INE5645 — Programação Paralela e Distribuída

Trabalho I: Programação Paralela

Pedro Santi Binotto (20200634)
Gabriel Lemos da Silva (18200628)

Introdução do tema

Modelo de sistema de cozinha de restaurante

Escopo

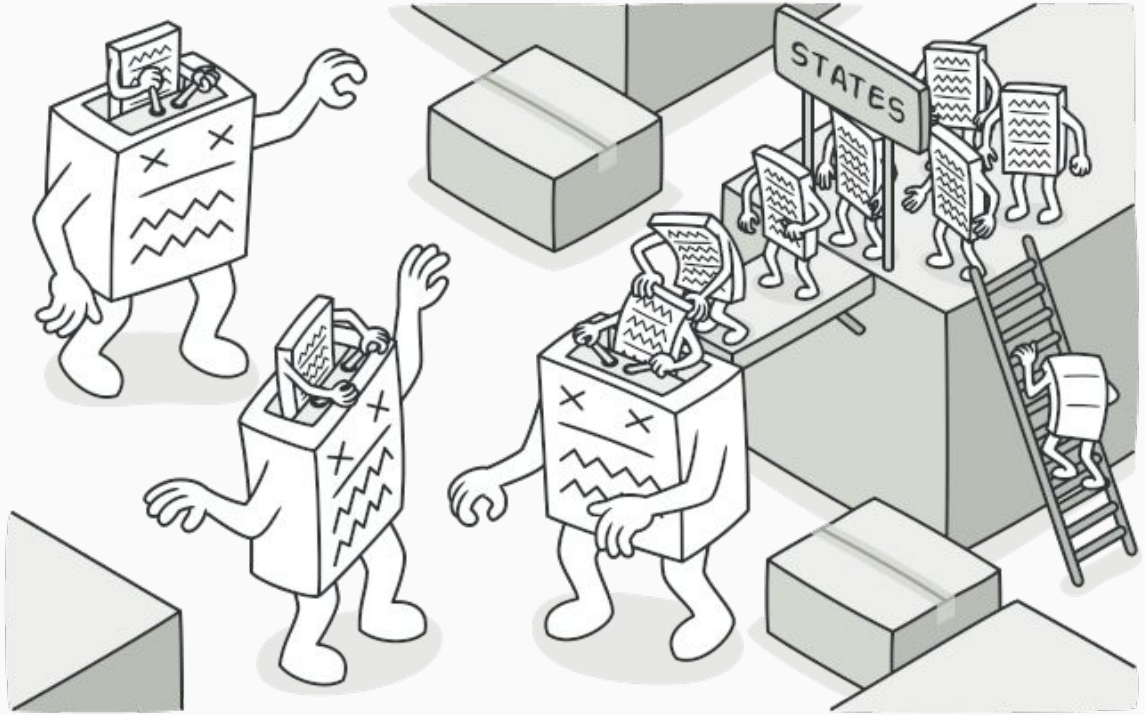
O sistema desenvolvido é uma representação de uma cozinha de um restaurante, implementada utilizando *threads* concorrentes, que representam os diferentes componentes abrangidos pela modelagem:

- Tempo de trabalho dos cozinheiros;
- Chegada de clientes e tempo de aguardo pelo pedido;
- Tempo de operação e fechamento do restaurante;
- Priorização e paralelização do preparo de pedidos;
- Acesso exclusivo à recursos limitados (equipamentos de cozinha; fogões, fornos, etc.).

Especificação técnica

Para simular os processos concorrentes que acontecem em uma cozinha comercial em um restaurante, as seguintes estruturas e padrões foram empregados:

- *Threads;*
- *Publishers/Subscriber (Observer Pattern);*
- *Barrier Pattern;*
- *Synchonized-Access Queues;*
- *Counting Semaphores.*



Detalhamento sobre implementação

Cada um dos seguintes elementos é representado por uma *thread* diferente:

- Cozinheiros (uma *thread* por cozinheiro);
- Clientes (uma *thread* por cliente);
- *Timer* do restaurante (*thread* paralela em background controla o tempo que o restaurante permanece aberto para novos pedidos)

Detalhamento sobre implementação

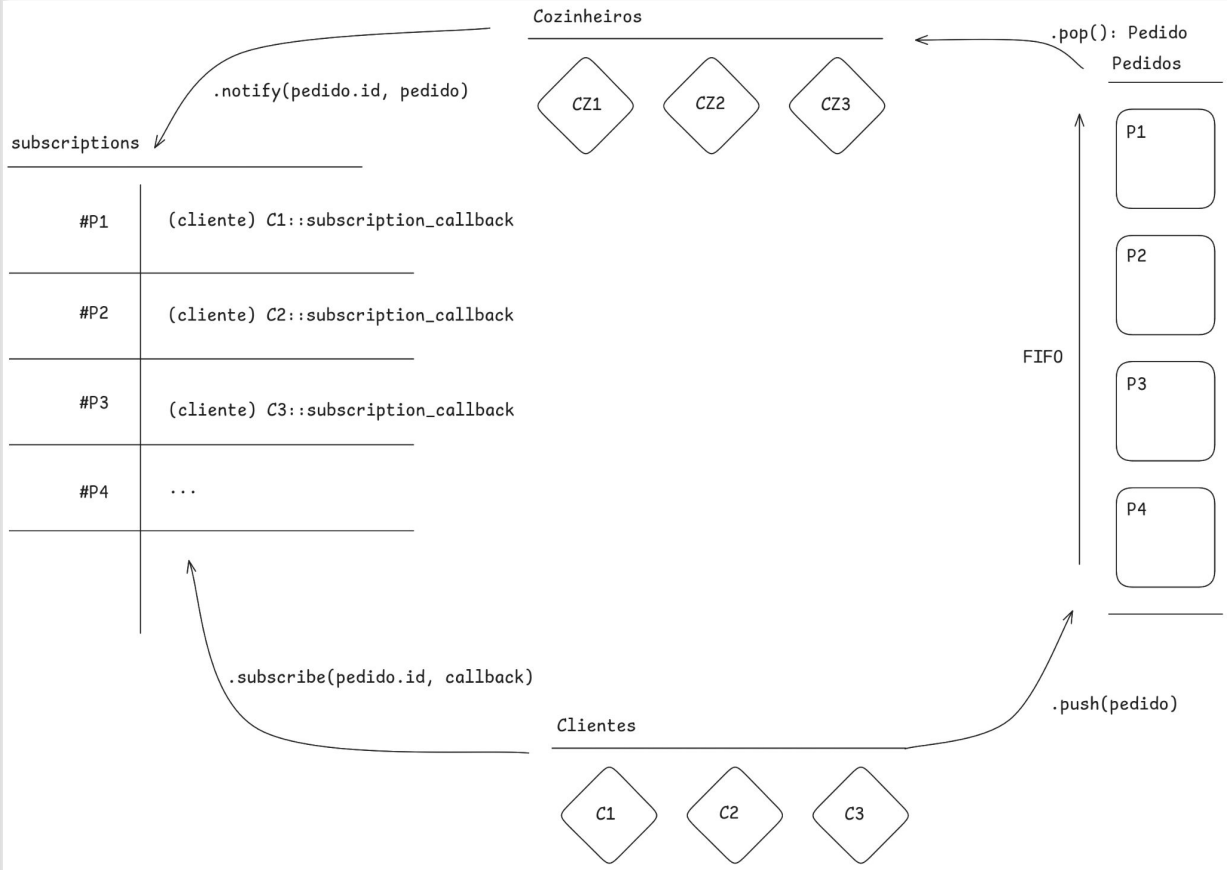
Estas *threads* são mantidas em sincronia utilizando os seguintes mecanismos:

- Os pedidos realizados por cada *thread* cliente são mantidos em uma implementação *thread-safe* de uma fila FIFO;
- Cada *thread* cozinheiro lê o pedido no topo da fila e inicia o preparo;
- O cozinheiro pode acessar os recursos limitados (fogão, forno) exclusivamente, mediados por instâncias de *counting semaphores*;
- Quando o preparo do pedido está finalizado, o cliente é notificado pelo cozinheiro através de um mecanismo de gerenciamento de observadores;
- Uma vez que a cozinha está *fechada*, apenas os pedidos que já foram realizados serão processados.

Fluxo da aplicação

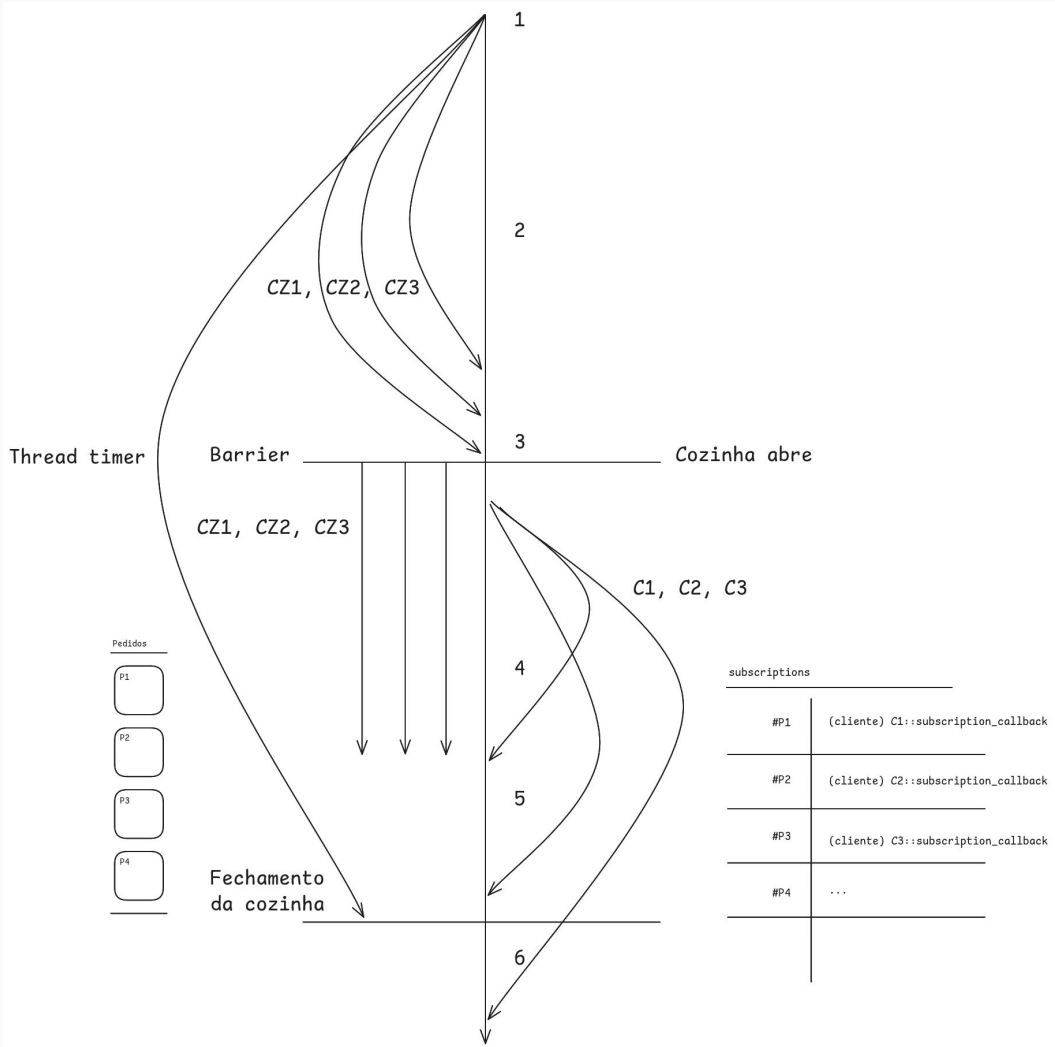
Evidenciado:

- Mecanismo de *Observers* (“`subscriptions`”);
- *Threads* cozinheiros (`CZ1`, `CZ2`…), clientes (`C1`, `C2`…);
- Fila de pedidos, com operações `push` e `pop`;



Fluxo da aplicação

- Início da aplicação, cozinha fechada (1);
- Cozinheiros chegam para trabalhar, um por vez (2);
- Uma vez que todos os cozinheiros estão na cozinha, restaurante abre para pedidos (3);
- Clientes, um por vez, chegam no restaurante (4):
  - Realizam e aguardam pedido, caso o restaurante está aberto para pedidos;
  - Desistem e vão embora, caso contrário;
- À medida que pedidos ficam prontos, clientes recebem e vão embora (5);
- Restaurante fecha para pedidos e, uma vez que todos na fila forem entregues, cozinheiros finalizam turno (6).



Implementação dos mecanismos

> barrier

- Implementação que permite que a instância seja reutilizada após notificação (via variável **`generation`**);
- Na chamada de uma *thread* sobre **`wait()`**, contador (**`count`**, inicializado no valor máximo) é decrementado e, ao atingir 0, que significa que as *threads* que estão esperando podem ser liberadas, via condição de variável **`cv`**;

```
struct barrier {
private:
  std::mutex mutex;
  std::condition_variable cv;
  const size_t threshold;
  size_t count;
  size_t generation = 0;

public:
  void wait() {
     std::unique_lock<std::mutex> lock(mutex);
     size_t current_gen = generation;

     if (--count == 0) {
          generation++;
          count = threshold;
          cv.notify_all();
     } else {
          cv.wait(
               lock,
               [this, current_gen] {
                    return current_gen != generation;
               });
     }
  }
};
```

Implementação dos mecanismos

> observer_subject

- Implementação genérica permite que seja utilizado para quaisquer tipos de dados (`T` utilizado como "chave", enquanto `U` representa o dado transitado);
- Mantém um mapa de todas as chaves (eventos) e, para cada, um vetor de seus observadores;
- Operações feitas *thread-safe* através do uso de proteção por escopo (`std::lock_guard`, da STL);

```
template <typename T, typename U> struct observer_subject {
public:
  void subscribe(T event_id, std::function<void(const U &)>
callback) {
     std::lock_guard<std::mutex> lock(m);
     subscriptions[event_id].push_back(std::move(callback));
  }

  void notify(T event_id, const U &event) {
     std::lock_guard<std::mutex> lock(m);
     std::vector<std::function<void(const U &)>> fs =
subscriptions[event_id];
     for (std::function<void(const U &)> callback : fs) {
     callback(event);
     }
  }

private:
  std::unordered_map<T, std::vector<std::function<void(const
U &)>>> subscriptions;
  std::mutex m;
};
```

Implementação dos mecanismos

> counting_semaphore

- Sincronização de acesso protegido por escopo (`std::unique_lock`) e mecânica de "wait" implementada utilizando *condition variables;*

```
struct counting_semaphore {
private:
  std::mutex mutex;
  std::condition_variable cv;
  int count;

public:
  void acquire() {
     std::unique_lock<std::mutex> lock(mutex);
     cv.wait(lock, [this] { return count > 0; });
     count--;
  }
  void release() {
     {
     std::lock_guard<std::mutex> lock(mutex);
     count++;
     }
     cv.notify_one();
  }
};
```

Implementação dos mecanismos

> synchronizing_queue

- Implementação *thread-safe* de uma fila FIFO;
- Utiliza a implementação padrão de fila (`std::queue`) da STL, apenas oferecendo uma camada de sincronização utilizando de proteção por escopo (`std::lock_guard`) e *condition variables;*

OBS.: Alguns membros da classe foram omitidos do slide para facilitar legibilidade: `size()`, `empty()`, `peek()`

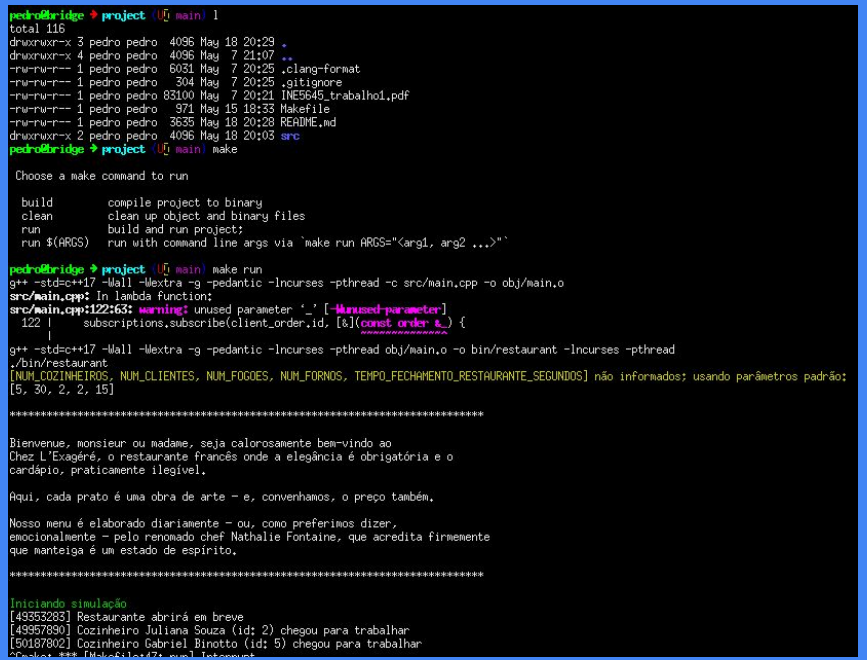
```
template <typename T> struct synchronizing_queue {
private:
  std::queue<T> elements;
  std::mutex mutex;
  std::condition_variable cv;

public:
  void push(const T &element) {
     {
     std::lock_guard<std::mutex> lock(mutex);
     elements.push(element);
     }
     cv.notify_one();
  }
  std::optional<T> pop() {
     std::unique_lock<std::mutex> lock(mutex);
     cv.wait(lock, [this] { return !elements.empty(); });

     if (elements.empty())
     return std::nullopt;

     T element = elements.front();
     elements.pop();
     return element;
  }
};
```

Execução e parametrização



Argumentos de linha de comando

O programa disponibiliza opções de parametrização para as seguintes variáveis:

> `TEMPO_FECHAMENTO_RESTAURANTE_SEGUNDOS`

Permite configurar o tempo de operação no qual a cozinha receberá pedidos;

> `NUM_COZINHEIROS`

Permite configurar o número de threads que representarão cozinheiros;

> `NUM_CLIENTES`

Permite configurar o número de threads que representarão clientes

> `NUM_FOGOES`

Número de fogões disponibilizados na cozinha;

> `NUM_FORNOS`

Número de fornos disponibilizados na cozinha;

Relatório de dados

Ao final da execução, o programa exibirá um relatório de dados da execução da simulação.

```
Estatísticas finais:

**********************************************************

Tempo de operação da cozinha (segundos): 15

Total de pedidos realizados por clientes: 18

Total de pedidos negados (tentativas após fechamento): 12

Total de pedidos preparados por cada cozinheiro:

***

Cozinheiro Mateus Silva (id: 5):
     Total de pedidos realizados: 4

                ID Pedido: 4
                Tempo de preparo (segundos): 4

                ID Pedido: 10
...

Simulação finalizada

**********************************************************
```

Obrigado!

Por: Gabriel Lemos da Silva [18200628] e Pedro Santi Binotto [20200634]