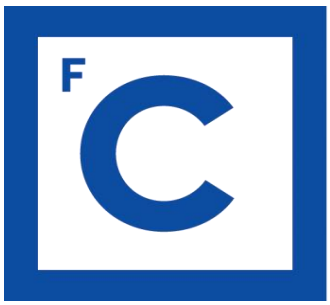


Ciências ULisboa

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Departamento de Informática

Mestrado em Engenharia Informática

Relatório

Configuração e Gestão de Sistemas

Performance Estimate

Aluno: **Rodrigo Craveiro Rodrigues (fc64370)**

Professor: **Doutor Hugo Miranda**

2º Semestre Letivo 2024/2025

maio 2025

Índice

1. Introdução

Este relatório analisa uma **infraestrutura web** organizada em várias camadas para determinar o **débito máximo em visualizações de página por segundo (pv/s)**, garantindo que nenhum dos componentes ultrapasse **30% de utilização**. Em seguida, propõe-se um **plano de redundância** para **duplicar** esta capacidade mantendo a margem de segurança operacional, incorporando avaliações ao recorrer a **métricas** e **leis fundamentais de desempenho** do sistema.

2. Pressupostos

- Cada visualização de página gera **60 pedidos HTTP** e transfere **5 MB** de dados para o cliente (aproximadamente **83 KB por pedido**).
- Dos **60 pedidos HTTP**:
    - **30%** são para conteúdos estáticos (logotipos, CSS, imagens), tratados pelo sistema de cache.
    - **70%** são pedidos dinâmicos:
        - **10%** correspondem a operações de escrita na DB.
        - **50%** a operações de leitura na DB.
        - **10%** correspondem a outras operações dinâmicas (*overhead* de aplicação).
- Todos os componentes estão configurados em **modo ativo**, pelo que as suas capacidades somam linearmente.
- Objetivo de **utilização máxima de 30% da capacidade** nominal de cada componente.
- **Tempo médio de resposta** estimado para um pedido ao servidor web: **0,5 segundos**.
- **Disponibilidade base** de cada componente individual: **99,9%.**

3. Arquitetura do Sistema

O sistema é composto pelos seguintes componentes:

- **Camada de Segurança**: **2** ***firewalls*** (externa e interna), cada um com capacidade de **250 Mbps**.
- **Camada de Distribuição de Carga**: ***2 load balancers***, cada um capaz de processar **10.000 pedidos/min**.

- **Camada de Cache**: ***3 web caches***, cada uma capaz de processar **8.000 pedidos/min.**
- **Camada de Aplicação**: **10 servidores web**, cada um capaz de processar **120 pedidos/min.**
- **Camada de Dados**: **5 servidores de BD**, cada um com capacidade de **1 transação de escrita/seg** e **10 transações de leitura/seg.**

4. Metodologia

1. **Converter** todas as capacidades para **unidades p/segundo**.
2. **Calcular o valor** correspondente a **30% da capacidade** nominal de cada componente.
3. **Determinar quantos pedidos/megabits p/seg** cada componente consegue processar a **30%.**
4. **Dividir o valor pela "procura"** (número de pedidos/megabits exigidos por visualização de página) para **obter o débito em pv/s**.
5. **Identificar o *bottleneck***: o componente com menor capacidade em pv/s.
6. **Aplicar leis fundamentais de performance** (Lei de Little, Lei do Fluxo Forçado) para análise complementar.
7. **Realizar análise de resiliência** e **comportamento** em condições de pico.

5. Análise de Capacidade

5.1 Conversão para Unidades Comuns

Componente	Capacidade Original	Conversão	Capacidade (p/seg)
Firewalls	2 x 250 Mbps		500 Mbps
Load Balancer 1	2 x 10.000 req/m	÷ 60	333,33 req/s
Web Caches	3 x 8.000 req/m	÷ 60	400 req/s
Load Balancer 2	2 x 10.000 req/m	÷ 60	333,33 req/s
Servidores Web	10 x 120 req/m	÷ 60	20 req/s
BD (Escrita)	5 x 1 w/s		5 w/s

BD (Leitura)	5 x 10 r/s		50 r/s

5.2 Cálculo da Capacidade a 30% de Utilização

Para cada componente, podemos calcular o **limite de 30% da sua capacidade máxima**:

Componente	Capacidade (p/segundo)	30% da Capacidade
Firewalls Externos	500 Mbps	150 Mbps
Load Balancer 1	333,33 req/s	100 req/s
Web Caches	400 req/s	120 req/s
Firewalls Internos	500 Mbps	150 Mbps
Load Balancer 2	333,33 req/s	100 req/s
Servidores Web	20 req/s	6 req/s
BD (Escrita)	5 w/s	1,5 w/s
BD (Leitura)	50 r/s	15 r/s

5.3 Cálculo da Procura por Visualização de Página

Podemos determinar quanto **cada visualização de página** exige de cada componente:

Componente	Cálculo da Procura	Procura p/Page-view
Firewalls Externos	5 MB x 8 bits/byte	40 Mb
Load Balancer 1	Todos os pedidos	60 req
Web Caches	30% dos pedidos	18 req
Firewalls Internos	70% x 5 MB x 8	28 Mb
Load Balancer 2	70% dos pedidos	42 req
Servidores Web	70% dos pedidos	42 req
BD (Escrita)	10% dos pedidos	6 req
BD (Leitura)	50% dos pedidos	30 req

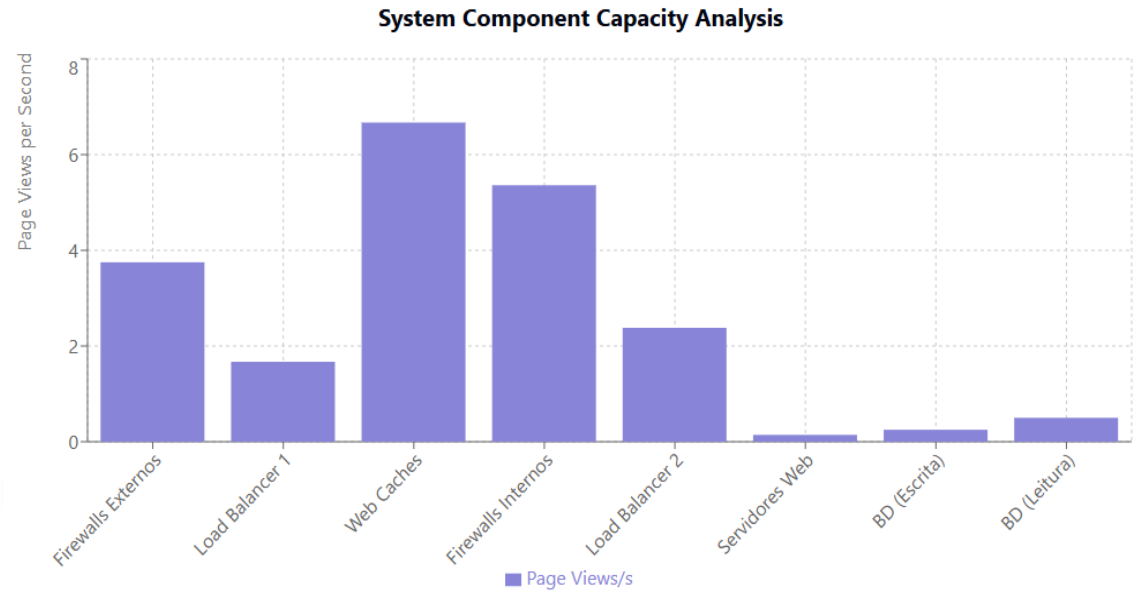
5.4 Cálculo Final da Capacidade Máxima

Com base nos cálculos anteriores, podemos determinar **quantas visualizações de página p/seg** cada componente suporta a **30% de utilização**:

Componente	30% da Capacidade	Procura p/Page-view	Máximo Page-views/s
Firewalls Externos	150 Mbps	40 Mb	150/40 = 3,75
Load Balancer 1	100 req/s	60 req	100/60 = 1,67
Web Caches	120 req/s	18 req	120/18 = 6,67
Firewalls Internos	150 Mbps	28 Mb	150/28 = 5,36
Load Balancer 2	100 req/s	42 req	100/42 = 2,38
Servidores Web	6 req/s	42 req	6/42 = 0,143
BD (Escrita)	1,5 w/s	6 req	1,5/6 = 0,25
BD (Leitura)	15 r/s	30 req	15/30 = 0,50

O ***bottleneck*** do sistema são claramente os **servidores web**, limitando a capacidade total a **0,143 visualizações de página p/seg** (aproximadamente **8,6 visualizações p/min**).

Os resultados obtidos anteriormente encontram-se representados no seguinte **gráfico** de uma forma mais clara.



6. Redundância para Duplicar Capacidade

Para atingir aproximadamente **0,286 pv/s** (o **dobro da capacidade atual**) **sem exceder 30% de utilização** em nenhum componente:

Componente	Capacidade atual (pv/s)	Capacidade desejada (pv/s)	Capacidade necessária	Ação recomendada
Servidores Web	0,143	0,286	20 servidores (10 para 20)	Adicionar 10 servidores
BD (Escrita)	0,25	0,286	6 servidores (5 para 6)	Adicionar 1 servidor

Os componentes ***firewalls, caches, load balancers*** e **réplicas de leitura da BD** mantêm **folga significativa** mesmo a **30% de utilização** e **não** requerem alterações para satisfazer o objetivo de **duplicação da capacidade**.

7. Análise Complementar

7.1 Lei de Little Aplicada ao Sistema

A **Lei de Little** estabelece que o número médio de pedidos pendentes num sistema é igual ao produto do *throughput* pelo tempo médio de resposta:

$$N = \lambda \times R$$

Onde:

- N é o número médio de pedidos no sistema.
- λ é o *throughput*.
- R é o tempo médio de resposta.

Para os **servidores web** (componente limitante), com um tempo médio de resposta estimado de 0,5 segundos:

$$N = 6\ req/s \times 0{,}5s = 3\ pedidos$$

Isto significa que, no cenário de **30% de utilização**, há uma **média de 3 pedidos** a serem processados simultaneamente pelos **servidores web**. Para outros componentes:

Componente	*Throughput* (pedidos/s)	Tempo médio estimado (s)	Número médio de pedidos
Load Balancer 1	100	0,01	1
Web Caches	120	0,01	1,2
Load Balancer 2	100	0,01	1
BD (Escrita)	1,5	0,1	0,15
BD (Leitura)	15	0,05	0,75

7.2 Lei do Fluxo Forçado

A **Lei do Fluxo Forçado** indica que o *throughput* através de diferentes componentes é proporcional ao número de vezes que cada componente necessita de processar cada pedido.

Com um *throughput* do sistema de **0,143 pv/s**, podemos calcular o ***throughput* efetivo** em cada componente:

Componente	*Throughput* efetivo
Firewalls Externos	0,143 × 60 = 8,58 req/s
Load Balancer 1	0,143 × 60 = 8,58 req/s
Web Caches	0,143 × 18 = 2,57 req/s
Firewalls Internos	0,143 × 42 = 6,01 req/s
Load Balancer 2	0,143 × 42 = 6,01 req/s
Servidores Web	0,143 × 42 = 6,01 req/s
BD (Escrita)	0,143 × 6 = 0,858 w/s
BD (Leitura)	0,143 × 30 = 4,29 r/s

Estes valores confirmam que **nenhum componente** está a operar **acima** dos **limites de 30% de utilização** calculados anteriormente.

7.3 Teoria das Filas

Aplicando a **teoria das filas**, podemos modelar os **servidores web** como um **sistema M/M/10** (**chegadas Poisson**, **tempo de serviço exponencial**, **10 servidores**):

- **Taxa de chegada (λ): 6 req/s.**
- **Taxa de serviço por servidor (μ): 0,033 req/s (2 req/min).**
- **Utilização (ρ = λ/(μ×10)):** 6 / (0,033 x 10) = **18,18%**

Para um sistema **M/M/c** com utilização ***ρ***, o **tempo médio de espera na fila** é dado por:

$$W_q = (P_0 \times (\lambda/\mu)^c \times \rho) / (c! \times c \times \mu \times (1-\rho)^2)$$

Onde ***P_0*** é a probabilidade de o sistema estar vazio.

Num cenário de **baixa utilização** (**18,18%**), o **tempo médio** de espera na fila seria **próximo de zero**, indicando que os pedidos são processados praticamente sem atraso.

Se considerarmos um modelo **M/D/10** (**tempo de serviço determinístico**):

- O **tempo médio de espera** seria ainda **menor** do que no modelo **M/M/10**, demonstrando a vantagem de tempos de serviço previsíveis.

7.4 Análise de Resiliência

A **resiliência do sistema** pode ser avaliada calculando a **disponibilidade total**, considerando as configurações em **série** e **paralelo**:

Disponibilidade das Componentes em Paralelo:

Assumindo uma **disponibilidade individual** de **99,9%** para cada componente:

Componente	Cálculo	Disponibilidade
Firewalls (2)	1 - (0,001)^2	99,9999%
Load Balancers (2)	1 - (0,001)^2	99,9999%
Web Caches (3)	1 - (0,001)^3	99,9999%
Servidores Web (10)	1 - (0,001)^10	99,9999%
BD (5)	1 - (0,001)^5	99,9995%

Disponibilidade Total do Sistema (Componentes em Série):

Disponibilidade** = 0,999999 x 0,999999 x 0,999999 x 0,999999 x 0,999995 = **99,999%

Isto indica que o sistema tem uma **disponibilidade de "cinco noves**" (99,999%), equivalente a aproximadamente **5,26 minutos** de **indisponibilidade p/ano**.

A arquitetura do sistema, com múltiplos componentes em **paralelo** em cada camada, proporciona uma **elevada resiliência**, mesmo que algum componente individual falhe.

7.5 Análise de Capacidade em Condições de Pico

Utilizando a **regra dos 3σ**, podemos dimensionar o sistema para lidar com **picos de tráfego**:

Se assumirmos que o tráfego segue uma **distribuição normal** com:

- **Média: 0,143 pv/s**
- **Desvio padrão estimado: 0,05 pv/s.**

O sistema deve ser **capaz de lidar** com: *0,143 / 3 x 0,05 = **0,293 pv/s*** **(aprox. 17,6 pv/min)**

Esta análise reforça a recomendação de **duplicar a capacidade** para aproximadamente **0,286 pv/s**, garantindo que o sistema possa lidar com **picos de tráfego sem exceder os limites de utilização** estabelecidos.

8. Avaliação

Para além da análise fundamental realizada, podemos identificar aspetos importantes a considerar:

1. **Desequilíbrio na utilização dos componentes**: O sistema apresenta um **desequilíbrio significativo** na utilização dos seus componentes. Enquanto os **servidores web** funcionam a **30% da sua capacidade** no cenário de capacidade máxima, **outros componentes** operam com **utilização muito abaixo** deste valor:
    - **Firewalls: 3,8%** da capacidade máxima.
    - **Web Caches: 2,1%** da capacidade máxima.
    - **Load Balancers: 8,6%** e **6%** da capacidade máxima.

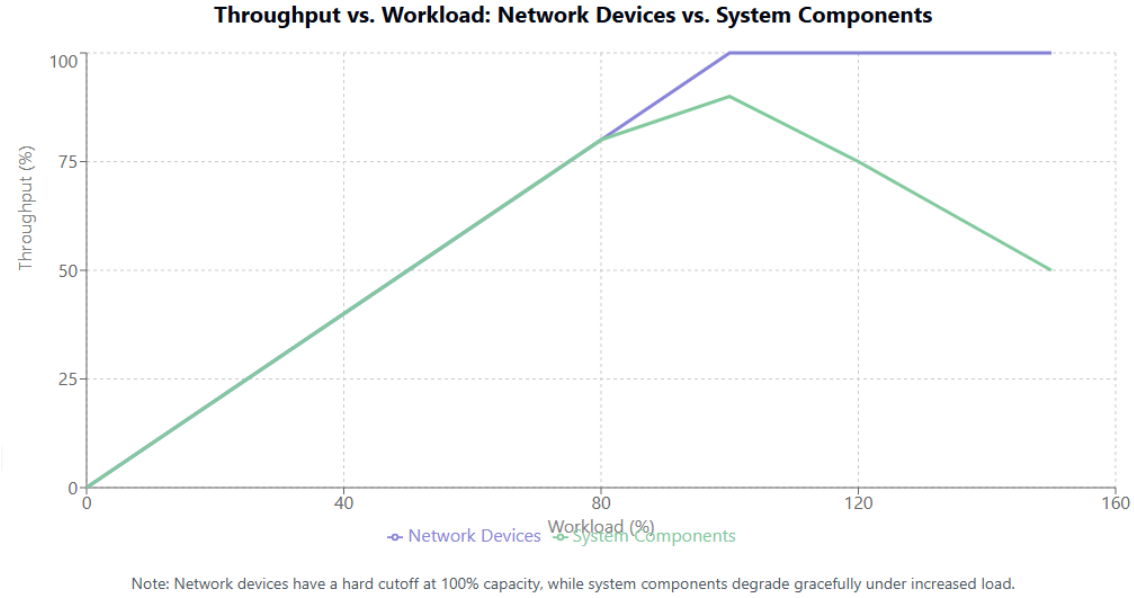
Isto sugere um possível **sobredimensionamento** destes componentes ou a necessidade de **reconfigurar** o sistema para **melhor balanceamento de recursos**.

2. **Otimização de custos**: Considerando o desequilíbrio identificado, poderia ser mais económico reduzir o número de componentes sobredimensionados e investir em mais servidores web para aumentar a capacidade geral do sistema.
3. **Monitorização dinâmica**: Implementar um sistema de monitorização em tempo real que aplique as métricas discutidas (***throughput***, **utilização**, **tempo de resposta**) para ajustar

recursos dinamicamente seria benéfico para otimizar o desempenho do sistema.

4. **Testes de carga**: Seria recomendável realizar testes simulando diferentes padrões de tráfego para validar se o comportamento real do sistema corresponde às previsões teóricas baseadas nas leis de performance aplicadas.
5. **Estratégia de escalonamento**: Definir gatilhos de escalonamento automático baseados nas métricas de utilização, tempo de resposta e *throughput* para otimizar custos e desempenho em função das necessidades reais.

No seguinte **gráfico**, podemos observar de forma clara a razão pela qual é necessário manter os **componentes suficientemente "respiráveis"** (com “30% de utilização”) para lidarem com **picos de trabalho**. É apresentado a diferença entre dispositivos de rede e componentes de sistemas computacionais, relativamente ao ***throughput e workload***.



Note: Network devices have a hard cutoff at 100% capacity, while system components degrade gracefully under increased load.

Os **dispositivos de rede**, como *routers* e *switches*, funcionam de forma rígida, pois quando atingem a sua capacidade máxima, simplesmente não aceitam mais pacotes e descartam qualquer tráfego adicional. É uma abordagem "tudo ou nada", na qual funciona perfeitamente até ao limite, depois para completamente. Os dispositivos de rede precisam de garantir fluxo de dados preciso e instantâneo.

Em contraste, os **componentes de sistemas computacionais** (correspondente ao nosso caso, **servidores web**, **bases de dados**, **servidores de aplicações**) comportam-se de forma diferente, pois quando o volume de trabalho aumenta estes não sabem “dizer que não” de forma a parar abruptamente, mas começam a abrandar. A sua **eficiência diminui gradualmente**, onde processam **menos pedidos**, tornam-se **mais lentos**, mas continuam a **tentar responder**. Os componentes de sistema precisam de manter alguma responsividade, mesmo em condições difíceis.

9. Conclusão

- **Capacidade atual**: **0,143 pv/s** (**aprox. 8,6 visualizações de página p/min**) com todos os componentes a **≤ 30% de utilização**.
- **Plano de redundância**:
    - **Servidores Web:** 10 para 20 (**acréscimo de 10**).
    - **Servidores BD para Escrita:** 5 para 6 (**acréscimo de 1**).

Esta configuração garante capacidade para **0,286 pv/s** (**aprox. 17,2 visualizações de página p/min**), mantendo a margem de segurança operacional (máximo de **30% de utilização**).

A aplicação das **leis fundamentais de performance** (**Lei de Little, Lei do Fluxo Forçado**) e a **análise de resiliência** e **capacidade em condições de pico** reforçam a adequação da solução proposta, validando que o sistema:

1. Terá **capacidade suficiente** para lidar com **picos de tráfego**.
2. Manterá **tempos de resposta** adequados.
3. Apresentará **alta disponibilidade** (**99,999%**).
4. **Distribuirá a carga** de forma **eficiente** entre os componentes.

Esta proposta assegura não só a **duplicação da capacidade** como também uma **estrutura equilibrada** em termos de **redundância N+1** para todos os componentes críticos do sistema, garantindo uma operação **eficiente** e **escalável**.

10. Referências

[1] Moodle 2024/2025, Configuração e Gestão de Sistemas, Prof. Hugo Miranda: https://moodle.ciencias.ulisboa.pt/pluginfile.php/569945/mod_resource/content/1/t130-slides.pdf