



# UFC

Universidade Federal do Ceará - Campus de Quixadá

Disciplina: Sistemas Distribuídos

Código: QXD0043

Professor: Rafael Braga

Aluno: David Silva Fernandes de Oliveira - 539402

## Laboratório Tempo e estado global

### Objetivo

O objetivo deste laboratório é **compreender a diferença entre os conceitos de tempo em sistemas distribuídos**, através da implementação prática de:

- Relógios físicos baseados no tempo real do sistema;
- Relógio lógico de Lamport, que fornece uma ordenação causal entre eventos;
- Relógios vetoriais, que permitem identificar causalidade e concorrência entre eventos distribuídos.

### Estrutura da Implementação

- A simulação foi dividida em três partes, cada uma com arquivos e responsabilidades distintas:

Laboratorio\_Tempo/

|— src/

| |— PhysicalClockSimulation.java

| |— LamportClock.java

| |— LamportSimulation.java

| |— VectorClock.java

| |— VectorClockSimulation.java

### Parte 1 – Relógios Físicos

Arquivo: PhysicalClockSimulation.java

Cada processo simulado (via Thread) executa ações como envio ou recebimento de mensagens. Os eventos são marcados com o timestamp do relógio físico (`System.currentTimeMillis()`).

Comportamento observado:

- A ordem cronológica pode parecer invertida (mensagem "recebida" antes da "enviada"), evidenciando que relógios físicos não são suficientes para garantir a ordenação causal.

## Parte 2 – Relógio Lógico de Lamport

Arquivos: `LamportClock.java`, `LamportSimulation.java`

Cada processo mantém um contador lógico  $L(p)$ :

- Ao realizar evento interno ou enviar mensagem:  $L(p)++$ .
- Ao receber mensagem com timestamp  $L(m)$ :  $L(p) = \max(L(p), L(m)) + 1$ .

Resultados:

- Os eventos são ordenados logicamente.
- A condição se  $A \rightarrow B$  então  $L(A) < L(B)$  é sempre respeitada.
- Porém,  $L(A) < L(B)$  não implica causalidade.

## Parte 3 – Relógios Vetoriais

Arquivos: `VectorClock.java`, `VectorClockSimulation.java`

Cada processo  $P[i]$  mantém um vetor de tamanho  $N$ :

- Evento interno:  $V[i][i]++$ .
- Envio: envia cópia de  $V[i]$ .
- Recebimento:  $V[i][j] = \max(V[i][j], V_{msg}[j])$ , seguido de  $V[i][i]++$ .

Resultados:

- É possível determinar se dois eventos são concorrentes.
- Se  $V(A) < V(B)$  então  $A \rightarrow B$ .
- Se  $V(A)$  e  $V(B)$  não são comparáveis, então são eventos concorrentes ( $A \parallel B$ ).

```
[2] EVENTO INTERNO - Processo 2 executando evento interno 2 (timestamp: 1753488100183)
[2] ENVIANDO - Processo 2 -> Processo 0: Mensagem 4 (timestamp: 1753488100191)
[0] ENVIANDO - Processo 0 -> Processo 1: Mensagem 5 (timestamp: 1753488100217)
[1] RECEBENDO - Processo 1 recebeu: Mensagem 3 (enviado em 1753488100033) (timestamp: 1753488100224)
[2] RECEBENDO - Processo 2 recebeu: Mensagem 4 (enviado em 1753488100191) (timestamp: 1753488100273)
[0] RECEBENDO - Processo 0 recebeu: Mensagem 5 (enviado em 1753488100217) (timestamp: 1753488100276)
[0] EVENTO INTERNO - Processo 0 executando evento interno 3 (timestamp: 1753488100279)
[1] EVENTO INTERNO - Processo 1 executando evento interno 2 (timestamp: 1753488100295)
[2] EVENTO INTERNO - Processo 2 executando evento interno 3 (timestamp: 1753488100332)
[1] ENVIANDO - Processo 1 -> Processo 2: Mensagem 6 (timestamp: 1753488100346)
[0] ENVIANDO - Processo 0 -> Processo 1: Mensagem 7 (timestamp: 1753488100354)
[2] ENVIANDO - Processo 2 -> Processo 0: Mensagem 8 (timestamp: 1753488100360)
[2] RECEBENDO - Processo 2 recebeu: Mensagem 8 (enviado em 1753488100360) (timestamp: 1753488100374)
[1] RECEBENDO - Processo 1 recebeu: Mensagem 6 (enviado em 1753488100346) (timestamp: 1753488100413)
[0] RECEBENDO - Processo 0 recebeu: Mensagem 7 (enviado em 1753488100354) (timestamp: 1753488100427)
[0] EVENTO INTERNO - Processo 1 executando evento interno 4 (timestamp: 1753488100456)
[2] EVENTO INTERNO - Processo 2 executando evento interno 4 (timestamp: 1753488100439)
[2] ENVIANDO - Processo 2 -> Processo 0: Mensagem 9 (timestamp: 1753488100448)
[1] EVENTO INTERNO - Processo 1 executando evento interno 3 (timestamp: 1753488100456)
[2] RECEBENDO - Processo 2 recebeu: Mensagem 9 (enviado em 1753488100448) (timestamp: 1753488100512)
[0] ENVIANDO - Processo 0 -> Processo 1: Mensagem 10 (timestamp: 1753488100514)
[1] ENVIANDO - Processo 1 -> Processo 2: Mensagem 11 (timestamp: 1753488100525)
[2] EVENTO INTERNO - Processo 2 executando evento interno 5 (timestamp: 1753488100628)
[2] ENVIANDO - Processo 2 -> Processo 0: Mensagem 12 (timestamp: 1753488100640)
[0] RECEBENDO - Processo 0 recebeu: Mensagem 10 (enviado em 1753488100514) (timestamp: 1753488100698)
[1] RECEBENDO - Processo 1 recebeu: Mensagem 11 (enviado em 1753488100525) (timestamp: 1753488100710)
[2] RECEBENDO - Processo 2 recebeu: Mensagem 12 (enviado em 1753488100640) (timestamp: 1753488100750)
[0] EVENTO INTERNO - Processo 0 executando evento interno 5 (timestamp: 1753488100818)
[1] EVENTO INTERNO - Processo 1 executando evento interno 4 (timestamp: 1753488100821)
[1] ENVIANDO - Processo 1 -> Processo 2: Mensagem 13 (timestamp: 1753488100840)
[1] RECEBENDO - Processo 1 recebeu: Mensagem 13 (enviado em 1753488100840) (timestamp: 1753488100852)
[0] EVENTO INTERNO - Processo 1 executando evento interno 5 (timestamp: 1753488100896)
[0] ENVIANDO - Processo 0 -> Processo 1: Mensagem 14 (timestamp: 1753488100898)
[0] RECEBENDO - Processo 0 recebeu: Mensagem 14 (enviado em 1753488100898) (timestamp: 1753488100903)
[1] ENVIANDO - Processo 1 -> Processo 2: Mensagem 15 (timestamp: 1753488100976)
[1] RECEBENDO - Processo 2 recebeu: Mensagem 15 (enviado em 1753488100976) (timestamp: 1753488101127)
```

Execução Relógio Físico.

Demonstrando consistência causal entre eventos...

```
[1] EVENTO INTERNO - Processo 1 executando evento interno 1
[2] EVENTO INTERNO - Processo 2 executando evento interno 1
[0] EVENTO INTERNO - Processo 0 executando evento interno 1
[2] ENVIANDO - Processo 2 -> Processo 0: Mensagem 1 (L=2)
[0] ENVIANDO - Processo 0 -> Processo 1: Mensagem 2 (L=2)
[1] ENVIANDO - Processo 1 -> Processo 2: Mensagem 3 (L=2)
[1] RECEBENDO - Processo 1 recebeu: Mensagem 3 (enviado com L=2, agora L=3)
[2] RECEBENDO - Processo 2 recebeu: Mensagem 1 (enviado com L=2, agora L=3)
[1] EVENTO INTERNO - Processo 1 executando evento interno 2
[0] RECEBENDO - Processo 0 recebeu: Mensagem 2 (enviado com L=2, agora L=3)
[1] ENVIANDO - Processo 1 -> Processo 2: Mensagem 4 (L=5)
[0] EVENTO INTERNO - Processo 0 executando evento interno 2
[2] EVENTO INTERNO - Processo 2 executando evento interno 2
[2] ENVIANDO - Processo 2 -> Processo 0: Mensagem 5 (L=5)
[0] ENVIANDO - Processo 0 -> Processo 1: Mensagem 6 (L=5)
[1] RECEBENDO - Processo 1 recebeu: Mensagem 4 (enviado com L=5, agora L=6)
[2] RECEBENDO - Processo 2 recebeu: Mensagem 5 (enviado com L=5, agora L=6)
[0] RECEBENDO - Processo 0 recebeu: Mensagem 6 (enviado com L=5, agora L=6)
[0] EVENTO INTERNO - Processo 0 executando evento interno 3
[1] EVENTO INTERNO - Processo 1 executando evento interno 3
[0] ENVIANDO - Processo 0 -> Processo 1: Mensagem 7 (L=8)
[1] ENVIANDO - Processo 1 -> Processo 2: Mensagem 8 (L=8)
[0] RECEBENDO - Processo 0 recebeu: Mensagem 7 (enviado com L=8, agora L=9)
[0] EVENTO INTERNO - Processo 0 executando evento interno 4
[2] EVENTO INTERNO - Processo 2 executando evento interno 3
[2] ENVIANDO - Processo 2 -> Processo 0: Mensagem 9 (L=8)
[1] RECEBENDO - Processo 1 recebeu: Mensagem 8 (enviado com L=8, agora L=9)
[2] RECEBENDO - Processo 2 recebeu: Mensagem 9 (enviado com L=8, agora L=9)
[0] ENVIANDO - Processo 0 -> Processo 1: Mensagem 10 (L=11)
[2] EVENTO INTERNO - Processo 2 executando evento interno 4
[0] RECEBENDO - Processo 0 recebeu: Mensagem 10 (enviado com L=11, agora L=12)
[1] EVENTO INTERNO - Processo 1 executando evento interno 4
[2] ENVIANDO - Processo 2 -> Processo 0: Mensagem 11 (L=11)
[2] RECEBENDO - Processo 2 recebeu: Mensagem 11 (enviado com L=11, agora L=12)
[1] ENVIANDO - Processo 1 -> Processo 2: Mensagem 12 (L=11)
[2] EVENTO INTERNO - Processo 2 executando evento interno 5
[0] EVENTO INTERNO - Processo 0 executando evento interno 5
[2] ENVIANDO - Processo 2 -> Processo 0: Mensagem 13 (L=14)
[1] RECEBENDO - Processo 1 recebeu: Mensagem 12 (enviado com L=11, agora L=12)
[0] ENVIANDO - Processo 0 -> Processo 1: Mensagem 14 (L=14)
```

Execução Relógio Lógico Lamport.

Demonstrando como determinar concorrência entre eventos...

```
[2] EVENTO INTERNO - Processo 2 executando evento interno 1 [[0, 0, 1]]
[1] EVENTO INTERNO - Processo 1 executando evento interno 1 [[0, 1, 0]]
[0] EVENTO INTERNO - Processo 0 executando evento interno 1 [[1, 0, 0]]
[1] ENVIANDO - Processo 1 -> Processo 2: Mensagem 1 [[0, 2, 0]]
[2] ENVIANDO - Processo 2 -> Processo 0: Mensagem 2 [[0, 0, 2]]
[0] ENVIANDO - Processo 0 -> Processo 1: Mensagem 3 [[2, 0, 0]]
[1] RECEBENDO - Processo 1 recebeu: Mensagem 1 (enviado com [0, 2, 0]) [[0, 3, 0]]
[1] [COMPARAÇÃO] Vetor enviado aconteceu antes vetor recebido ([0, 3, 0])
[1] EVENTO INTERNO - Processo 1 executando evento interno 2 [[0, 4, 0]]
[0] RECEBENDO - Processo 0 recebeu: Mensagem 3 (enviado com [2, 0, 0]) [[3, 0, 0]]
[1] [COMPARAÇÃO] Vetor enviado aconteceu antes vetor recebido ([3, 0, 0])
[2] RECEBENDO - Processo 2 recebeu: Mensagem 2 (enviado com [0, 0, 2]) [[0, 0, 3]]
[1] [COMPARAÇÃO] Vetor enviado aconteceu antes vetor recebido ([0, 0, 3])
[1] ENVIANDO - Processo 1 -> Processo 2: Mensagem 4 [[0, 5, 0]]
[0] EVENTO INTERNO - Processo 0 executando evento interno 2 [[4, 0, 0]]
[1] RECEBENDO - Processo 1 recebeu: Mensagem 4 (enviado com [0, 5, 0]) [[0, 6, 0]]
[1] [COMPARAÇÃO] Vetor enviado aconteceu antes vetor recebido ([0, 6, 0])
[0] ENVIANDO - Processo 0 -> Processo 1: Mensagem 5 [[5, 0, 0]]
[2] EVENTO INTERNO - Processo 2 executando evento interno 2 [[0, 0, 4]]
[0] RECEBENDO - Processo 0 recebeu: Mensagem 5 (enviado com [5, 0, 0]) [[6, 0, 0]]
[1] [COMPARAÇÃO] Vetor enviado aconteceu antes vetor recebido ([6, 0, 0])
[1] EVENTO INTERNO - Processo 1 executando evento interno 3 [[0, 7, 0]]
[2] ENVIANDO - Processo 2 -> Processo 0: Mensagem 6 [[0, 0, 5]]
[0] EVENTO INTERNO - Processo 0 executando evento interno 3 [[7, 0, 0]]
[0] ENVIANDO - Processo 0 -> Processo 1: Mensagem 7 [[8, 0, 0]]
[1] ENVIANDO - Processo 1 -> Processo 2: Mensagem 8 [[0, 8, 0]]
[0] RECEBENDO - Processo 0 recebeu: Mensagem 7 (enviado com [8, 0, 0]) [[9, 0, 0]]
[1] [COMPARAÇÃO] Vetor enviado aconteceu antes vetor recebido ([9, 0, 0])
[2] RECEBENDO - Processo 2 recebeu: Mensagem 6 (enviado com [0, 0, 5]) [[0, 0, 6]]
[1] [COMPARAÇÃO] Vetor enviado aconteceu antes vetor recebido ([0, 0, 6])
[0] EVENTO INTERNO - Processo 0 executando evento interno 4 [[10, 0, 0]]
[0] ENVIANDO - Processo 0 -> Processo 1: Mensagem 9 [[11, 0, 0]]
[2] EVENTO INTERNO - Processo 2 executando evento interno 3 [[0, 0, 7]]
[2] ENVIANDO - Processo 2 -> Processo 0: Mensagem 10 [[0, 0, 8]]
[1] RECEBENDO - Processo 1 recebeu: Mensagem 8 (enviado com [8, 0, 0]) [[0, 9, 0]]
[1] [COMPARAÇÃO] Vetor enviado aconteceu antes vetor recebido ([0, 9, 0])
[2] RECEBENDO - Processo 2 recebeu: Mensagem 10 (enviado com [0, 0, 8]) [[0, 0, 9]]
[1] [COMPARAÇÃO] Vetor enviado aconteceu antes vetor recebido ([0, 0, 9])
[1] EVENTO INTERNO - Processo 1 executando evento interno 4 [[0, 10, 0]]
```

Execução Relógio Vetorial.