**TRABALHO PRÁTICO Nº 2**

**Simulação de um sistema de reserva de lugares**

Implementação de uma arquitetura cliente/servidor baseada em *FIFO*s

---

## Sumário

Pretende-se desenvolver uma aplicação cliente/servidor que permita efetuar reservas de lugares para um evento. A simulação será feita através de processos a correr num único computador, sendo a comunicação entre clientes e servidor feita através de *pipes* com nome (*FIFO*s).

## Objetivos

Familiarizar os estudantes com a programação de sistema, em ambiente Unix/Linux, envolvendo a gestão de processos/*threads* e a utilização de mecanismos de comunicação e de sincronização entre processos/*threads*.

## Especificação

A aplicação a desenvolver será constituída por um programa servidor (**`server`**) que processa pedidos provenientes dos clientes e por um programa cliente (**`client`**) que simula o pedido de um utilizador. Cada pedido contém os seguintes dados: a quantidade de lugares pretendidos e uma lista de identificadores de lugares preferidos; esta lista poderá ter um número de elementos igual ou superior à quantidade de lugares pretendidos, mas limitado. O servidor tentará reservar os lugares, tendo em conta as preferências do cliente, e dará uma resposta adequada ao cliente, indicando os lugares reservados ou, caso não tenha sido possível fazer a reserva, o motivo da impossibilidade.

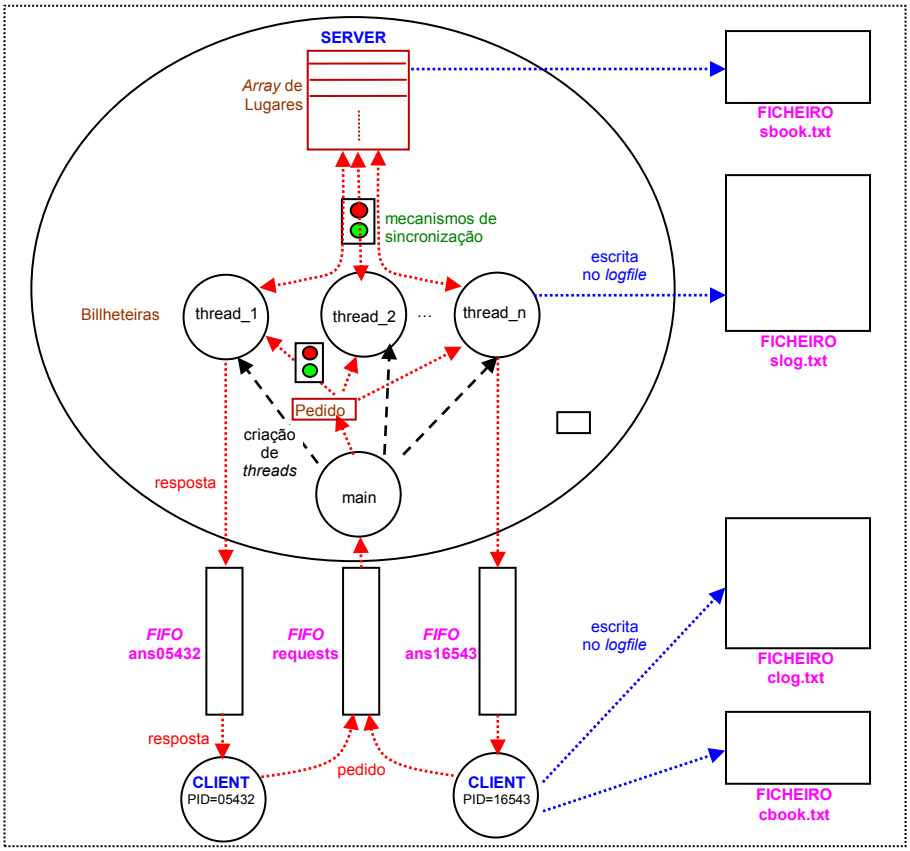
O servidor será constituído por um conjunto de "bilheteiras", simuladas por *threads*. Cada pedido de um cliente será encaminhado para uma bilheteira livre que se encarregará de tentar fazer a reserva e dará uma resposta ao cliente. Recorrendo a mecanismos de sincronização, devem ser tomadas as providências necessárias para que um lugar não seja atribuído a mais do que um cliente, evitando a contenção na execução das operações de reserva.

A comunicação entre clientes e servidor será feita através de *FIFO*s. O servidor receberá os pedidos dos clientes através de um *FIFO* comum, de nome **`requests`**, e cada cliente receberá a resposta do servidor através de um *FIFO* dedicado, de nome **`ansXXXXX`**, em que **`XXXXX`** representa o *PID* do cliente (ver figura).

Todas as operações realizadas pelo servidor e pelos clientes devem ser registadas em dois ficheiros de texto, **`slog.txt`** e **`clog.txt`**, respetivamente. O formato destes ficheiros será especificado adiante. Além disso, o servidor e os clientes devem registar noutros dois ficheiros de texto, **`sbook.txt`** e **`cbook.txt`** (este partilhado por todos os clientes), os números dos lugares que foram reservados (apenas os números).

Descrevem-se a seguir mais detalhadamente os programas a desenvolver e alguns aspetos do seu funcionamento e implementação.

- **Programa `server`**
  - Aceita e executa os pedidos de reserva de bilhetes que lhe são enviados pelos clientes (instâncias de **`client`**), dando uma resposta adequada a cada cliente.
  - Recebe como argumentos da linha de comandos o número de lugares disponíveis para o evento (**`num_room_seats`**), o número bilheteiras para atender clientes (**`num_ticket_offices`**) e o tempo de funcionamento das bilheteiras (**`open_time`**, expresso em segundos):
    - **`$ server <num_room_seats> <num_ticket_offices> <open_time>`**
    - Exemplo: **`server 1000 3 200`**




Arquitetura geral da aplicação a desenvolver.

- Cria o *FIFO*, **`requests`**, de uso comum, através do qual recebe os pedidos de reserva de lugares; as respostas aos pedidos são dadas através de *FIFO*s dedicados, criados pelos clientes (ver adiante).
- Cria **`num_ticket_offices`** *threads* auxiliares – *threads* bilheteira – que tentam fazer uma reserva do seguinte modo: a reserva deve ser feita incrementalmente (um lugar de cada vez), tendo em conta a ordem das preferências, até se concluir se é possível ou não reservar o número de lugares pretendidos; se não for possível reservar todos os lugares pretendidos, os lugares reservados tentativamente devem ser libertados. Enquanto um *thread* está a tentar reservar um lugar, outros devem poder estar a tentar reservar outros lugares.
- O *main thread* deve estar permanentemente à escuta dos pedidos enviados pelos clientes, no *FIFO* **`requests`**, colocando-os num *buffer* de tamanho unitário, onde são recolhidos pelos *threads* bilheteira (ver figura).
- Para simplificação, considera-se que os identificadores dos lugares são números inteiros, tomando valores na gama [**`1..num_room_seats`**]. Cada pedido será constituído por uma sequência de números inteiros, em que o primeiro número é identificador do cliente (para simplicar, poderá ser o *PID* do processo cliente), o segundo número é a quantidade de lugares pretendidos e os restantes números são os identificadores desses lugares (em número igual ou superior ao número de lugares pretendidos). Em cada pedido, o número máximo de lugares que é possível reservar é **`MAX_CLI_SEATS`** (uma constante global da aplicação, definida numa *header file*) e o número máximo de lugares pretendidos é também **`MAX_CLI_SEATS`**. Exemplos de pedidos válidos, num caso em que **`MAX_CLI_SEATS`** toma o valor **`5`**:
  - **`12345 1 112 13 1313`** (o cliente **`12345`** pretende **`1`** lugar, entre os lugares com identificadores **`112`**, **`13`** ou **`1313`**)
  - **`13579 3 11 12 13 14 15`** (o cliente **`13579`** pretende **`3`** lugares, entre os lugares com identificadores entre **`11`** e **`15`**)
  - **`24680 5 101 102 103 104 105`** (o cliente **`24680`** pretende **`5`** lugares, com identificadores entre **`101`** e **`105`**)
- Cada *thread* bilheteira deve validar o pedido antes de o executar. A validação consiste em verificar se a quantidade de lugares a reservar está na gama **`[1..MAX_CLI_SEATS]`**, se o número de lugares

pretendidos está na gama **[num_wanted_seats..MAX_CLI_SEATS]**, e se o identificador dos lugares pretendidos está na gama **[1..num_room_seats]**. Se o pedido for válido, o *thread* executá-lo-á.

- Será sempre enviada uma resposta adequada ao cliente, com exceção da situação identificada na descrição do funcionamento do programa **client** (ver adiante).
  Se os parâmetros do pedido forem inválidos ou se não tiver sido possível satisfazer o pedido, a resposta será um número inteiro negativo, com um dos seguintes valores e significados:
  - **-1** – a quantidade de lugares pretendidos é superior ao máximo permitido (**MAX_CLI_SEATS**)
  - **-2** – o número de identificadores dos lugares pretendidos não é válido
  - **-3** – os identificadores dos lugares pretendidos não são válidos
  - **-4** – outros erros nos parâmetros
  - **-5** – pelo menos um dos lugares pretendidos não está disponível
  - **-6** – sala cheia

  Se tiver sido possível satisfazer o pedido, a resposta será constituída por uma sequência de números positivos em que o primeiro indica o número de lugares reservados e os seguintes são os identificadores desses lugares. Por exemplo, a sequência **3 12 13 14**, significa que foram reservados **3** lugares com os identificadores **12**, **13** e **14**.

- Os *threads* bilheteira devem invocar invocar 3 funções com nomes bem determinados, cujos protótipos se indicam a seguir, onde o parâmetro **seats** é um apontador para o início do *array* de lugares, partilhado por todos os *threads*, onde são registados os lugares livres/ocupados:
  - **int isSeatFree(Seat *seats, int seatNum)** – testa se o lugar **seatNum** está livre
  - **void bookSeat(Seat *seats, int seatNum, int clientId)** – reserva o lugar **seatNum** para o cliente cujo identificador é **clientId**.
  - **void freeSeat(Seat *seats, int seatNum)** – liberta o lugar **seatNum**, após uma tentativa de reserva sem sucesso, em que foram pré-reservados alguns lugares mas não foi possível reservar todos os lugares pretendidos.

  Cada uma destas funções, após a operação de leitura/escrita do conteúdo de **seats**, deve invocar uma *function-like macro*, **DELAY()**, definida usando a diretiva: **#define DELAY()**. Esta *macro* poderá ser usada para simular a existência de alguma demora na execução das operações.

- Quando expirar o tempo de funcionamento das bilheteiras, o *main thread* deve fechar o *FIFO* **requests**, informar aos restantes *threads* que devem terminar, e aguardar que eles terminem.

- Cada um dos *threads*, regista no ficheiro **slog.txt** (*server logging*), a abertura e fecho das bilheteiras, e os pedidos e as respostas dadas. Cada linha do ficheiro deverá ter um dos seguintes formatos:
  - ***TO*-OPEN** – assinala a abertura da bilheteira com o número ***TO***
  - ***TO*-CLOSED** – assinala o fecho da bilheteira com o número ***TO***
  - ***TO*-*CLIID*-*NT*: *aaaa bbbb cccc dddd ... - AAAA BBBB CCCC DDDD ...*** – contém informação sobre um pedido que foi atendido com sucesso: qual a bilheteira onde foi atendido (***TO***), o identificador do cliente (***CLIID***), o número de lugares a reservar (***NT***), os identificadores dos lugares preferidos (***aaaa bbbb ...***) e os identificadores dos lugares efetivamente reservados (***AAAA BBBB ...***). A largura total dos campos ***aaaa bbbb ...*** e ***AAAA BBBB ...*** dependerá do valor de **MAX_CLI_SEATS**.
  - ***TO*-*CLIID*-*NT*: *aaaa bbbb cccc dddd ... - XXX*** – contém informação sobre uma reserva que não foi atendida; todos os campos têm o significado indicado anteriormente e ***XXX*** é um código com 3 letras que indica o motivo pelo qual a reserva não foi efetuada.
    Os valores de ***XXX*** e respetivos significados têm a seguinte correspondência com o código anteriormente referido (inteiro negativo) enviado aos clientes, indicativo de que não foi possível atender o pedido: **-1→ MAX, -2→ NST, -3→ IID, -4→ ERR, -5→ NAV** e **-6→ FUL**.

  Os campos têm uma largura fixa e estão separados entre si por 1 caráter espaço (ver exemplo). Todos os valores numéricos que não ocupem a totalidade da largura do campo, devem ser preenchidos com zeros no início.

  - Apresenta-se a seguir um exemplo do conteúdo de **slog.txt**:

| Conteúdo de **slog.txt**<br>12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890 | Comentários das linhas a negrito (não incluídos no ficheiro) |
|---|---|
| **01-OPEN**<br>03-OPEN<br>02-OPEN<br>**02-12345-01: 0010 0011 0012 0013 - 0010**<br>01-23456-02: 0010 0011 - IMP<br>02-45678-02: 0020 0021 0022 0023 - 0021 0023<br>03-45678-04: 0001 0002 0003 0004 - 0001 0002 0003 0004<br>01-45678-01: 0030 0031 0032 0033 0034 - 0033<br>02-45678-02: 0025 0026 - 0025 0026<br>03-45678-03: 0040 0041 0042 0043 0044 - 0040 0043 0044<br>...<br>**01-23456-02: 0010 0011 - FUL**<br>01-CLOSED<br>02-CLOSED<br>03-CLOSED<br>SERVER CLOSED | **→ bilheteira 1 aberta**<br>...<br>...<br>**→ bilheteira 02 atende cliente 12345 que pretende 1 lugar entre 0010 e 0013; foi atribuído o lugar 0010**<br>...<br>...<br>...<br>...<br>**→ bilheteira 01 atende cliente 23456 que pretende 2 lugares ...; sala cheia**<br>... |

- Antes de terminar, deve guardar no ficheiro **sbook.txt** (*server bookings*) os números inteiros identificadores dos lugares que foram reservados (apenas estes), um por cada linha de texto e com zeros no início, sempre que o número não ocupar **WIDTH_SEAT** (= **4**) carateres (ex: **0013**).

- **Programa client**
  - Recebe como argumentos da linha de comandos o tempo máximo que o cliente pode esperar por uma resposta (**time_out**), o número de lugares que o cliente pretende reservar (**num_wanted_seats**) e os identificadores dos lugares preferidos (**pref_seat_list**):
    - **$ client <time_out> <num_wanted_seats> <pref_seat_list>**
    - Exemplo: **client 120 3 "11 12 13 14 15"**
  - Começa por criar um *FIFO* dedicado através do qual receberá as respostas aos pedidos de reserva que enviar ao servidor, através do *FIFO* **requests**. Esse *FIFO* deve ter o nome **ansXXXXX**, em que **XXXXX** representa o *PID* do cliente.
  - Envia ao servidor, através do *FIFO* **requests**, um pedido de reserva com os seguintes dados: *PID* do cliente, número de lugares a reservar e lista de lugares preferidos.
  - Aguarda, no *FIFO* **ansXXXXX**, pela resposta do servidor que deve indicar a concretização (ou não) da reserva, de acordo com o que foi especificado anteriormente. Se a resposta não for recebida dentro do tempo **time_out** o cliente terminará a execução.
  - O resultado dos pedidos de reserva efetuados deve ser registado, pelos clientes, num ficheiro partilhado por todos eles, **clog.txt**, no formato que se indica a seguir:
    - Cada linha do ficheiro é constituída por 2 ou 3 campos, dependendo da resposta recebida do servidor:
      - O primeiro é o *PID* do cliente.
      - O segundo campo tem um conteúdo variável consoante a resposta.
        Se a reserva tiver sido bem sucedida, esse campo terá o formato **XX.NN** em que **NN** indica o número de lugares pretendidos (e reservados) e **XX** é um número que varia entre **01** e **NN**, por cada lugar reservado (exemplo: **01.03**, **02.03** e **03.03**, para enumerar cada um dos lugares de uma reserva bem sucedida de **3** lugares).
        Se a reserva não tiver sido bem sucedida, este campo terá o formato **XXX**, em que **XXX** tem a correspondência que foi indicada anteriormente com os códigos negativos retornados pelo servidor, quando não é possível satisfazer o pedido: **-1→ MAX, -2→ NST, -3→ IID, -4→ ERR, -5→ NAV** e **-6→ FUL**. Se foi excedido o tempo máximo de espera do cliente, este campo deve ter o conteúdo **OUT**.
        - O terceiro campo só será preenchido nos casos em que a reserva teve sucesso, indicando o identificador do lugar correspondente a cada item **XX.NN**.
    - Os campos têm uma largura fixa (1º campo = **WIDTH_PID** = **5**, 2º campo = **WIDTH_XXNN** = **5**, 3º campo = **WIDTH_SEAT** = **4**) e estão separados entre si por 1 caráter espaço. Os valores neles

escritos devem ser ajustados à esquerda do campo. Todos os valores numéricos que não ocupem toda a largura do campo, devem ser preenchidos com zeros no início.

- Apresenta-se a seguir um exemplo do conteúdo do ficheiro **`clog.txt`**:

| Conteúdo de **`clog.txt`**<br>12345678901234567 | Comentários<br>(não incluídos no ficheiro) |
|---|---|
| `05432 01.02 0317` | `o lugar nº 1 de 2 reservados para cliente 5432 é o lugar 317` |
| `05432 02.02 0318` | `o lugar nº 2 de 2 reservados para cliente 5432 é o lugar 318` |
| `... ...` | `... ...` |
| `09753 MAX` | `o número de lugares pretendidos é superior ao máximo/cliente` |
| `98765 NUM` | `o número de identificadores dos lugares pretendidos é inválido` |
| `10586 IID` | `os identificadores dos lugares pretendidos não são válidos` |
| `... ...` | `... ...` |
| `15792 01.11 1023` | `o lugar nº 1 de 1 reservado para o cliente 5432 é o lugar 1023` |
| `01234 OUT` | `esgotou o tempo máximo de espera do cliente 1234` |
| `16543 FUL` | `sala cheia` |

- Devem também ser guardados no ficheiro **`cbook.txt`** (*clients bookings*) os números inteiros identificadores dos lugares (apenas estes) que foram reservados para todos os clientes, um por cada linha de texto e com zeros no início, sempre que o número não ocupar **`WIDTH_SEAT`** (= **`4`**) carateres (ex: **`0317`**).

## Notas sobre o desenvolvimento

- Os nomes dos programas, a ordem dos argumentos da linha de comando, os nomes indicados para algumas funções e constantes, os nomes e a estrutura dos ficheiros contendo resultados devem ser respeitados escrupulosamente. **O incumprimento pode conduzir à não avaliação do trabalho**, com as inerentes consequências.
- Todos os parâmetros internos devem ser facilmente modificáveis (com recurso a diretivas **`#define`** ou constantes com nome).
- Devem ser definidas pelo menos as seguintes constantes (=valor), referidas ao longo do texto: **`MAX_ROOM_SEATS (=9999)`**, **`MAX_CLI_SEATS(=99)`**, **`WIDTH_PID(=4)`**, **`WIDTH_XXNN(=4)`**, **`WIDTH_SEAT(=4)`**.
- É necessário estabelecer um protocolo e formato de mensagens a trocar entre clientes e servidor, tendo em conta as especificações fornecidas anteriormente.
- Devem ser previstos mecanismos de sincronização entre os *threads* do servidor de modo a evitar erros nas operações que lhe são solicitadas (por exemplo, reserva de lugares).
- Todas as estruturas de comunicação e sincronização devem ser destruídas no final da execução dos programas. Tudo o que não estiver especificado e que não venha a ser especificado numa nova versão do trabalho (a publicar, se necessário) poderá ser especificado pelos elementos do grupo de trabalho, devendo as especificações adicionais, contidas num ficheiro com o nome **`addspecs.pdf`**, ser enviadas juntamente com o código.

## Validação da solução

- Para validar a solução desenvolvida serão realizados testes automáticos com o auxílio de um programa validador e ficheiros de testes.

## Realização e entrega do trabalho

- Deverá ser elaborado um pequeno relatório (2 páginas) onde se descreva a estrutura das mensagens trocadas entre clientes e servidor (e vice-versa), os mecanismos de sincronização utilizados e a forma como é feito o encerramento do servidor (focar apenas estes aspetos). Sempre que necessário, as a descrição deve ser acompanhada por excertos de código. O relatório, com o nome **`report.pdf`**, deve ser enviado juntamente com o código.
- A **data limite** para a entrega do trabalho é **14/05/2018, às 13:00h**.
- Oportunamente serão dadas outras informações sobre a realização e entrega do trabalho, nomeadamente, quanto à estrutura de diretórios a utilizar.