

A importância do DNS recursivo e seu efeito na latência do acesso à Internet

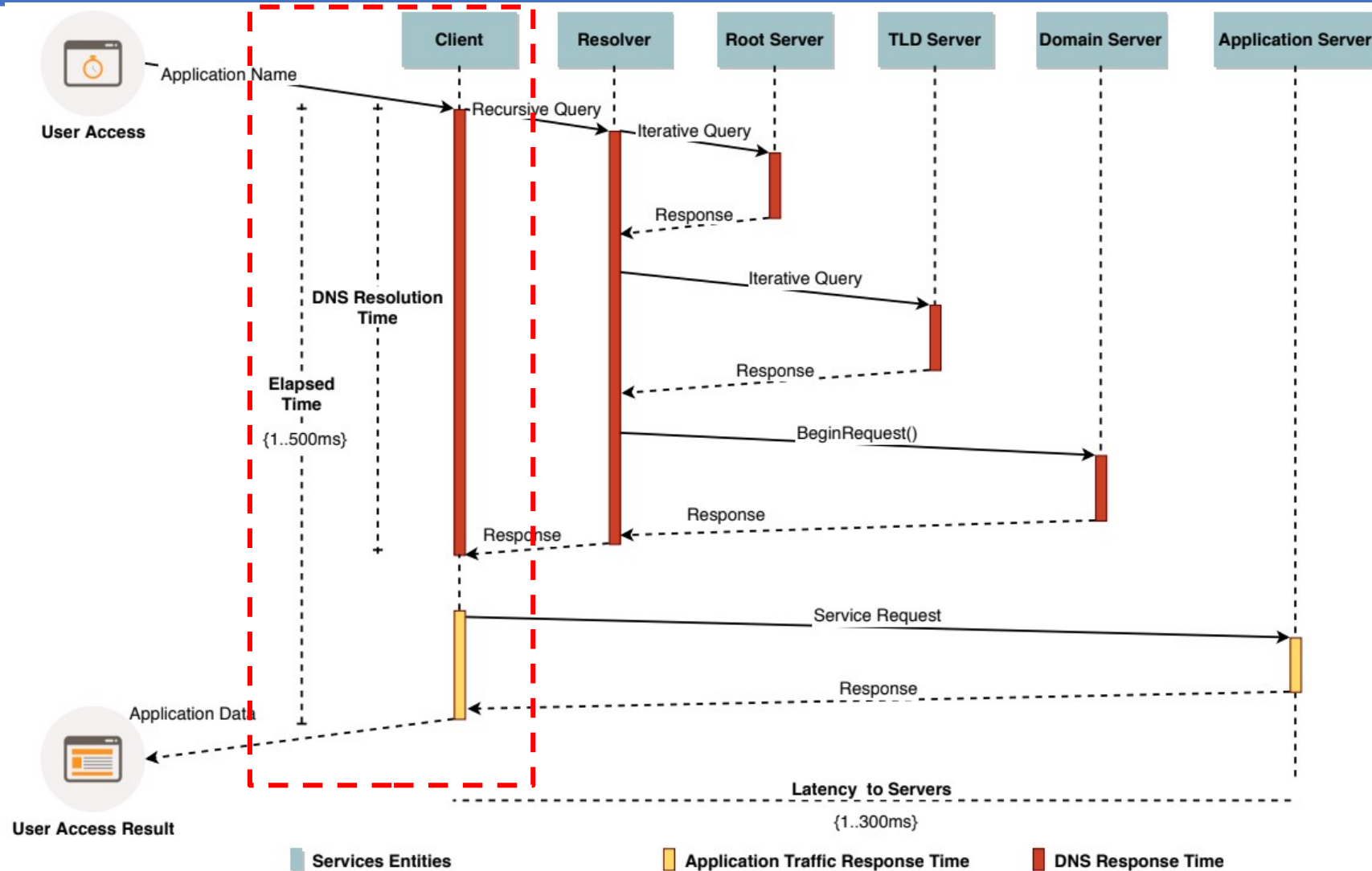
Ibirisol Fontes Ferreira
Graduate School of Informatics,
Kyoto University,
Kyoto, Japan

WTR 2024

9 – 11 Setembro 2024 // Salvador, Brasil

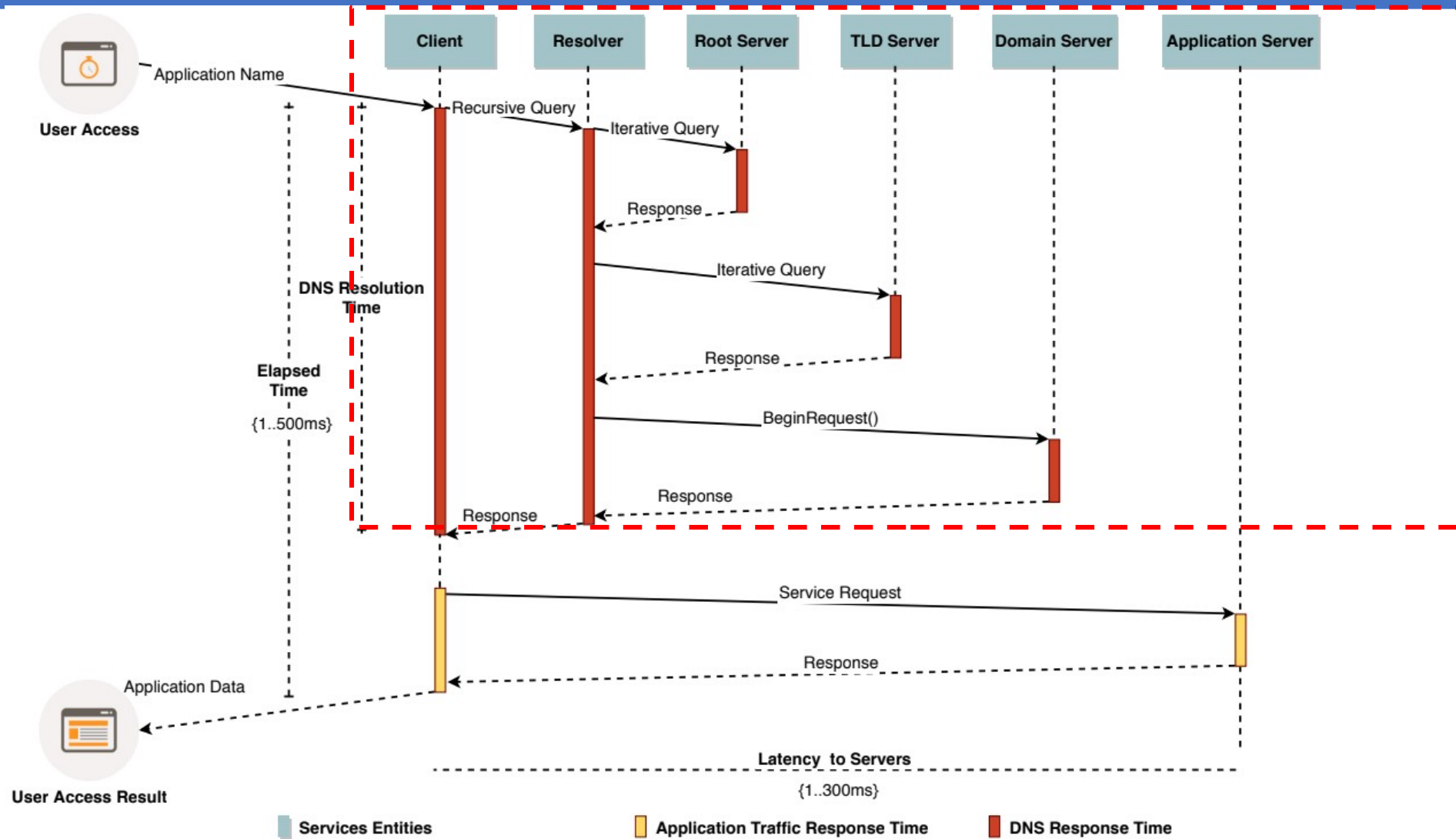
- Quando um **usuário** da Internet tenta **acessar um serviço** (página da web, e-mail, mensagens instantâneas, etc.), seu **sistema aciona** um processo de conexão para atingir o serviço pretendido e obter o conteúdo desejado
 - A **resolução de nome** de etapa ocorre antes do acesso ao serviço
 - Que **traduz nomes** de serviço **em endereços de rede** usando o resolver - o elemento intermediário do sistema de nomes de domínio (DNS)
- Embora a **resolução DNS** envolva uma parte simples do protocolo, ela **pode aumentar** significativamente o **tempo de resposta** ao serviço desejado, proporcionando assim uma Qualidade de Experiência (QoE) prejudicada

Acesso do usuário a serviços de Internet



DNS query flow during service access process

Domain Name System (DNS)

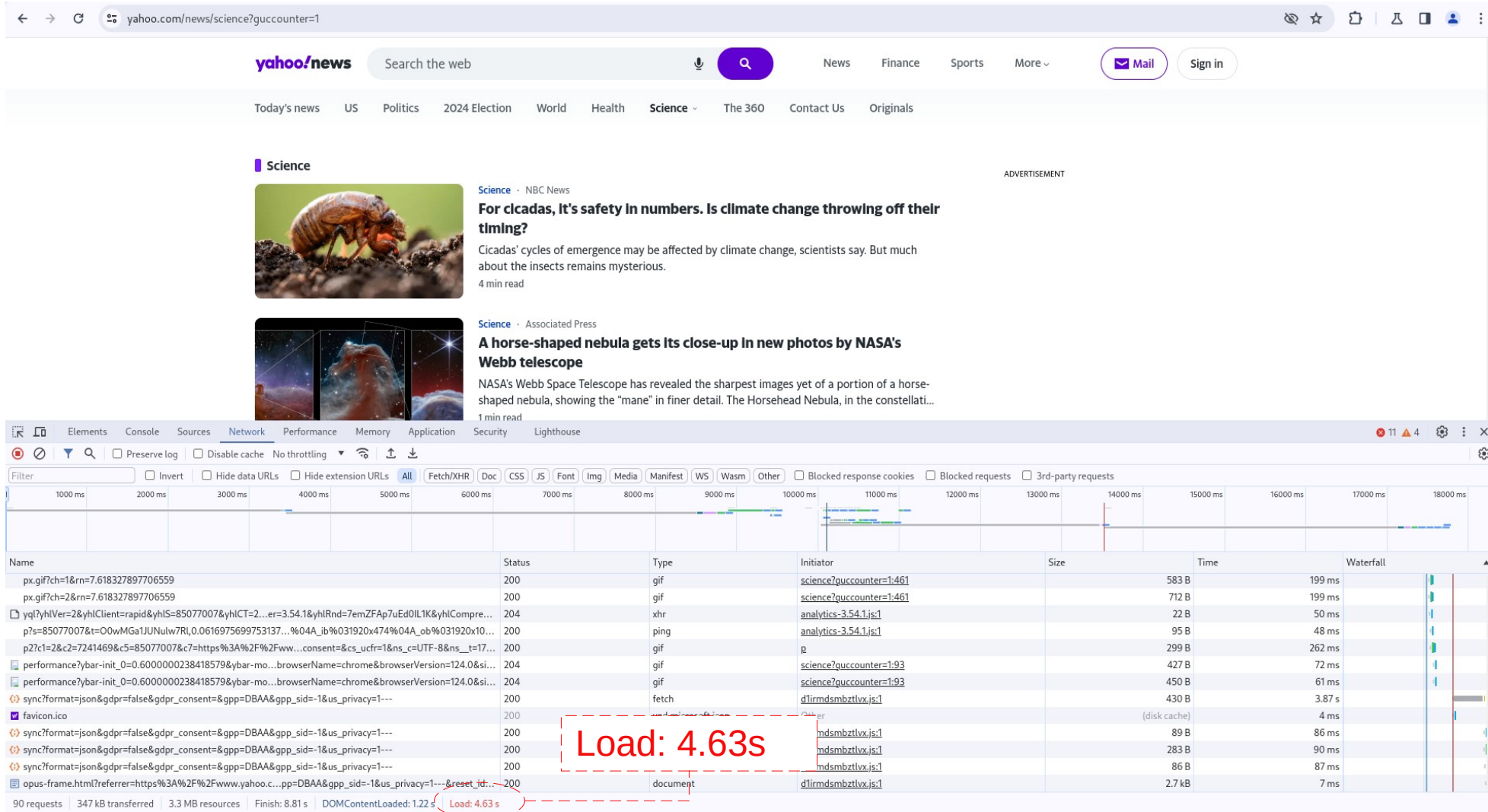


DNS query flow during service access process

- Para **mitigar** o **tempo de resolução**, o componente resolver armazena as respostas de consultas anteriores em um cache local para encurtar o processo
 - Os dados no cache são **válidos** apenas por um **período de tempo** (Time to Live - TTL) predeterminado pelo servidor autoritativo do domínio
 - Um mecanismo de **consistência** torna as entradas **obsoletas** quando o TTL expira
- Quando o DNS Resolver não tem uma resposta armazenada localmente (**cache miss**), ele precisa iniciar o processo de consulta do início apenas para aquela entrada perdida
 - Que precisa iniciar o processo de **consulta recursiva** para a entrada ausente
- Portanto, há um **impacto drástico** no acesso do usuário ao serviço desejado [Cohen and Kaplan, 2000], [Wills and Shang, 2000], [Jung, 2002], [Liston, 2002], [Wang, 2013].

Efeito do cache na prática

- Entradas DNS **não armazenadas** em cache



The screenshot shows a web browser displaying a news article on Yahoo News. The article is titled "For cicadas, it's safety in numbers. Is climate change throwing off their timing?" and is from NBC News. Below it is another article titled "A horse-shaped nebula gets its close-up in new photos by NASA's Webb telescope" from Associated Press.

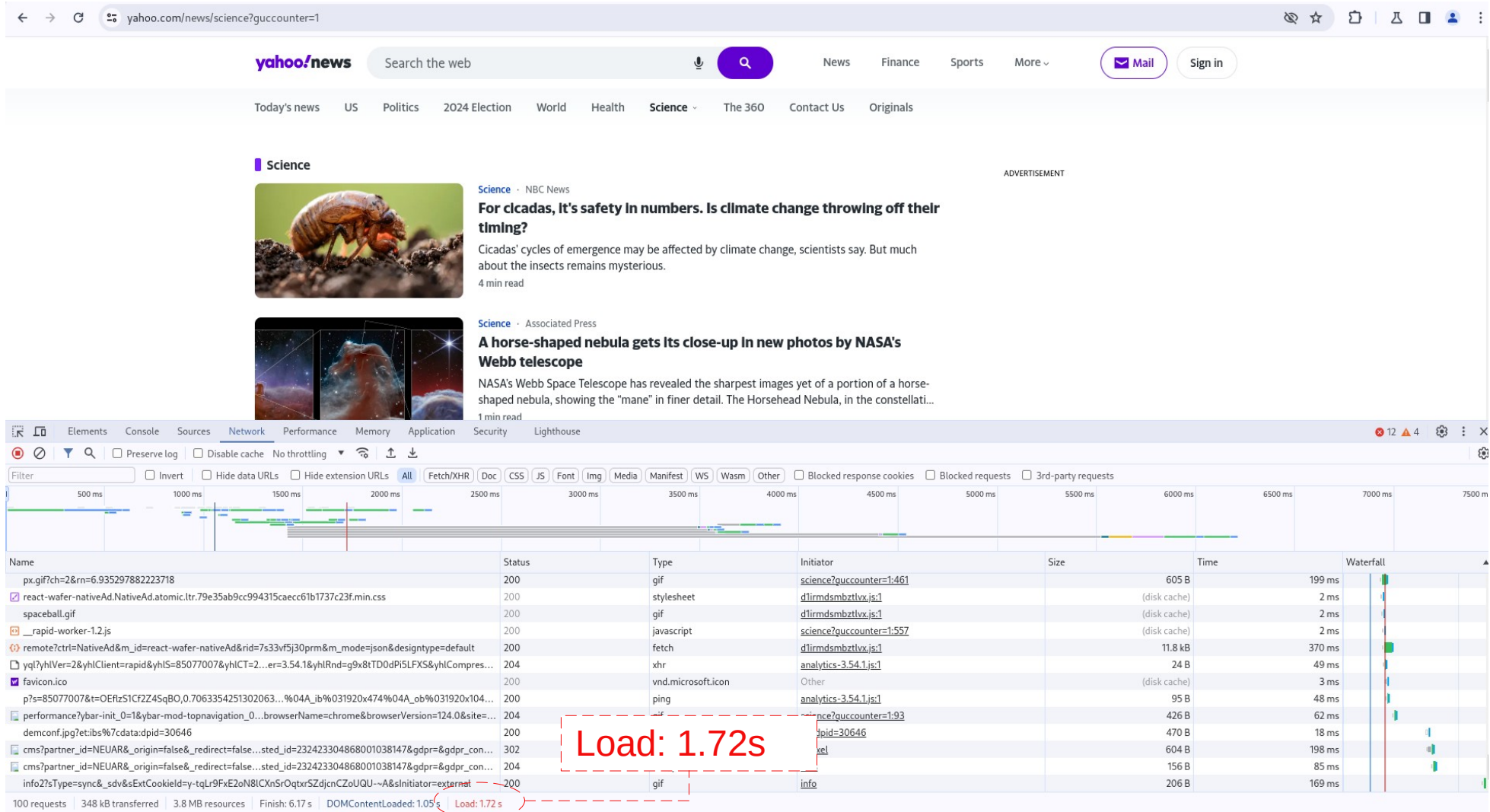
The Chrome DevTools Network tab is open, showing a list of network requests. A red dashed box highlights the "Load" event in the network log, which is labeled "Load: 4.63s". The network log shows various requests, including images, scripts, and the main document. The "Load" event is the final request in the sequence, indicating the time taken for the page to fully load.

Name	Status	Type	Initiator	Size	Time	Waterfall
px.gif?ch=1&rn=7.618327897706559	200	gif	science?guccounter=1:461	583 B	199 ms	
px.gif?ch=2&rn=7.618327897706559	200	gif	science?guccounter=1:461	712 B	199 ms	
yql?hlVer=2&yhIClient=rapid&yhIS=85077007&yhICT=2...er=3.54:1&yhIRnd=7emZFAP7uEd0IL1K&yhICompre...	204	xhr	analytics-3.54.1.js:1	22 B	50 ms	
p7s=85077007&t=00wMGa1JUNulw7Rl,0.0616975699753137...%04A_ib%031920x474%04A_ob%031920x10...	200	ping	analytics-3.54.1.js:1	95 B	48 ms	
p27c1=2&c2=7241469&c5=85077007&c7=https%3A%2Fwww...consent=&cs_ucfr=1&ns_c=UTF-8&ns_t=17...	200	gif	g	299 B	262 ms	
performance?ybar-init_0=0.6000000238418579&ybar-mo...browserName=chrome&browserVersion=124.0&si...	204	gif	science?guccounter=1:93	427 B	72 ms	
performance?ybar-init_0=0.6000000238418579&ybar-mo...browserName=chrome&browserVersion=124.0&si...	204	gif	science?guccounter=1:93	450 B	61 ms	
sync?format=json&gdp=false&gdp_consent=&gpp=DBAA&gpp_sid=-1&us_privacy=1---	200	fetch	d1irmsmbztlvx.js:1	430 B	3.87 s	
favicon.ico	200	image	(disk cache)		4 ms	
sync?format=json&gdp=false&gdp_consent=&gpp=DBAA&gpp_sid=-1&us_privacy=1---	200	fetch	mdsmbztlvx.js:1	89 B	86 ms	
sync?format=json&gdp=false&gdp_consent=&gpp=DBAA&gpp_sid=-1&us_privacy=1---	200	fetch	mdsmbztlvx.js:1	283 B	90 ms	
sync?format=json&gdp=false&gdp_consent=&gpp=DBAA&gpp_sid=-1&us_privacy=1---	200	fetch	mdsmbztlvx.js:1	86 B	87 ms	
opus-frame.html?referrer=https%3A%2Fwww.yahoo.c...pp=DBAA&gpp_sid=-1&us_privacy=1---&reset_id=...	200	document	d1irmsmbztlvx.js:1	2.7 kB	7 ms	

90 requests | 347 kB transferred | 3.3 MB resources | Finish: 8.81 s | DOMContentLoaded: 1.22 s | Load: 4.63 s

Efeito do cache na prática (continuação)

- Entradas DNS **armazenadas** em cache



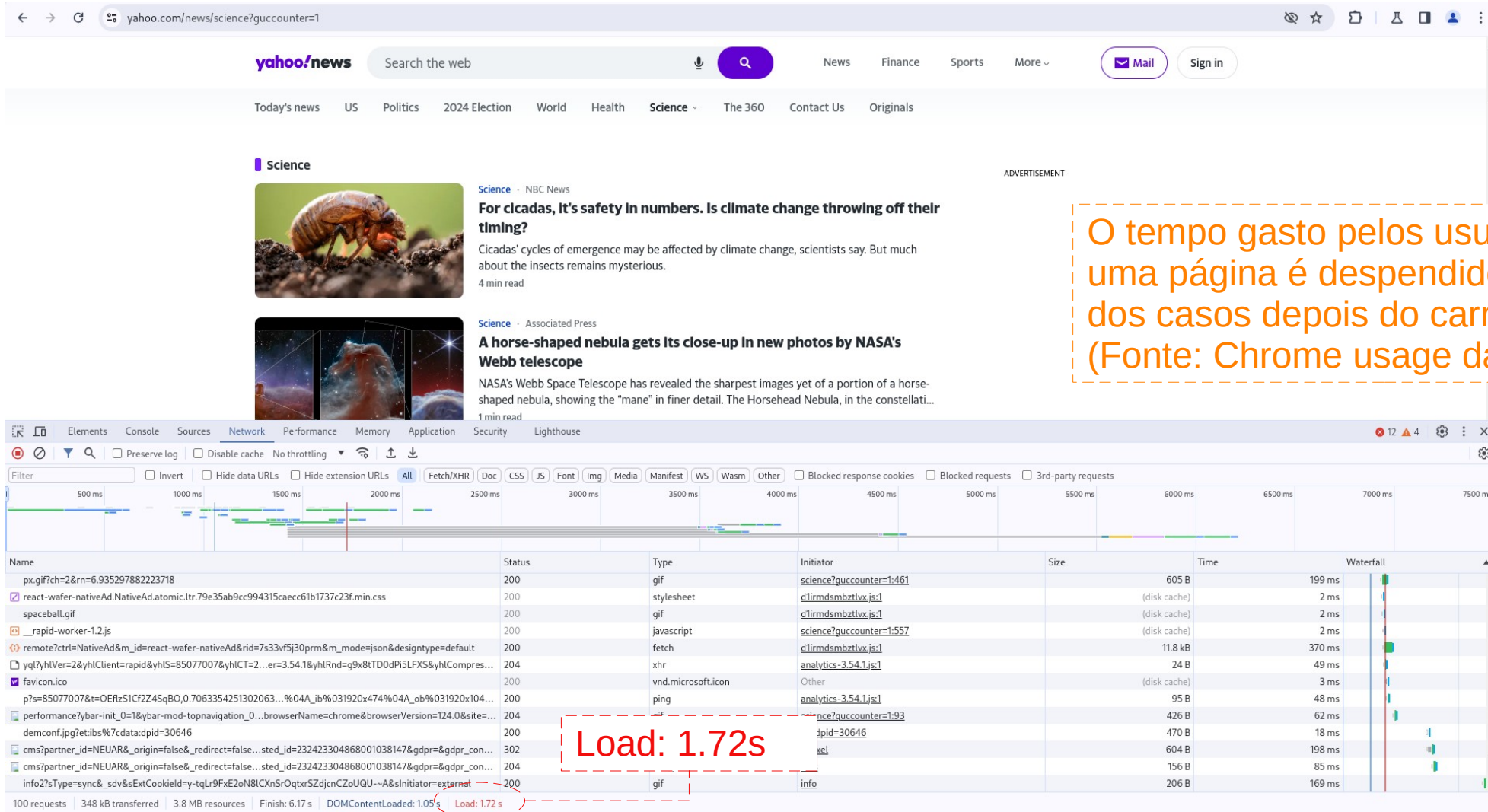
The screenshot shows the Yahoo News website with a science article about cicadas. Below the article, the Chrome DevTools Network tab is open, displaying a waterfall chart and a table of resources. A red dashed box highlights the total load time of 1.72s for the page resources.

Name	Status	Type	Initiator	Size	Time	Waterfall
px.gif?ch=2&rn=6.935297882223718	200	gif	science?guccounter=1:461	605 B	199 ms	
react-wafer-nativeAd.NativeAd.atomic.ltr.79e35ab9cc994315caecc61b1737c23f.min.css	200	stylesheet	d1irmdsmbztlvx.js:1	(disk cache)	2 ms	
spaceball.gif	200	gif	d1irmdsmbztlvx.js:1	(disk cache)	2 ms	
__rapid-worker-1.2.js	200	javascript	science?guccounter=1:557	(disk cache)	2 ms	
remote?ctrl=NativeAd&m_id=react-wafer-nativeAd&rid=7s33v5j30prm&m_mode=json&designertype=default	200	fetch	d1irmdsmbztlvx.js:1	11.8 kB	370 ms	
yql?hlVer=2&yhlClient=rapid&yhlS=85077007&yhlCT=2...er=3.54.1&yhlRnd=g9x8TD0dPi5LFXS&yhlCompres...	204	xhr	analytics-3.54.1.js:1	24 B	49 ms	
favicon.ico	200	vnd.microsoft.icon	Other	(disk cache)	3 ms	
p?s=85077007&t=Oefiz51CfZ245qBO,0.7063354251302063...%04A_ib%031920x474%04A_ob%031920x104...	200	ping	analytics-3.54.1.js:1	95 B	48 ms	
performance/ybar-init_0=1&ybar-mod-topnavigation_0...browserName=chrome&browserVersion=124.0&site=...	204	gif	science?guccounter=1:93	426 B	62 ms	
demconf.jpg?et:ibs%7cdata:dpid=30646	200	image	pid=30646	470 B	18 ms	
cms?partner_id=NEUAR&_origin=false&_redirect=false...sted_id=232423304868001038147&gdp=&gdp_con...	302	image	tel	604 B	198 ms	
cms?partner_id=NEUAR&_origin=false&_redirect=false...sted_id=232423304868001038147&gdp=&gdp_con...	204	image	tel	156 B	85 ms	
info2?sType=sync&_sdv&sExtCookieId=y-tqLr9FxE2oN8ICXn5rOqtrvSZdjcZz0UQU--A&shInitiator=external	200	gif	info	206 B	169 ms	

100 requests | 348 kB transferred | 3.8 MB resources | Finish: 6.17 s | DOMContentLoaded: 1.05 s | Load: 1.72 s

Efeito do cache na prática (continuação)

- Entradas DNS **armazenadas** em cache



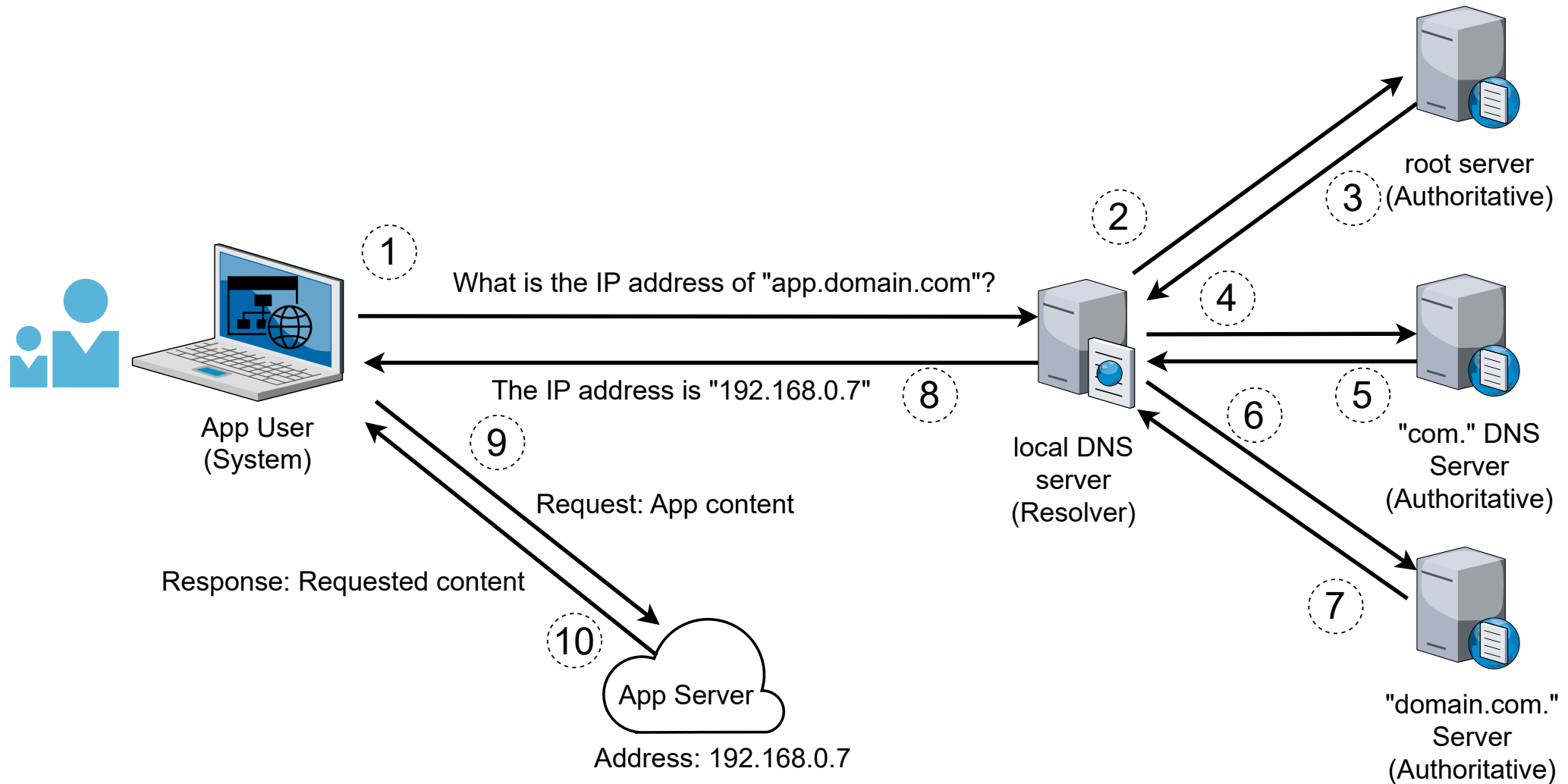
The screenshot shows a Chrome browser window displaying a Yahoo News article. Below the article, the Chrome DevTools Network tab is open, showing a waterfall chart and a table of network requests. A red dashed box highlights the total load time of 1.72s.

Name	Status	Type	Initiator	Size	Time	Waterfall
px.gif?ch=2&rn=6.935297882223718	200	gif	science?guccounter=1:461	605 B	199 ms	
react-wafer-nativeAd.NativeAd.atomic.ltr.79e35ab9cc994315caecc61b1737c23f.min.css	200	stylesheet	d1irmsmbztlvx.js:1	(disk cache)	2 ms	
spaceball.gif	200	gif	d1irmsmbztlvx.js:1	(disk cache)	2 ms	
__rapid-worker-1.2.js	200	javascript	science?guccounter=1:557	(disk cache)	2 ms	
remote?ctrl=NativeAd&m_id=react-wafer-nativeAd&rid=7s33v5j30prm&m_mode=json&designertype=default	200	fetch	d1irmsmbztlvx.js:1	11.8 kB	370 ms	
yql?yh1Ver=2&yhlClient=rapid&yhlS=85077007&yhlCT=2...er=3.54.1&yhlRnd=g9x8TD0dPi5LFXS&yhlCompres...	204	xhr	analytics-3.54.1.js:1	24 B	49 ms	
favicon.ico	200	vnd.microsoft.icon	Other	(disk cache)	3 ms	
p?s=85077007&t=Oefz51CfZ2Z45qBO,0.7063354251302063...%04A_ib%031920x474%04A_ob%031920x104...	200	ping	analytics-3.54.1.js:1	95 B	48 ms	
performance/ybar-init_0=1&ybar-mod-topnavigation_0...browserName=chrome&browserVersion=124.0&site=...	204	gif	science?guccounter=1:93	426 B	62 ms	
demconf.jpg?et:ibs%7cdata:dpid=30646	200	image	dpid=30646	470 B	18 ms	
cms?partner_id=NEUAR&_origin=false&_redirect=false...sted_id=232423304868001038147&gdp=&gdp_con...	302	image	tel	604 B	198 ms	
cms?partner_id=NEUAR&_origin=false&_redirect=false...sted_id=232423304868001038147&gdp=&gdp_con...	204	image	tel	156 B	85 ms	
info2?sType=sync&_sdv&sExtCookieId=y-tqLr9fXE2oN8lCXn5rOqtrvSZdjcCZoUQU--A&shliator=external	200	gif	info	206 B	169 ms	

100 requests | 348 kB transferred | 3.8 MB resources | Finish: 6.17 s | DOMContentLoaded: 1.05 s | Load: 1.72 s

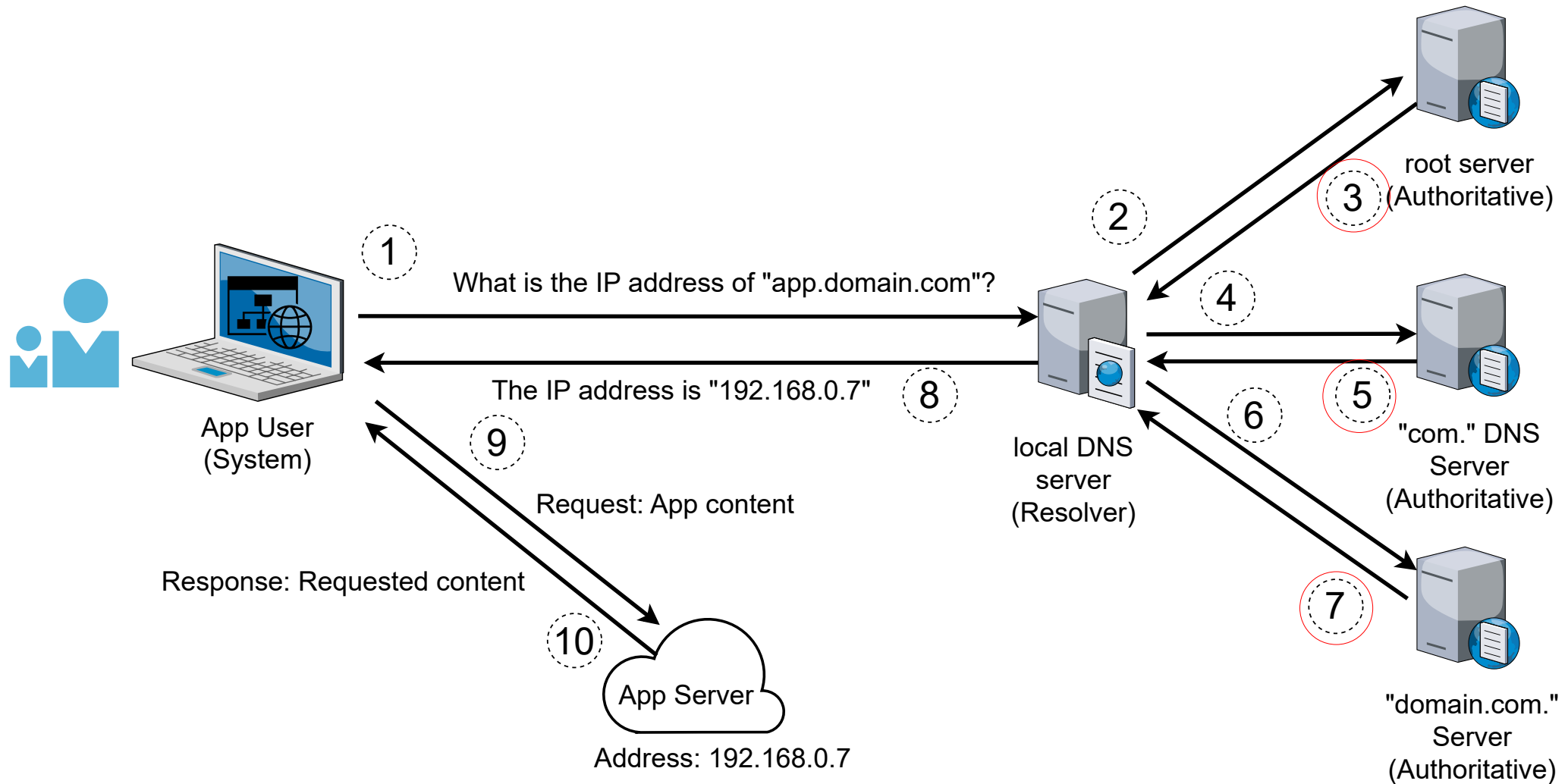
O tempo gasto pelos usuários em uma página é despendido em 90% dos casos depois do carregamento (Fonte: Chrome usage data)

Componentes DNS



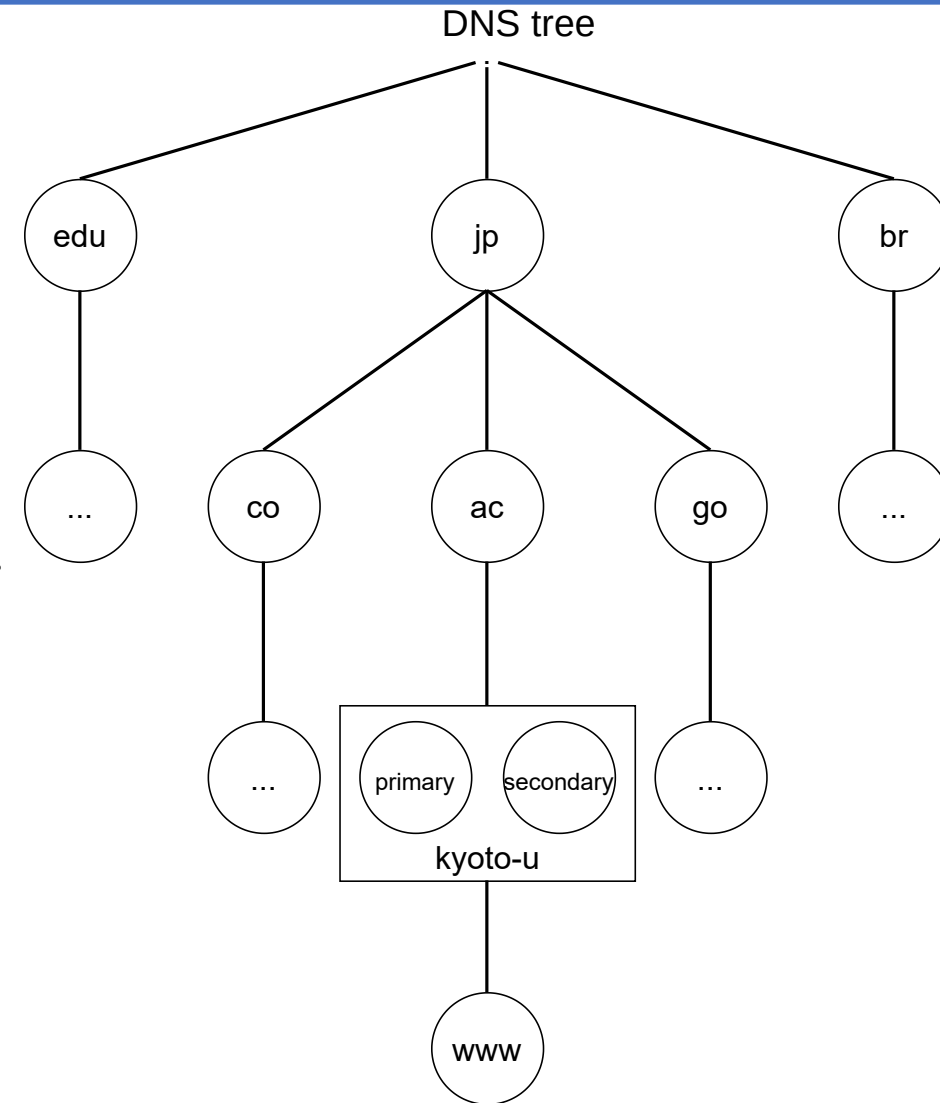
DNS query flow during service access process

Componentes DNS



DNS query flow during service access process

- **Autoritativo** primário e secundário
 - Têm informações completas sobre uma parte específica do domínio, chamada de zona.
- **Zona** é um namespace estruturado em árvore com dados associados a seus nomes por meio de um único ou conjunto de **resource records**.



```
$TTL 3D
@ IN SOA ns1.my-site.com. admin.my-site.com. (
    2009111802 ; serial
    10800      ; refresh, seconds
    1800       ; retry, seconds
    3600000    ; expire, seconds
    86400     ) ; minimum, seconds
NS ns1      ; Inet Address of nameserver
MX 10 mail  ; Primary Mail Exchanger

@      A      10.1.0.2
mail   A      10.1.0.3
ns1    CNAME  my-site.com.
www    CNAME  my-site.com.
webmail.my-site.com. CNAME www
```

- Visualizando a **seção de respostas**, temos as informações associadas para o mesmo **resource record** ou **RRSet**.

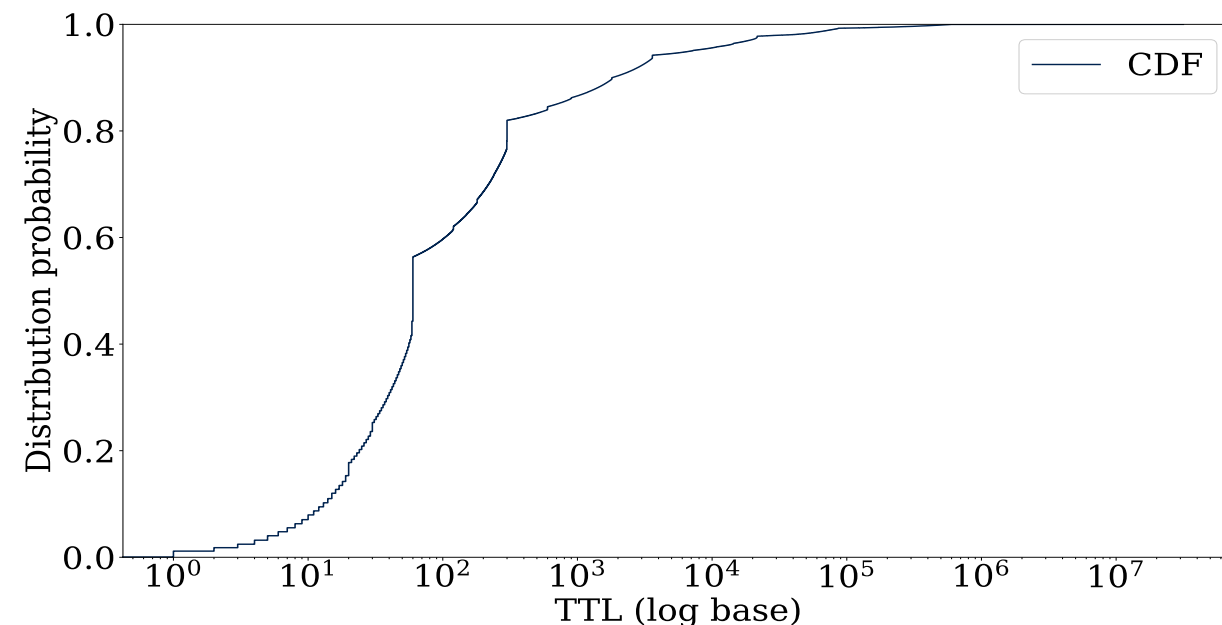
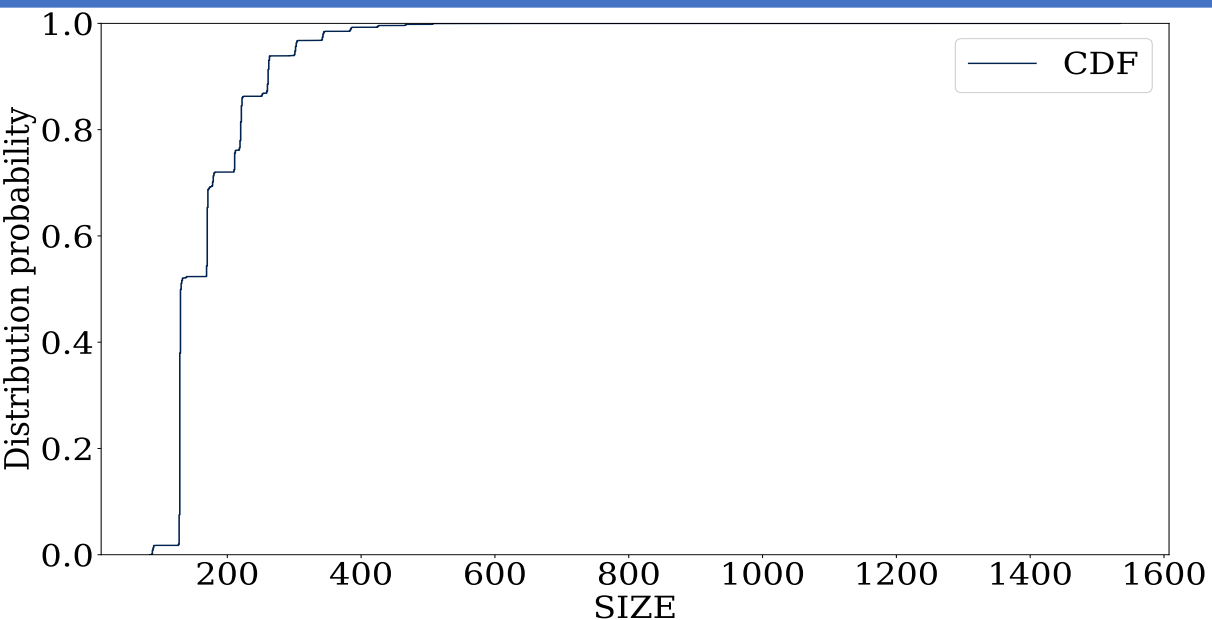
```
; ANSWER SECTION:
wtr.pop-ba.rnp.br. 39 IN CNAME web3.pop-ba.rnp.br. } RDATA
wtr.pop-ba.rnp.br. 39 IN RRSIG CNAME 5 4 300 20241124104142 20240826104142 52737 pop-ba.rnp.br. AZlkTy9xeUaTB/xSE2I+vMTZZMkL41VJbGLrDNC5giB2L3Th0x2u7H/S C7eIjq3fV7t00JyJxX/bxyPt8bpm2HZxjBwhjmrmM
+E90ZL+22zQKIKl 4cvckL/AZTKKUBA4dchcE0KYmcw30Xto28oesJxi8wPmDX/c9/joFgar IlWHE0ko+oQQzPiv5p0VLzik
web3.pop-ba.rnp.br. 41 IN A 200.128.0.29
web3.pop-ba.rnp.br. 41 IN RRSIG A 5 4 300 20241124104142 20240826104142 52737 pop-ba.rnp.br. bMxnTkbp4/6MjaAj15uwB5LnJitRxP3QHe2foLPBrs372VNm0g6f0aIf 10X5qtVaA7hJiNMrtczG4P0fw1UZN7RxxTgSnA940FkVExpxjAoi3aWWR aE/wzyuS1Rr8G23E66BB850w1P02TB9CLGukbkPQPaQMuvx9aGJxi4Ru XSuh39MLxVu63PzWZqGqRgyZ
```

```
; ANSWER SECTION:
rnp.br. 169 IN A 104.18.27.22 } RRSet
rnp.br. 169 IN A 104.18.26.22
rnp.br. 169 IN RRSIG A 13 2 300 20240910035006 20240908015006 34505 rnp.br. 22YmIQK3XAVUjqfT3CXEISz7fav1mSbrIICCJQKl5TtLRFze0AEFRW9I EtZMC6ckSfjLdwb1K0UhrT2TBVjzPQ==
```

DNSSEC

```
; ANSWER SECTION:
www.cnn.co.jp. 3496 IN CNAME e57395d3fa5ee6dd1caf4489bc955d4e.cdnnext.stream.ne.jp.
e57395d3fa5ee6dd1caf4489bc955d4e.cdnnext.stream.ne.jp. 254 IN CNAME cdnext-svg001-ipb001.stream.ne.jp.
cdnnext-svg001-ipb001.stream.ne.jp. 25 IN A 202.79.240.142
cdnnext-svg001-ipb001.stream.ne.jp. 25 IN A 202.79.240.201
cdnnext-svg001-ipb001.stream.ne.jp. 25 IN A 202.247.51.200
cdnnext-svg001-ipb001.stream.ne.jp. 25 IN A 202.79.241.200
cdnnext-svg001-ipb001.stream.ne.jp. 25 IN A 101.102.235.200
cdnnext-svg001-ipb001.stream.ne.jp. 25 IN A 202.79.241.41
```

CDNs nodes



Data source: Allman (2021)

- A maioria dos **TTLs** de **domínios consultados** com valores mais baixos
 - Responder rapidamente a uma interrupção de serviço
 - Alteração do balanceamento de carga de serviços
 - Diretrizes específicas de operação dos domínios

- A maior parte do conteúdo tem uma dependência de origem (cliente) para encaminhamento.
- **EDNS** (RFC 6891) permite que outros dados sejam trocados sob o datagrama
 - Extensões de Segurança DNS (DNSSEC).
 - Sub-rede do Cliente EDNS (ECS) com informações sobre **localização geográfica** para resolver redirecionamentos errados (RFC 7871).
 - Não é obrigatório informar precisamente, e a autoridade não pode ser usada adequadamente, o que implica uma sugestão de CDN não ótima.
 - A exposição da localização do usuário para resolvedores externos pode ser um problema.

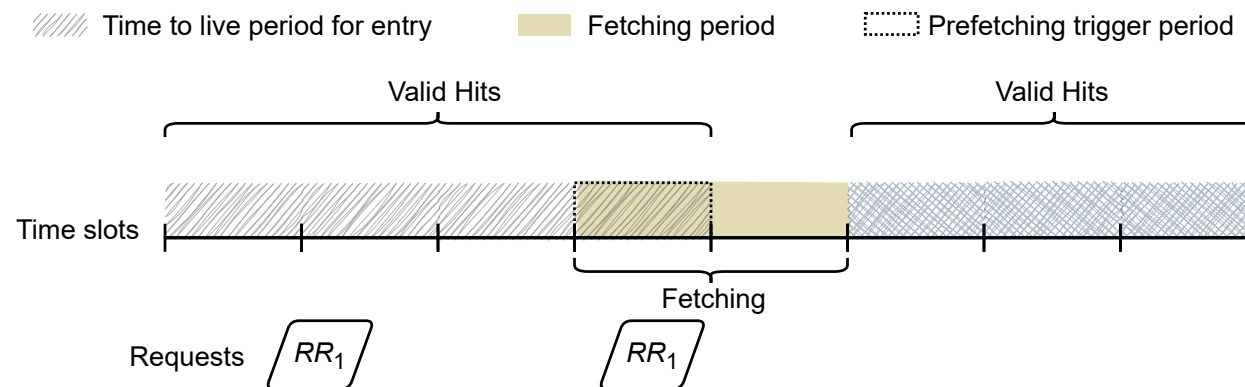
- A maior parte do conteúdo tem uma dependência de origem (cliente) para encaminhamento.
- **EDNS** (RFC 6891) permite que outros dados sejam trocados sob o datagrama
 - Extensões de Segurança DNS (DNSSEC).
 - Sub-rede do Cliente EDNS (ECS) com informações sobre **localização geográfica** para resolver redirecionamentos errados (RFC 7871).
 - Não é obrigatório informar precisamente, e a autoridade não pode ser usada adequadamente, o que implica uma sugestão de CDN não ótima.
 - A exposição da localização do usuário para resolvedores externos pode ser um problema.

Não é mandatório que todos os resolvers, incluindo os públicos, implementem.

- Entre os problemas de cache misses que ocorrem no resolvedor local estão:
 - Poluição do cache por **entradas únicas** [Yuchi, 2016], [Hao and Wang, 2017] e [Yu, 2019] que esgotam os recursos computacionais
 - Domínio com uma política TTL errada que **prematuramente** [Wang, 2013] ou **desnecessariamente** [Moura, 2019] afeta as **remoções** de entradas do cache
 - Problemas de **segurança** relacionados a ataques ao domínio inexistente (NXDomain) com a intenção de sobrecarregar servidores [Alayoff e Einziger, 2023]
 - A **localização** do resolvedor na Internet pode impactar o resultado final da perspectiva dos usuários e as entradas armazenadas no cache [Ager, 2010], [Otto, 2012], [Hours, 2015]
- O DNS Resolver local e seu cache são cruciais para o gerenciamento eficiente de recursos para reduzir o **impacto** na **experiência do usuário** usando o serviço [Zhuang, 2020]
- **Aspecto regional** dos resolvers são um **desafio** até mesmo para serviços de resolução de **DNS públicos** em larga escala [Google, 2021], [Cloudflare]

- Gerenciamento de fila e ajuste do sistema
 - O mecanismo para **controlar o atendimento de solicitações**, que depende do agendamento para threads livres autônomos
 - Ajuste de nível de serviço para melhor resposta e paralelismo
- Política de cache
 - Algoritmo de domínio **geral** (LRU, LFU, etc.) ou **específico** para contexto
- Alocação e posicionamento de recursos
 - **Selecionar PoPs** para implantar
 - Quantidade de **recursos** para serviço e seu cache
- Mitigação de alta carga
 - Lidar com **carga de trabalho** no serviço DNS em padrões normais e anormais, geralmente quando sob ataque (ameaças de segurança)

- Ajuda a **anticipar** as entradas/conteúdos/recursos que devem ser buscados e armazenados no cache com antecedência.
 - No contexto DNS, permite a **renovação** de recursos c/ TTL expirados
- **Atualizar entradas** em cache quando o **TTL** estiver inválido ou quase
 - Soluções ativas, que atualizam entradas após receber uma solicitação do cliente
 - Pode adotar a porcentagem de TTL de entrada como gatilho
 - Ao elevar o hit-ratio aumenta o tráfego para servidores autoritativos



- O RFC 8767 permite que **registros expirados** sejam servidos, o que pode aumentar o **cache-hit ratio** e fallback quando a **autoridade** não estiver acessível (melhorar a resiliência)
 - É necessário definir um tempo máximo de expiração para entradas expiradas e quanto tempo esperar por resposta do upstream
 - É servido aos clientes com um valor de expiração de 30 segundos



Bloomberg Sign In

• Live TV Markets Economics Industries Tech Politics Businessweek Opinion More Asia Edition

Technology
Cybersecurity

The Possible Vendetta Behind the East Coast Web Slowdown

- Millions lose access to Twitter, Spotify, Reddit, CNN
- Dyn says it stopped multiple denial-of-service attacks

Hacked: Who's Responsible for Today's Web-Host Siege?

By [Nate Lanxon](#), [Jeremy Kahn](#), and [Joshua Brustein](#)

October 21, 2016 at 10:08 PM GMT+9
Updated on October 22, 2016 at 2:54 PM GMT+9

- **TTL** máximo e mínimo para **manter uma entrada** no cache
- EDNS Client Subnet para direcionamento performático ao host de **conteúdo**
- Cadeia DNSSEC NSEC para sintetizar NXDOMAIN (RFC 8198)
 - Definir um tamanho de cache negativo
- Limitar o conjunto de **redes clientes** permitidas e a taxa de **recursão** máxima
- Definir um **tamanho de cache** com base na demanda e na taxa de acerto
 - Também é necessário definir limites para RRSets e mensagens
- **Reutilizar** de **portas/sockets** e relacioná-las às **threads**
- Seleção de **algoritmo** de cache por **carga de trabalho**
 - ISP vs Resolvedor de infraestrutura
- **Cache compartilhado** entre um pool de resolvedores
 - Memória cache para uma **mesma região de usuários** podem melhorar a eficiência do cache


- Geralmente, os dados DNS são examinados para **soluções** de **segurança**
- **Coleta de dados** de uso é fundamental para o planejamento, implantação e **melhoria do serviço**
 - Dependência de serviços externos (CDNs, servidores autoritativos, etc.)
 - Eficácia do cache
 - Ajuste do resolver
- Analisar seus **dados** de serviço e **integrá-los** à sua **operação**
 - Amostragem de tráfego do servidor DNS
 - Personalização de logs (soluções de buffers de protocolo ou Syslog)
 - Exportação para ferramentas de armazenamento e visualização (Graylog, ELK, etc.)

- Ferramentas como [PageSpeed Insights \(PSI\)](#), [Lighthouse](#) e [WebPageTest](#) podem ajudar a entender as métricas de desempenho do lado do cliente
 - Largest Contentful Paint (LCP)
 - Interaction to Next Paint (INP)
 - Cumulative Layout Shift (CLS)
 - First Contentful Paint (FCP)
 - First Input Delay (FID)
 - **Time to First Byte (TTFB)**

■ Largest Contentful Paint element – 1,220 ms

This is the largest contentful element painted within the viewport. [Learn more about the Largest Contentful Paint element](#) [LCP]

Element



body.foswiki.js > div#all > section > div.home-carousel
<div class="home-carousel">

Phase	% of LCP	Timing
TTFB	13%	160 ms
Load Delay	54%	660 ms
Load Time	32%	400 ms
Render Delay	1%	10 ms

- A **observabilidade** de dados e componentes de serviço pode melhorar a implantação de serviços de rede do ISP.
- Aumentar as necessidades de **soberania digital** de **serviços** locais
 - Soluções performáticas são vitais para usuários de espera
- Informações **orientadas** por **dados** podem ajudar a **promover mudanças** em protocolos de rede e design de nível de sistema.
 - Estruturas e políticas do gerenciador de sistema de cache
 - Dinamismo na implantação do componentes do DNS

Muito obrigado pela sua atenção!

- FERREIRA, Ibrisol Fontes; OKI, Eiji. [Latency-Aware Cache Mechanism for Resolver Service of Domain Name Systems](#). In: NOMS 2024-2024 IEEE Network Operations and Management Symposium. IEEE, 2024. p. 1-4.
- Cohen, E. and Kaplan, H. (2000). [Prefetching the means for document transfer: A new approach for reducing Web latency](#). Proc. - IEEE INFOCOM, 2(4):854–863.
- Wills, C. E. and Shang, H. (2000). [The contribution of DNS lookup costs to web object retrieval](#). Technical report, Citeseer.
- Jung, J., Sit, E., Balakrishnan, H., and Morris, R. (2002). [DNS performance and the effectiveness of caching](#). IEEE/ACM Trans. Netw., 10(5):589–603.
- Liston, R., Srinivasan, S., and Zegura, E. (2002). [Diversity in DNS performance measures](#). In Proc. 2nd ACM SIGCOMM Work. Internet Meas., page 19.
- Wang, Z. (2013). [Analysis of DNS cache effects on query distribution](#). Sci. World J., 2013:1–8.
- YUCHI, Xuebiao; LEE, Xiaodong; PAN, Lanlan. [Dealing with temporary domain name issues in the DNS](#). In: 2016 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC). IEEE, 2016. p. 778-783.
- HAO, Shuai; WANG, Haining. [Exploring domain name based features on the effectiveness of DNS caching](#). ACM SIGCOMM Computer Communication Review, v. 47, n. 1, p. 36-42, 2017.
- YU, Guangxi et al. [Mitigating negative impacts on DNS caches caused by disposable domain names](#). In: 2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). IEEE, 2019. p. 1-6.
- WANG, Zheng. [Analysis of DNS cache effects on query distribution](#). The Scientific World Journal, v. 2013, n. 1, p. 938418, 2013.
- MOURA, Giovane CM et al. [Cache me if you can: Effects of DNS time-to-live](#). In: Proceedings of the Internet Measurement Conference. 2019. p. 101-115.
- ALAYOFF, Itay; EINZIGER, Gil. [Optimizing DNS Resolvers for High Loads](#). In: 2023 IFIP Networking Conference (IFIP Networking). IEEE, 2023. p. 1-9.
- AGER, Bernhard et al. [Comparing DNS resolvers in the wild](#). In: Proceedings of the 10th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement. 2010. p. 15-21.
- OTTO, John S. et al. [Content delivery and the natural evolution of DNS: remote DNS trends](#), performance issues and alternative solutions. In: Proceedings of the 2012 Internet Measurement Conference. 2012. p. 523-536.
- HOURS, Hadrien et al. [A study of the impact of DNS resolvers on performance using a causal approach](#). In: 2015 27th International Teletraffic Congress. IEEE, 2015. p. 10-18.
- ZHUANG, Shuying et al. [Understanding the latency to visit websites in China: An infrastructure perspective](#). Computer Networks, v. 169, p. 107102, 2020.
- [Performance Benefits | Public DNS | Google for Developers](#) --- developers.google.com. <https://developers.google.com/speed/public-dns/docs/performance>, [Accessed 09-09-2024]
- [How to make the Internet faster for everyone](#) --- cloudflare.com. <https://www.cloudflare.com/learning/performance/more/speed-up-the-web>, [Accessed 09-09-2024]
- KUMARI, Warren; SOOD, Puneet; LAWRENCE, D. RFC 8767-[Serving Stale Data to Improve DNS Resiliency](#). 2020.
- Mark Allman. [Case Connection Zone DNS Transactions](#), 2021.
- [Serve-stale implementation details](#) --- kb.isc.org. <https://kb.isc.org/v1/docs/serve-stale-implementation-details>, [Accessed 09-09-2024]
- [How DNSSEC Works](#) --- cloudflare.com. <https://www.cloudflare.com/dns/dnssec/how-dnssec-works/>, [Accessed 09-09-2024]
- BOEIRA, Demétrio Francisco Freitas et al. [Traffic centralization and digital sovereignty: an analysis under the lens of DNS servers](#). In: NOMS 2024-2024 IEEE Network Operations and Management Symposium. IEEE, 2024. p. 1-9.
- DOAN, Trinh Viet; FRIES, Justus; BAJPAI, Vaibhav. [Evaluating public DNS services in the wake of increasing centralization of DNS](#). In: 2021 IFIP Networking Conference (IFIP Networking). IEEE, 2021. p. 1-9.