

Application Containers

Introdução Engenharia Informática

Mário Antunes

October 20, 2025

Universidade de Aveiro

Introdução aos Contentores

Uma Forma Moderna de Empacotar e Executar Aplicações

Antes de começarmos, vamos definir alguns termos-chave.

- **Imagem (Image):** Um modelo inerte, apenas de leitura, que contém uma aplicação e as suas dependências. Pense nisto como uma **planta** ou uma classe em programação orientada a objetos.
- **Contentor / Instância (Container / Instance):** Uma **instância** executável de uma imagem. Esta é a aplicação real, a correr (como um objeto criado a partir de uma classe). Os termos são frequentemente usados de forma intercambiável.
- **Registo (Registry):** Um sistema de armazenamento para imagens de contentores. O **Docker Hub** é um registo público popular.
- **Motor Docker (Docker Engine):** A aplicação cliente-servidor subjacente que constrói e executa os

O Problema: “Na Minha Máquina Funciona!” 🤔

Todos os programadores já enfrentaram este problema clássico:

- A sua aplicação funciona perfeitamente no seu portátil (que tem Python 3.9, uma versão específica de uma biblioteca, e corre Debian).
- Quando a entrega a um colega (que tem Python 3.8 e corre macOS) ou a implementa num servidor (a correr um SO mais antigo), ela falha.

Estas diferenças nos ambientes criam um enorme desafio para a portabilidade do software.

Um **contentor** é uma unidade de software padrão e executável que empacota o código de uma aplicação juntamente com todas as suas dependências de tempo de execução. Este pacote é **isolado**, garantindo que a aplicação corre de forma uniforme e consistente em qualquer lugar.

Analogia: Um contentor é como um contentor de transporte padronizado. Não importa o que está lá dentro; pode ser manuseado por qualquer navio compatível (máquina anfitriã).

Como o Isolamento é Alcançado: Namespaces

Os contentores correm à velocidade **máxima do hardware** porque são apenas processos isolados no kernel do anfitrião. O isolamento é fornecido pelos **Namespaces do Linux**.

Os Namespaces virtualizam os recursos do sistema para um processo, fazendo parecer que este tem a sua própria cópia privada. Os namespaces-chave incluem:

- **PID:** Isola os IDs dos processos. Dentro do contentor, a sua aplicação é o PID 1.
- **NET:** Fornece uma pilha de rede isolada (endereços IP, tabelas de encaminhamento).
- **MNT:** Isola os pontos de montagem do sistema de ficheiros.

Analogia: Os Namespaces são como as paredes, caixas de correio privadas e chaves de porta únicas para cada

Como os Recursos são Geridos: Cgroups

Para evitar que um contentor consuma todos os recursos do sistema, o kernel do Linux usa **Control Groups (cgroups)**.

Os Cgroups permitem que o anfitrião limite e monitorize os recursos que um contentor pode usar, tais como:

- Uso de CPU (p. ex., limitar a 1 núcleo de CPU).
- Memória (p. ex., limitar a 512 MB de RAM).
- Largura de banda de I/O de disco.

Analogia: Os Cgroups são como os contadores de serviços públicos e os disjuntores de cada apartamento, garantindo que nenhum inquilino pode usar toda a água ou eletricidade do prédio.

VMs vs. Contentores #1

- **Máquinas Virtuais (VMs)** virtualizam o **hardware**. Cada VM inclui uma cópia completa de um SO convidado e do seu kernel. São pesadas e demoram minutos a arrancar.
- **Contentores** virtualizam o **sistema operativo**. Partilham o kernel do sistema anfitrião e são leves, arrancando em segundos.

VMs vs. Contentores #2

Característica	Máquinas Virtuais (VMs)	Contentores
Analogia	 Casas: Totalmente autónomas.	 Apartamentos: Partilham a infraestrutura do prédio.
Nível de Abstração	Virtualização de Hardware	Virtualização de SO
Tamanho	Gigabytes (GB)	Megabytes (MB)
Tempo de Arranque	Minutos	Segundos ou menos
Sobrecarga	Baixa a Média	Muito Baixa (Quase nativa)
Uso de Recursos	Mais elevado (SO completo por VM)	Mais baixo (Kernel do SO partilhado)
Isolamento	Forte (Nível de hardware)	Bom (Nível de processo)
Portabilidade	Portátil (mas grande)	Extremamente Portátil

A Imagem do Contentor e as Suas Camadas

Uma **imagem** é um modelo apenas de leitura construído a partir de uma série de **camadas** empilhadas. Cada instrução num Dockerfile cria uma nova camada.

Isto torna as construções (builds) rápidas e o uso de disco eficiente, já que múltiplas imagens podem partilhar camadas base comuns.

Por defeito, o sistema de ficheiros de um contentor é **efémero** (apagado quando o contentor para).

Para guardar dados permanentemente, usam-se **volumes**, que mapeiam um *diretório* dentro do contentor para um *diretório* na máquina anfitriã.

Rede de Contentores e DNS

O motor de contentores cria uma **rede virtual em modo ponte (bridge)**. Os contentores na mesma rede recebem um IP privado e podem comunicar entre si.

- **Mapeamento de Portas:** Para expor o serviço de um contentor ao mundo exterior, mapeia-se uma porta do anfitrião para uma porta do contentor (p. ex., -p 8080:80).
- **DNS Interno:** Ao usar o Docker Compose, cada serviço pode alcançar outro usando o nome do serviço como hostname. O código da sua webapp pode simplesmente conectar-se a `http://database` para chegar ao contentor da base de dados.

Apresentando o Docker

O Docker é a plataforma que popularizou os contentores. Fornece um conjunto simples de ferramentas para construir, distribuir e executar qualquer aplicação, em qualquer lugar.

- **Docker Engine:** O serviço de fundo (daemon) que gere os contentores.
- **Docker CLI:** A ferramenta de linha de comandos que usa para interagir com o Docker Engine.
- **Docker Hub:** Um registo público de imagens de contentores pré-construídas.

Comandos Docker Comuns

Comando	Descrição
<code>docker run [imagem]</code>	Cria e inicia um novo contentor a partir de uma imagem.
<code>docker ps</code>	Lista todos os contentores em execução. <code>ps -a</code> lista todos (em execução ou parados).
<code>docker stop [id/nome]</code>	Para um contentor em execução de forma controlada.
<code>docker rm [id/nome]</code>	Remove um contentor parado.
<code>docker logs [id/nome]</code>	Obtém os logs (saída padrão) de um contentor.
<code>docker pull [imagem]</code>	Descarrega uma imagem de um registo (como o Docker Hub).
<code>docker images</code>	Lista todas as imagens armazenadas localmente.
<code>docker build -t [nome] .</code>	Constrói uma nova imagem a partir de um Dockerfile no diretório atual.

O Dockerfile: Uma Análise Detalhada

Um Dockerfile é uma receita para construir uma imagem de contentor. Aqui estão as instruções mais comuns:

- FROM: Especifica a imagem base sobre a qual construir (p. ex., `ubuntu:22.04`).
- WORKDIR: Define o diretório de trabalho para os comandos seguintes.
- COPY: Copia ficheiros ou diretórios do anfitrião para a imagem.

- RUN: Executa um comando durante o processo de construção da imagem (p. ex., RUN apt-get install -y nginx).
- CMD: Fornece o comando padrão a ser executado quando um contentor é iniciado a partir da imagem.
- ENTRYPOINT: Configura o contentor para ser executado como um executável.
- EXPOSE: Informa o Docker que o contentor escuta nas portas de rede especificadas em tempo de execução.
- ENV: Define variáveis de ambiente persistentes.

Exemplo de Dockerfile: Um Serviço de Logs

Este Dockerfile simples cria um serviço cujo único trabalho é imprimir um carimbo de data/hora a cada 5 segundos. Isto é perfeito para testar o comando `docker logs`.

```
# Usar uma imagem base mínima
FROM alpine:latest
```

```
# O comando a executar quando o contentor arranca.
# É um ciclo infinito que imprime a data atual
# e espera 5 segundos.
```

```
CMD ["sh", "-c", "while true; do echo \"[LOG] Servidor a correr em $(date)\"; sleep 5; done"]
```

Para construir e executar:

```
$ docker build -t logging-service .  
$ docker run -d --name logger logging-service  
$ docker logs -f logger
```

Docker Compose: Uma Análise Detalhada

Um ficheiro `compose.yml` define uma aplicação multi-serviço. Aqui estão as chaves mais comuns:

- `services`: A chave raiz onde todos os serviços da sua aplicação são definidos.
- `image`: Especifica uma imagem pré-construída de um registo (como o Docker Hub).
- `build`: Especifica o caminho para um `Dockerfile` para construir a imagem do serviço.

- `ports`: Mapeia portas do anfitrião para o contentor (p. ex., "8080:80").
- `volumes`: Monta caminhos do anfitrião ou volumes nomeados no contentor.
- `environment`: Define variáveis de ambiente para o serviço.
- `depends_on`: Define dependências entre serviços, controlando a ordem de arranque.

Exemplo Compose 1: Construir uma Imagem NGINX Personalizada

Este exemplo mostra como empacotar os ficheiros do seu site diretamente numa imagem personalizada.

Estrutura de Ficheiros Necessária:

```
.
├── docker-compose.yml
├── Dockerfile
└── my-website/
    └── index.html
```

Dockerfile

```
# Usar a imagem oficial do NGINX como base
FROM nginx:alpine
```

```
# Copiar a nossa página web personalizada para o diretório raiz da web da imagem
COPY ./my-website /usr/share/nginx/html
```

docker-compose.yml

```
services:
  webserver:
    build: .
    ports:
      - "8080:80"
```

Exemplo 1: Explicação

Neste método, criamos uma **imagem autónoma e portátil** que inclui o código da nossa aplicação.

1. Quando executa `docker-compose up`, a diretiva `build: .` diz ao Compose para procurar um `Dockerfile` no diretório atual.
2. O `Dockerfile` começa a partir de uma imagem base padrão do `nginx`.
3. A instrução `COPY` pega na sua pasta local `./my-website` e copia o seu conteúdo diretamente para o sistema de ficheiros da imagem em `/usr/share/nginx/html`.
4. É criada uma nova imagem personalizada contendo tanto o `NGINX` como a sua página web.
5. Um contentor é iniciado a partir desta nova imagem.

Conceito-Chave: A aplicação e o seu código são empacotados juntos. Isto é ideal para **implementações de produção**, já que a imagem resultante é um artefacto consistente e imutável que pode ser executado em qualquer lugar.

Exemplo Compose 2: Usar um Volume para Servir Conteúdo

Este exemplo usa uma imagem NGINX padrão e injeta o conteúdo do site usando um volume.

Estrutura de Ficheiros Necessária:

```
.
├── docker-compose.yml
└── my-website/
    └── index.html
```

docker-compose.yml

```
services:
  webserver:
    image: nginx:alpine
    ports:
      - "8080:80"
    volumes:
      - ./my-website:/usr/share/nginx/html
```

(Não é necessário Dockerfile para este método)

Exemplo 2: Explicação

Este método mantém o seu código na máquina anfitriã e liga-o dinamicamente ao contentor.

1. Quando executa `docker-compose up`, a diretiva `image: nginx:alpine` diz ao Compose para ir buscar a imagem padrão do NGINX ao Docker Hub. Nenhuma imagem personalizada é construída.
2. Um contentor é iniciado a partir desta imagem padrão.
3. A diretiva `volumes` cria uma ligação em tempo real entre a pasta `./my-website` no seu anfitrião e a pasta `/usr/share/nginx/html` dentro do contentor.
4. Quando o NGINX dentro do contentor procura ficheiros para servir, está na verdade a lê-los diretamente do disco da sua máquina anfitriã.

Conceito-Chave: O contentor não tem estado (stateless), e o código vive no anfitrião. Se alterar o seu ficheiro `index.html` no anfitrião, a alteração é refletida **instantaneamente** sem reconstruir ou reiniciar o contentor. Isto é ideal para **desenvolvimento local**.

Exemplo Compose 3: NGINX com uma Cache Varnish

Este exemplo avançado orquestra dois serviços: um servidor web NGINX e uma cache Varnish que se posiciona à sua frente para acelerar a entrega de conteúdo.

Estrutura de Ficheiros Necessária:

```
.
├── docker-compose.yml
└── varnish/
    └── default.vcl
```

varnish/default.vcl (Configuração do Varnish)

```
vcl 4.1;

// Definir o servidor de backend de onde o Varnish irá obter o conteúdo.
// 'nginx' é o nome do nosso outro serviço no docker-compose.yml.
backend default {
    .host = "nginx";
    .port = "80";
}
```

docker-compose.yml

```
services:
  # A cache Varnish que é exposta ao mundo exterior
  cache:
    image: varnish:stable
    volumes:
      # Montar a nossa configuração personalizada do Varnish
      - ./varnish:/etc/varnish
    ports:
      # Mapear a porta 8080 do anfitrião para a porta 80 da cache
      - "8080:80"
    depends_on:
      - nginx

  # O servidor web NGINX, que NÃO é exposto ao anfitrião
  nginx:
    image: nginx:alpine
    # Nenhuma seção de portas significa que só é acessível a partir da rede Docker
```

Exemplo 3: Explicação

Esta configuração demonstra uma arquitetura multi-camada realista e de alto desempenho, onde os serviços comunicam internamente.

1. O `docker-compose.yml` define dois serviços: `cache` (Varnish) e `nginx`.
2. Apenas o serviço `cache` expõe uma porta (8080) à máquina anfitriã. O serviço `nginx` está completamente isolado do mundo exterior.
3. O ficheiro de configuração personalizado do Varnish (`default.vcl`) é montado no contentor `cache`. Este ficheiro diz ao Varnish que o seu “backend” (o servidor web real) está localizado no hostname `nginx`.
4. Graças ao **DNS interno** do Docker, o nome do serviço `nginx` resolve automaticamente para o endereço IP privado do contentor `nginx`, permitindo que o Varnish ^{31/38} se conecte a ele.

O Fluxo do Pedido: Browser do Utilizador → Máquina Anfitriã (Porta 8080) → Contentor Varnish (Cache) → Contentor NGINX (Servidor de Origem)

A Magia do Caching: No primeiro pedido de uma página web, o Varnish vai buscá-la ao contentor nginx e armazena uma cópia na sua memória. Para todos os pedidos subsequentes da mesma página, o Varnish serve a cópia diretamente da sua cache, o que é incrivelmente rápido e evita que o servidor NGINX tenha de fazer qualquer trabalho.

Conceito-Chave: Isto demonstra uma poderosa **descoberta de serviços (service discovery)** e a criação de um **proxy reverso**, um padrão fundamental na arquitetura web.

A Origem: Linux Containers (LXC)

Antes do Docker, havia o **LXC**.

- O LXC é uma interface de espaço de utilizador para as funcionalidades de contenção do kernel Linux (namespaces e cgroups).
- Fornece um conjunto de ferramentas de mais baixo nível para criar e gerir contentores.
- Os contentores LXC são frequentemente descritos como sendo mais parecidos com máquinas virtuais muito leves e de arranque rápido do que com contentores de aplicação. Eles tipicamente executam um sistema `init` completo e são usados para isolar sistemas operativos inteiros.

O Padrão: Docker

O Docker pegou na tecnologia subjacente do LXC e construiu um ecossistema de alto nível e amigável ao utilizador à sua volta.

- Introduziu o conceito de imagens portáteis através do `Dockerfile`.
- Criou um registo centralizado (Docker Hub) para partilhar imagens.
- O seu foco são os contentores **centrados na aplicação**, empacotando uma única aplicação ou processo por contentor. Esta filosofia é uma pedra angular da arquitetura de microsserviços.

A Alternativa Moderna: Podman

O Podman é uma alternativa popular e moderna ao Docker, desenvolvida pela Red Hat.

- **Sem Daemon:** Ao contrário do Docker, o Podman não requer um daemon central sempre em execução, o que é frequentemente citado como um benefício de segurança.
- **Sem Root (Rootless):** O Podman foi projetado para executar contentores como um utilizador regular, sem necessitar de privilégios de root.
- **Compatível com CLI:** A interface de linha de comandos do Podman é intencionalmente idêntica à do Docker. Em muitos sistemas, pode simplesmente executar `alias docker=podman` e usar os mesmos comandos que já conhece.

Conclusão e Pontos-Chave

- Os contentores resolvem o problema do “na minha máquina funciona”, empacotando uma aplicação com as suas dependências numa unidade **portátil**.
- Eles alcançam isolamento e gestão de recursos através de funcionalidades do kernel Linux como **namespaces** e **cgroups**.
- O **Dockerfile** fornece uma receita para construir imagens, e o **Docker Compose** ajuda a gerir aplicações multi-serviço.
- Os contentores revolucionaram o desenvolvimento de software, formando a base das práticas modernas de **DevOps** e **cloud-native**.

Para continuar a sua jornada de aprendizagem com contentores, aqui estão alguns excelentes recursos:

- **Folha de Consulta Oficial do Docker:** Uma referência oficial e concisa para os comandos mais comuns.
 - https://docs.docker.com/get-started/docker_cheatsheet.pdf
- **Folha de Consulta Definitiva do Docker (Collabnix):** Uma folha de consulta mais abrangente com exemplos detalhados e explicações.
 - <https://dockerlabs.collabnix.com/docker/cheatsheet/>

- **Como Otimizar Imagens Docker (GeeksforGeeks):**
Aprenda técnicas como builds multi-estágio para tornar as suas imagens mais pequenas, rápidas e seguras.
 - <https://www.geeksforgeeks.org/devops/how-to-optimize-docker-image/>
- **Otimizar Dockerfiles para Builds Rápidas (WarpBuild):** Entenda como estruturar o seu Dockerfile para tirar o máximo partido do cache de camadas e acelerar significativamente o seu processo de construção.
 - <https://www.warpbuid.com/blog/optimizing-docker-builds>
- **LinuxServer.io:** Um projeto comunitário que fornece e mantém imagens de contentores de alta qualidade e fáceis de usar para muitas aplicações auto-hospedadas populares (como servidores de multimédia, clientes de ^{38/38}