9 e a raiz do DNS são reais.

COMO LER

- camada de enlace
- camada de rede
- camada de transporte
- camada de aplicação
- caminho dos dados (HTTPS)
- DNS
- 1 passo numerado, explicado abaixo

DNS · NOMES EM ENDEREÇOS

Resolvedores públicos
1.1.1.1 · 8.8.8.8 · 9.9.9.9 · anycast

4 **Servidores raiz**
a-m.root-servers.net
13 identidades · anycast

Servidores do .br
a-f.dns.br
Registro.br · anycast

Servidor autoritativo
ns1.example.net
cienciaembarcada.com.br A 203.0.113.10 TTL 3600

a · .br? → b · cienciaembarcada.com.br? → c · A? → 203.0.113.10

a, b, c: o resolvedor pergunta a cada nível. Os dois primeiros só indicam o próximo; o autoritativo responde. O TTL diz quanto a resposta fica em cache.

CASA

3 5 **NAT · troca de endereço e porta**
dentro 192.168.0.23:51432
fora 198.51.100.7:40001

1 802.11 WPA3

Celular 192.168.0.23 — TTL 64

2 **Roteador Wi-Fi** LAN 192.168.0.1 · WAN 198.51.100.7 — TTL 63

ONT fibra

ARP · quem tem 192.168.0.1?
resposta: o MAC do roteador

PROVEDOR DE ACESSO · AS 64500

6 GPON

OLT — TTL 62

BNG PPPoE · IPoE — TTL 61

CGNAT 100.64.0.0/10

7 **R1** — TTL 59

R2 — TTL 60

R3 — TTL 58

R4

Borda

menor custo: R1 → R2 → R4 → Borda = 4 + 4 + 6 = 14

ENTRE REDES · BGP

8 eBGP

Ponto de troca (IX)

Trânsito AS 64505 — TTL 57

9

AS_PATH 64500 → 64505 → 64510

HOSPEDAGEM · AS 64510

10 TCP · porta 443
cel. — serv.
SYN
SYN-ACK
ACK

Firewall AS 64510 — TTL 56

HTTPS

Proxy reverso 203.0.113.10:443

TLS 1.3 termina aqui

11

HTTP

12 **Aplicação**

SQL

Banco de dados

cienciaembarcada.com.br

1 Entrar na rede Wi-Fi

ENLACE · 802.11 · WPA3 · DHCP

O celular se associa ao ponto de acesso e combina as chaves de criptografia (WPA3). Por DHCP, recebe IP privado (192.168.0.23), gateway (192.168.0.1) e DNS.

2 Achar o roteador

ENLACE · ARP · NDP

Para sair da rede local, o celular precisa do endereço físico (MAC) do gateway. Pergunta a todos "quem tem 192.168.0.1?" e guarda a resposta. No IPv6, isso é o NDP.

3 Perguntar o endereço

APLICAÇÃO · DNS · UDP 53 · DoH · DoT

O navegador precisa do IP de cienciaembarcada.com.br e pergunta a um resolvedor (1.1.1.1, 8.8.8.8, 9.9.9.9): por UDP na porta 53 ou cifrado, por DoH (443) ou DoT (853).

4 A recursão do DNS

APLICAÇÃO · raiz · .br · autoritativo

Sem a resposta em cache, o resolvedor pergunta à raiz, que indica o .br; o .br indica o servidor autoritativo, que responde o registro A (ou AAAA) com um TTL.

5 Trocar o endereço privado

REDE · NAT · CGNAT

O IP 192.168.0.23 não existe na internet. O roteador troca endereço e porta pelo IP público (198.51.100.7) e anota a troca para devolver a resposta. Há provedores que repetem isso (CGNAT).

6 Sair pela fibra

ENLACE · GPON · PPPoE · IPoE

A ONT transforma o sinal em luz, e a fibra leva até a OLT do provedor, que atende dezenas de clientes na mesma fibra. O BNG autentica a conexão (PPPoE ou IPoE).

7 Atravessar o provedor

REDE · OSPF · IS-IS

O provedor é um sistema autônomo (AS 64500). Dentro dele, os roteadores trocam o estado dos enlaces por OSPF, e cada um calcula o caminho de menor custo (Dijkstra).

8 Escolher a rota entre redes

REDE · BGP · IX · trânsito

Entre redes, cada AS anuncia seus prefixos por BGP, num ponto de troca de tráfego (IX) ou contratando trânsito. A rota segue políticas e o AS_PATH: 64500 → 64505 → 64510.

9 Contar os saltos

REDE · IP · TTL · ICMP

Cada roteador diminui em 1 o TTL do pacote. Se ele chegar a zero, o pacote é descartado e volta um aviso ICMP. É assim que o traceroute lista os saltos do caminho.

10 Abrir a conexão

TRANSPORTE · TCP · porta 443

Em 203.0.113.10, porta 443, a conexão abre com SYN, SYN-ACK e ACK. O TCP confirma o que chegou, reenvia o que se perdeu e se adapta ao congestionamento.

11 Cifrar a conversa

APLICAÇÃO · TLS 1.3 · QUIC

O TLS 1.3 combina uma chave secreta (ECDHE), e o servidor prova quem é com um certificado. Daí em diante, tudo vai cifrado. No HTTP/3, o QUIC faz isso sobre UDP.

12 Entregar a página

APLICAÇÃO · HTTP · proxy reverso

O proxy reverso repassa o pedido (GET /) à aplicação, que consulta o banco e gera o HTML. A resposta volta, nem sempre pela mesma rota, e o navegador monta a página.

ENCAPSULAMENTO

Wi-Fi/Ethernet — MAC origem → MAC destino
IP — 192.168.0.23 → 203.0.113.10 · TTL 64
TCP — porta 51432 → 443
TLS — conteúdo cifrado
HTTP — GET / · Host: cienciaembarcada.com.br
FCS — CRC: confere se o quadro chegou inteiro

switch: só enlace
roteador: lê até o IP
servidor: abre tudo, até o HTTP

PORTAS QUE VOCÊ VAI VER

PORTA	TRANSPORTE	SERVIÇO
22	TCP	SSH
53	UDP/TCP	DNS
67/68	UDP	DHCP
80	TCP	HTTP
123	UDP	NTP
443	TCP/UDP	HTTPS / QUIC
853	TCP	DoT

OSPF não usa porta: é o protocolo IP 89.

OSI × TCP/IP

OSI	TCP/IP
7 Aplicação	Aplicação (OSI 5-7): HTTP · TLS · DNS · SMTP · BGP
6 Apresentação	
5 Sessão	
4 Transporte	Transporte: TCP · UDP · QUIC (OSI 4)
3 Rede	Rede: IP · ICMP · OSPF (OSI 3)
2 Enlace	Enlace (OSI 1-2): ARP · Wi-Fi · Ethernet · GPON
1 Física	

Ciência Embarcada
cienciaembarcada.com.br