

UNIVERSIDADE DE AVEIRO

DEPARTAMENTO DE ELETRÓNICA, TELECOMUNICAÇÕES E
INFORMÁTICA

Multi-Threaded Web Server

Documento de Design e Arquitetura

Sistemas Operativos – 2025/2026

Autores:

Diogo Ruivo (NMec: 126498)

David Cálix (NMec: 125043)

Dezembro 2025

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Arquitetura do Sistema	2
2.1	Processo Master	2
2.2	Processos Worker	3
3	Decisões de Design (Justificação)	3
3.1	Estratégia de Conexão: Serialized Accept	3
4	Estruturas de Dados e IPC	3
4.1	Memória Partilhada (Estatísticas)	3
4.2	Cache LRU (Least Recently Used)	4
5	Funcionalidades Adicionais (Bónus)	4
5.1	Dashboard de Estatísticas	4
5.2	Suporte a HTTP Keep-Alive	5
5.3	Virtual Hosts (VHosts)	5
5.4	Execução de CGI	5
5.5	Range Requests (HTTP 206)	5
5.6	Rotação Automática de Logs	5
6	Mecanismos de Sincronização	5
7	Conclusão	6

1 Introdução

O presente documento descreve as decisões de arquitetura e design tomadas durante o desenvolvimento do servidor web *ConcurrentHTTP*. O objetivo principal foi criar um sistema robusto, escalável e tolerante a falhas, capaz de processar múltiplos pedidos HTTP simultaneamente.

A solução combina multiprocessamento (para isolamento e robustez) com multithreading (para concorrência eficiente), utilizando primitivas de sincronização POSIX para garantir a integridade dos dados compartilhados.

2 Arquitetura do Sistema

O sistema segue o modelo **Master-Worker**, complementado por uma arquitetura interna de **Thread Pool** em cada Worker.

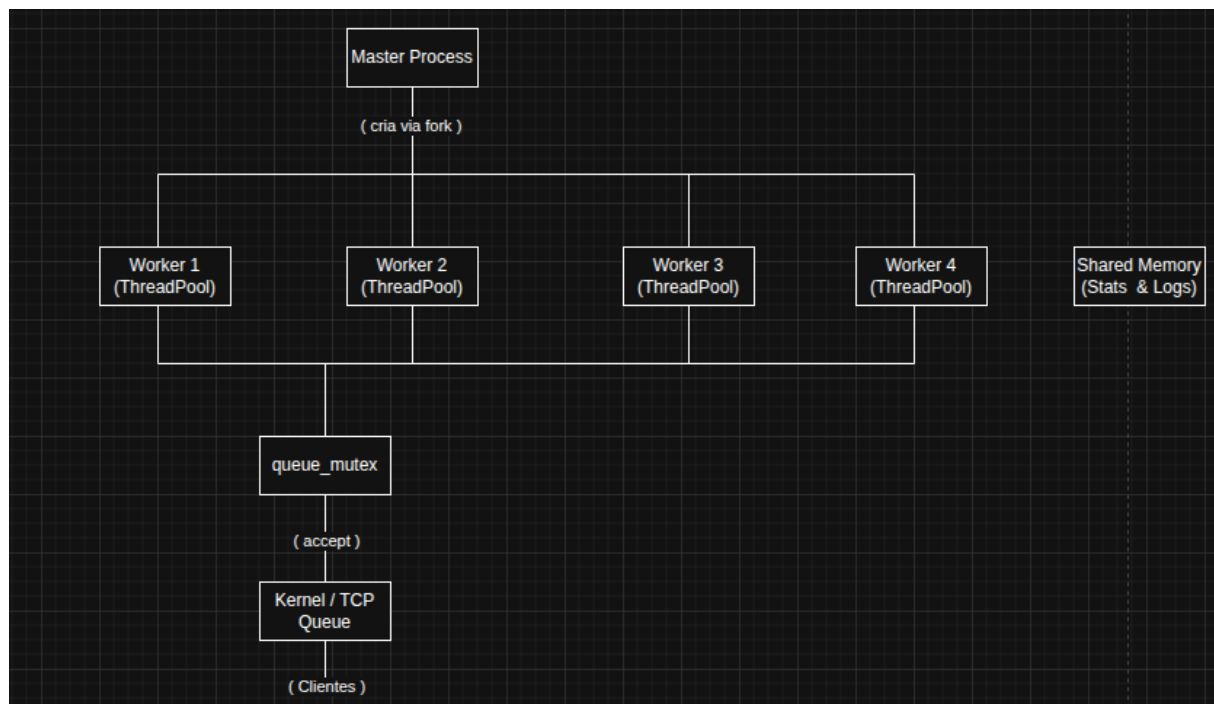


Figura 1: Arquitetura Master-Worker com Serialized Accept e Memória Partilhada.

2.1 Processo Master

O processo Master é responsável pela inicialização do sistema e gestão do ciclo de vida. As suas tarefas incluem:

- Criação e limpeza de recursos IPC (Memória Partilhada e Semáforos).
- Criação do *Listening Socket* na porta configurada.

- Criação dos processos Worker via `fork()`.
- Monitorização de sinais (`SIGINT`, `SIGTERM`) para encerramento gracioso.

2.2 Processos Worker

Cada Worker herda o descritor de ficheiro do socket de escuta. Internamente, cada Worker gere:

- Uma **Thread Pool** de tamanho fixo para processamento de pedidos.
- Uma **Cache LRU** local para ficheiros estáticos.
- A aceitação de novas conexões de forma sincronizada.

3 Decisões de Design (Justificação)

Esta secção detalha as escolhas técnicas mais importantes para a escalabilidade do sistema.

3.1 Estratégia de Conexão: Serialized Accept

Optou-se por desviar da sugestão de 'Master-Producer' do enunciado em prol da arquitetura 'Serialized Accept' para evitar o overhead de serialização de descritores de ficheiro e reduzir a latência.

Esta decisão baseou-se nos seguintes fatores técnicos:

1. **Eficiência:** Evita-se o overhead de copiar descritores entre processos via *Unix Domain Sockets*.
2. **Gestão de Fila:** Delega-se a gestão da fila de espera (*backlog*) ao Kernel do Linux, que é altamente otimizado.
3. **Prevenção de Thundering Herd:** Utiliza-se um semáforo (`queue_mutex`) antes do `accept()` para garantir que apenas um Worker acorda quando chega uma nova conexão.

4 Estruturas de Dados e IPC

As estruturas de dados foram desenhadas para minimizar o bloqueio e garantir a coerência.

4.1 Memória Partilhada (Estatísticas)

A estrutura `server_stats_t` armazena o estado global do servidor (pedidos totais, bytes, conexões ativas), acessível por todos os processos e protegida pelo semáforo `stats_mutex`.

4.2 Cache LRU (Least Recently Used)

A estrutura de dados subjacente combina uma lista duplamente ligada (para a ordenação temporal dos acessos) com um mecanismo de *lookup* linear para identificar os ficheiros em cache.

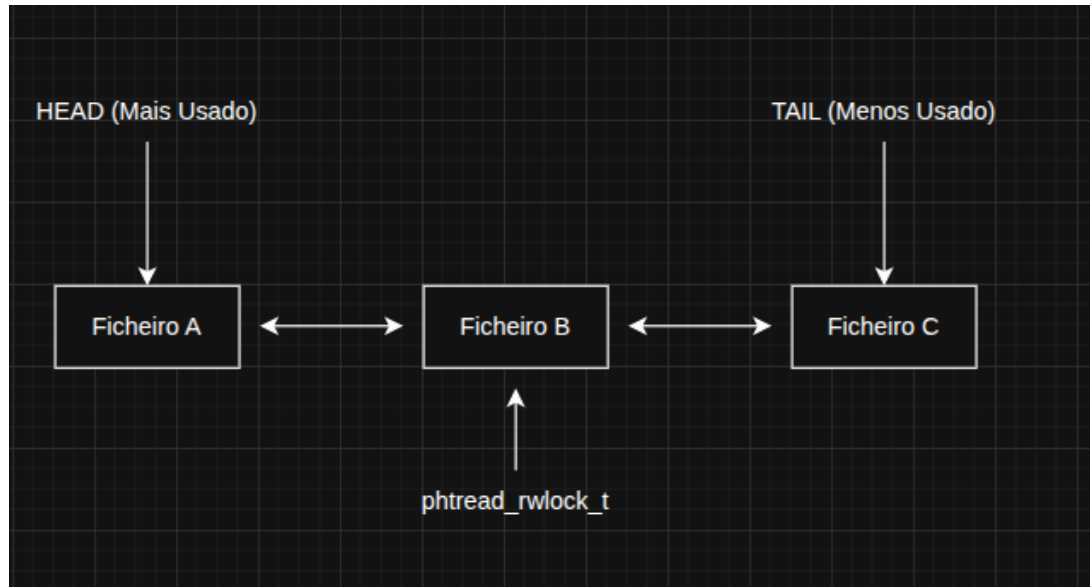


Figura 2: Estrutura interna da Cache LRU com lista duplamente ligada.

Estratégia de Sincronização: Utiliza-se um *Reader-Writer Lock* (`pthread_rwlock_t`) para proteger a estrutura. Embora este tipo de *lock* suporte leituras paralelas, a implementação rigorosa da política LRU exige que qualquer acesso a um ficheiro (mesmo de leitura) atualize a sua posição na lista duplamente ligada (movendo-o para a cabeça).

Por conseguinte, optou-se por adquirir o *lock* de escrita (`wrlock`) durante a operação de leitura (`cache_get`). Esta decisão de *design* prioriza a integridade estrutural da lista e a correção da política de substituição em detrimento do paralelismo total nas leituras, prevenindo corrupção de ponteiros em acessos concorrentes.

5 Funcionalidades Adicionais (Bónus)

Além dos requisitos base, o sistema integra 6 funcionalidades avançadas para maior robustez e versatilidade.

5.1 Dashboard de Estatísticas

Gera dinamicamente uma página HTML com métricas em tempo real (uptime, tráfego, cache hits), permitindo monitorização sem acesso à consola.

5.2 Suporte a HTTP Keep-Alive

Permite a reutilização de conexões TCP para múltiplos pedidos do mesmo cliente, reduzindo a latência do *handshake* TCP.

5.3 Virtual Hosts (VHosts)

Permite alojar múltiplos sites na mesma porta, servindo conteúdos diferentes com base no cabeçalho `Host` do pedido HTTP.

5.4 Execução de CGI

Suporta a execução de scripts dinâmicos (Python), criando um processo filho para executar o script e devolvendo o seu output ao cliente.

5.5 Range Requests (HTTP 206)

Implementa o suporte para downloads parciais de ficheiros (byte ranges), essencial para streaming de vídeo e retoma de downloads.

5.6 Rotação Automática de Logs

Gere automaticamente o tamanho do ficheiro de registo, rodando-o quando excede um limite (10MB) para evitar o enchimento do disco.

6 Mecanismos de Sincronização

O sistema utiliza uma abordagem híbrida de sincronização. É fundamental distinguir entre as primitivas **Inter-Processo (IPC)**, que residem em memória partilhada no sistema (`/dev/shm`) para coordenar os múltiplos processos Worker, e as primitivas **Intra-Processo**, que gerem a concorrência entre threads dentro do espaço de endereçamento de cada processo. O sistema utiliza uma combinação de primitivas POSIX para diferentes âmbitos:

Mecanismo	Nome	Função
Semáforo (IPC)	<code>queue_mutex</code>	Serializa o acesso ao <code>accept()</code> entre Workers.
Semáforo (IPC)	<code>stats_mutex</code>	Protege a escrita na Memória Partilhada.
Semáforo (IPC)	<code>log_mutex</code>	Garante escrita atômica no ficheiro de log.
Mutex (Thread)	<code>pool->mutex</code>	Protege a fila de tarefas da Thread Pool.
RWLock (Thread)	<code>cache->lock</code>	Garante exclusividade da lista LRU durante leituras.

Tabela 1: Resumo das Primitivas de Sincronização.

7 Conclusão

A arquitetura desenhada cumpre os requisitos de robustez e performance. A escolha pelo *Serialized Accept* simplificou a implementação sem comprometer a escalabilidade, enquanto o uso rigoroso de ferramentas de verificação como o *Valgrind* garantiu a ausência de fugas de memória.