

# GUIÃO DO TRABALHO PRÁTICO

VERSÃO 1.7

## INTRODUÇÃO

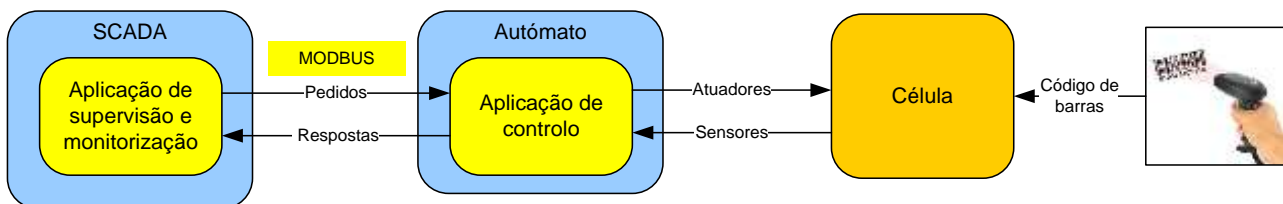
Neste trabalho pretende-se controlar e supervisionar uma célula da linha de produção flexível que existe no laboratório onde vão decorrer as aulas práticas.

Neste documento são apresentados os **requisitos funcionais** relativos às aplicações que irão ser desenvolvidas no trabalho.

## DESCRIÇÃO GERAL

O trabalho está dividido em duas tarefas distintas, mas interdependentes, que serão **executadas em paralelo ao longo do semestre**:

- **Tarefa 1:** desenvolver uma aplicação de controlo da célula utilizando um autómato programável.
- **Tarefa 2:** desenvolver uma aplicação de supervisão e monitorização da célula utilizando uma aplicação SCADA.



## ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho será efetuado em grupo, cada um com 2 alunos (ambos da mesma turma).

Para cada tarefa definiram-se os seguintes objetivos:

- Aplicação de controlo:
  - Modelação da aplicação utilizando Grafset.
  - Implementação da solução proposta num autómato programável utilizando as linguagens definidas pelo IEC 61131-3.
- Aplicação de monitorização e supervisão:
  - Modelação da estrutura dos sinópticos.
  - Implementação da solução proposta no SCADA.

## DATAS DE ENTREGA

- Grafset (documento): entrega até **21 de Outubro**
- Aplicação de controlo:
  - Intermédia:
    - a) Controlo completo das peças com, no máximo, 2 operações, uma em cada máquina. Sem avarias. Sem os estados: A\_PARAR, SUSPENSÃO e EMERGÊNCIA.
    - b) Prazo: entrega até **23 de Novembro**.
  - Final: entrega até **21 de Dezembro**.

- Aplicação de monitorização e supervisão:
  - Intermédia:
    - a) *Mockup* dos sinóticos (totalmente funcional). Com receita. Sem alarmes, históricos e relatório.
    - b) Prazo: entrega até **23 de Novembro.**
  - Final: entrega até **21 de Dezembro.**

A avaliação intermédia será realizada utilizando o emulador do autómato e simulador do kit da fábrica, em *offline* e sem a presença dos elementos do grupo.

A avaliação final será realizada utilizando o autómato e o kit da fábrica, com a presença dos elementos do grupo e nas semanas subsequentes à entrega em data acordada com o docente das aulas PL.

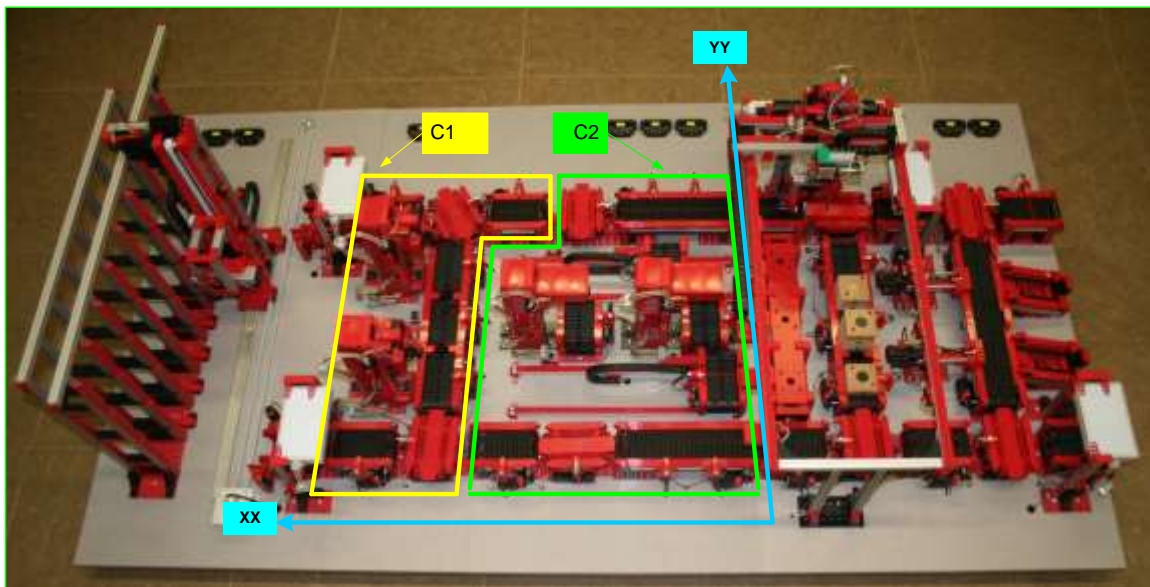
Em ambos os casos, a avaliação resultará da confrontação do comportamento observado com os requisitos funcionais descritos neste documento.

## REQUISITOS DA APLICAÇÃO DE CONTROLO

Nesta parte pretende-se desenvolver uma aplicação de controlo para uma célula da linha de produção. Esta aplicação será executada num autómato, que receberá dados da célula através de sensores e de um leitor de código de barras e que enviará comandos para a célula através de atuadores. Os sensores e os atuadores estarão ligados às cartas de E/S digitais do autómato.

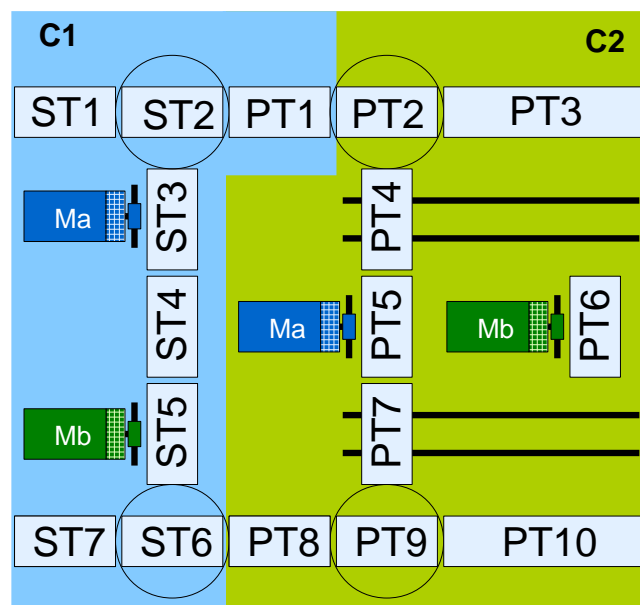
O processo de fabrico consiste no processamento de peças de vários tipos, por um conjunto de máquinas de acordo com uma sequência pré-definida.

Neste trabalho estão disponíveis 2 células: **C1** e **C2** de acordo com a figura seguinte). Cada grupo vai implementar apenas o controlo de uma única célula.



Nota: as setas indicam os sentidos positivos associados a cada eixo (XX e YY)

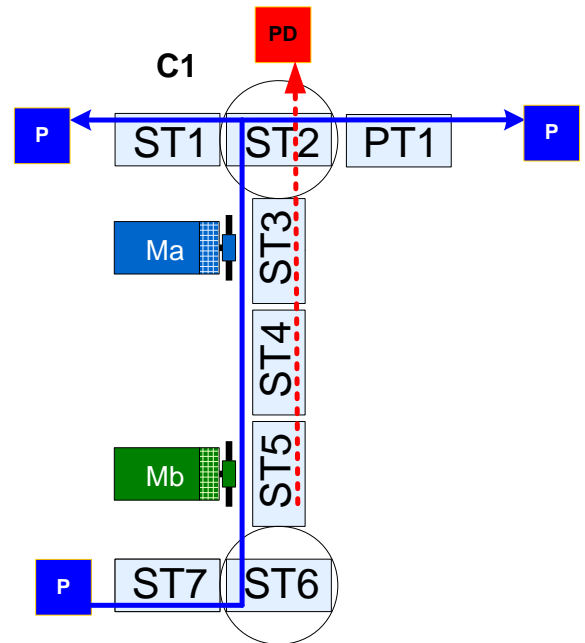
A figura seguinte indica a posição física dos equipamentos (tapetes, máquinas, etc.) e as respetivas mnemónicas (siglas) que serão utilizadas na sua identificação.



## CÉLULA C1

A sequência de operações a realizar na célula **C1** são as seguintes:

1. As peças chegam à célula a partir do tapete **ST7**.
2. A operação de chegada é realizada manualmente por um operador que coloca a peça no tapete **ST7** quando este estiver livre (i.e. sem peça) e parado.
3. Um leitor de código de barras identifica a peça que foi colocada no tapete **ST7**. A leitura do código é realizada após a peça ser colocada no tapete.
4. O código de barras indica que tipo de operações são realizadas na peça nas diferentes máquinas da célula (ver secção *Identificação das Peças*)
5. As peças só podem ser processadas se a máquina estiver livre. Isto é, se esta não estiver a processar, a receber ou a expedir peças.
6. A operação de processamento a realizar em cada máquina consiste nos seguintes passos:
  - a) Avançar o corpo da máquina até ao tapete imediatamente adjacente (sentido **XX-**).
  - b) Descer a torre das ferramentas até à sua posição inferior (sentido **ZZ-**).
  - c) Ativar a ferramenta durante **TA (TB)** segundos na máquina **Ma** ou **Mb**, respetivamente. O valor de TA (TB) é definido na interface do SCADA.
  - d) Subir a torre das ferramentas até à sua posição superior (sentido **ZZ+**).
  - e) Recuar o corpo da máquina até à sua posição inicial (sentido **XX+**).
7. Embora as máquinas possuam 3 ferramentas assume-se que estas já têm a ferramenta que necessitam na posição correta. Isto é, não é necessário selecionar qual a ferramenta que se vai utilizar.
8. A peças depois de processada deve ser encaminhada para os tapetes **ST1** ou **PT1** (ver secção *Identificação das Peças*). Depois da peça chegar a este tapete, um operador recolhe-a manualmente (i.e. retira-a do tapete).
9. Durante o processamento das peças podem ocorrer avarias nas máquinas que podem dar origem a peças com defeito (**PD**). Neste caso as peças são encaminhadas para fora da célula através do tapete **ST2** (ver subsecção *Comportamento durante as avarias*).
10. Em cada tapete só pode existir uma peça de cada vez.
11. Se o tapete imediatamente seguinte (na sequência de encaminhamento da peça) estiver livre, então a peça deve avançar para esse tapete. Caso contrário, deve aguardar no tapete presente até que o próximo esteja livre



## ALARMES

Durante o funcionamento da célula podem ocorrer os seguintes alarmes:

1. Ativação do botão de **Paragem de Emergência** (ver secção *Interface Local*). Neste caso todas as operações que estiverem a ser executadas na célula devem parar num intervalo de tempo que não pode ser superior a 10ms.

2. Avaria da máquina **Ma**. Esta avaria ocorre quando o botão **Azul** (ver secção *Interface Local*) for ativado. Quando isto ocorrer a luz **Azul** (ver *Interface Local*) deve piscar com uma frequência de 0,5Hz. Neste caso considera-se que a máquina não pode executar operações sobre a peça. A avaria é removida (i.e. reparada) quando o botão **Azul** for novamente pressionado. Quando isto ocorrer a luz **Azul** deve ser desligada.
3. Ausência de comunicação com o sistema SCADA durante 30s. Neste caso o sistema deve transitar para o estado **A\_PARAR** (ver secção *Estados*).

---

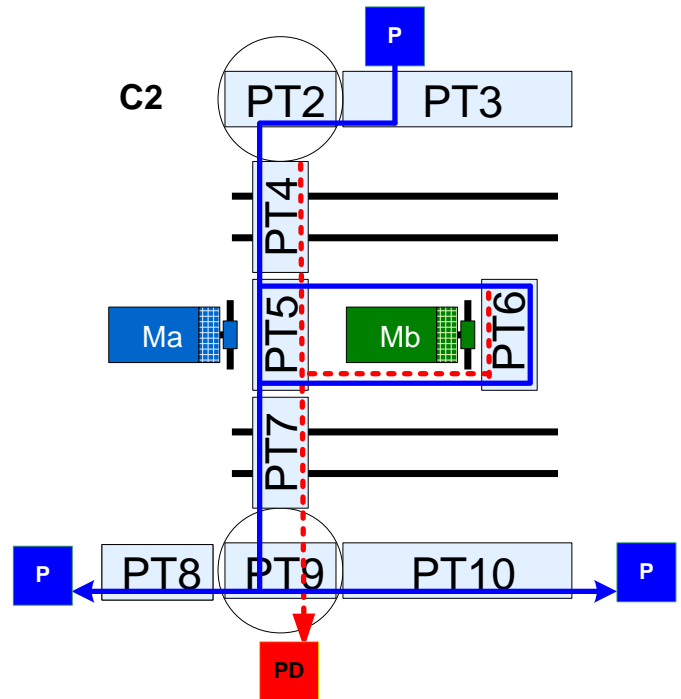
## COMPORTAMENTO DURANTE AS AVARIAS

1. Quando ocorre uma avaria na máquina **Ma** esta deixa de estar disponível para efetuar operações de processamento. Isto é, se a máquina estiver avariada não pode processar peças.
2. Após a avaria da máquina **Ma** esta deve ser colocada na posição de repouso. Isto é, a torre deve estar na parte superior da máquina (sentido **ZZ+**) e o corpo da máquina deve estar recuado (sentido **XX+**).
3. Em caso de avaria de **Ma** devem ser adotados os seguintes procedimentos:
  - Chegou uma peça a **Mb** e **Ma** está avariada. A máquina deve começar por realizar todas as operações originalmente previstas para **Mb**. Quando termina estas operações deve verificar as seguintes situações:
    - a) Ma continua avariada e o número de operações a executar em Ma é **1**. Neste caso deve ser executada a operação de Ma em Mb (com tempo associado a Ma). A peça não deve ser processada posteriormente em Ma.
    - b) Ma continua avariada e o número de operações a executar em Ma é **>1**. Neste caso a peça que deve ser considerada com defeito (**PD**).
    - c) Ma já não está avariada. Neste caso não deve realizar nenhuma operação sobre a peça e esta deve continuar na direção de Ma.
  - Chegou uma peça a Ma. Se **Ma** está avariada e há operações a realizar em Ma então a peça deve ser considerada com defeito (**PD**).
4. Se a avaria da máquina **Ma** ocorrer durante o processamento da peça (i.e. durante a ativação da ferramenta) a operação nessa máquina deve cessar de imediato e a peça é considerada com defeito (**PD**).
5. As peças com defeito (**PD**) devem ser encaminhadas para fora da célula através de **ST2**. Para colocar a peça fora da célula o tapete rotativo **ST2** deve estar alinhado com o tapete **ST3** (sentido **YY+**). Posteriormente, o tapete **ST2** deve ser acionado por forma que a peça caia para fora da célula (i.e. para o chão). Assuma que após ativar o tapete a peça demora no máximo 3 segundos a cair para fora do mesmo.

## CÉLULA C<sub>2</sub>

A sequência de operações a realizar na célula **C<sub>2</sub>** são as seguintes:

1. As peças chegam à célula a partir do tapete **PT<sub>3</sub>**.
2. A operação de chegada é realizada manualmente por um operador que coloca a peça no tapete **PT<sub>3</sub>**, junto ao sensor situado na posição à esquerda da figura (sentido **XX+**, junto a **PT<sub>2</sub>**), quando este estiver livre (i.e. sem peça) e parado.
3. Um leitor de código de barras identifica a peça que foi colocada no tapete **PT<sub>3</sub>**. A leitura do código é realizada após a peça ser colocada no tapete.
4. O código de barras indica que tipo de operações são realizadas na peça nas diferentes máquinas da célula (ver secção *Identificação das Peças*)
5. As peças só podem ser processadas se a máquina estiver livre. Isto é, se esta não estiver a processar, a receber ou a expedir peças.
6. A operação de processamento a realizar em cada máquina consiste nos seguintes passos:
  - a) Descer a torre das ferramentas até à sua posição inferior (**ZZ-**).
  - b) Ativar a ferramenta durante **TA (TB)** segundos na máquina **Ma** ou **Mb**, respetivamente. O valor de TA (TB) é definido na interface do SCADA.
  - c) Subir a torre das ferramentas até à sua posição superior.
7. A peça depois de processada deve ser encaminhada para os tapetes **PT<sub>8</sub>** ou **PT<sub>10</sub>** (ver secção *Identificação das Peças*). Depois da peça chegar a este tapete um operador recolhe-a manualmente (i.e. retira-a do tapete). No caso do tapete **PT<sub>10</sub>** a peça deve parar no sensor situado na posição à esquerda da figura (sentido **XX+**, junto a **PT<sub>9</sub>**).
8. Durante o processamento das peças podem ocorrer avarias nas máquinas que podem dar origem a peças com defeito (**PD**). Neste caso as peças são encaminhadas para fora da célula através do tapete **PT<sub>9</sub>** (ver subsecção *Comportamento durante as avarias*).
9. Em cada tapete só pode existir uma peça de cada vez.
10. Se o tapete imediatamente seguinte (na sequência de encaminhamento da peça) estiver livre, então a peça deve avançar para esse tapete. Caso contrário, deve aguardar no tapete presente até que o próximo esteja livre.



## ALARMES

Durante o funcionamento da célula podem ocorrer os seguintes alarmes:

1. Ativação do botão de **Paragem de Emergência** (ver secção *Interface Local*). Neste caso todas as operações que estiverem a ser executadas na célula devem parar num intervalo de tempo que não pode ser superior a 10ms.

2. Avaria da máquina **Ma**. Esta avaria ocorre quando o botão **Azul** (ver secção *Interface Local*) for ativado. Quando isto ocorrer a luz **Azul** (ver *Interface Local*) deve piscar com uma frequência de 0,5Hz. Neste caso considera-se que a máquina não pode executar operações sobre a peça. A avaria é removida (i.e. reparada) quando o botão **Azul** for pressionado novamente. Quando isto ocorrer a luz **Azul** deve ser desligada.
3. Ausência de comunicação com o sistema SCADA durante 30s. Neste caso o sistema deve transitar para o estado **A\_PARAR** (ver secção *Estados*).

---

## COMPORTAMENTO DURANTE AS AVARIAS

1. Quando ocorre uma avaria na máquina **Ma** esta deixa de estar disponível para efetuar operações de processamento. Isto é, se a máquina estiver avariada não pode processar peças.
2. Após a avaria da máquina **Ma** esta deve ser colocada na posição de repouso. Isto é, a torre deve estar na parte superior da máquina (**ZZ+**).
3. Em caso de avaria de **Ma** devem ser adotados os seguintes procedimentos:
  - A peça chega a PT<sub>4</sub> (vinda de PT<sub>2</sub>). Ma está avariada e o número de operações a executar em Ma é 1. A peça deve ser encaminhada para Mb. Esta máquina deve começar por realizar todas as operações originalmente previstas para Mb. Posteriormente, deve executar a operação de Ma em Mb (com tempo associado a Ma). A peça não deve ser processada posteriormente em Ma.
  - A peça chega a PT<sub>4</sub> (vinda de PT<sub>2</sub>). Ma está avariada e o número de operações a executar em Ma é >1. Neste caso a peça deve ser considerada com defeito (**PD**).
4. Se a avaria da máquina **Ma** ocorrer durante o processamento da peça (i.e. durante a ativação da ferramenta) a operação nessa máquina deve cessar de imediato e a peça é considerada com defeito (**PD**).
5. As peças com defeito (**PD**) devem ser encaminhadas para fora da célula através de **PT<sub>9</sub>**. Para colocar a peça fora da célula o tapete rotativo **PT<sub>7</sub>** deve estar alinhado com o tapete **PT<sub>9</sub>**. Posteriormente, o tapete **PT<sub>9</sub>** deve ser acionado por forma que a peça caia para fora da célula (i.e. para o chão). Assuma que após ativar o tapete a peça demora no máximo 3 segundos a cair para fora do mesmo.

## IDENTIFICAÇÃO DAS PEÇAS

Cada peça possui um código de barras numérico que indica quais as operações de processamento que têm de ser realizadas sobre peça, bem com a forma como a peça deve ser expedida da célula. O código é constituído por 4 dígitos **N<sub>1</sub>N<sub>2</sub>N<sub>3</sub>N<sub>4</sub>** com a seguinte organização:

- O primeiro dígito (**N<sub>1</sub>**) toma sempre o valor **O** (zero).
- O segundo dígito (**N<sub>2</sub>**) indica quantas operações de processamento têm que ser realizadas na máquina Ma. Pode tomar valor na gama 0...2. Se tomar o valor 0 (zero) significa não é realizada nenhuma operação. Quando toma o valor 1 é realizada uma operação. Quando toma o valor 2 são realizadas duas operações de forma consecutiva. Neste último caso a torre da máquina deve subir após o fim da 1ª operação e descer para iniciar a 2ª operação.
- O terceiro dígito (**N<sub>3</sub>**) indica quantas operações de processamento têm que ser realizadas na máquina Mb. A interpretação do respetivo valor é o mesmo da máquina Ma.



- O quarto dígito (**N4**) indica qual o tapete de saída da peça, tomando os seguintes valores:
  - Célula C1: **1** saída por **ST1**; **2** saída por **PT1**
  - Célula C2: **1** saída por **PT8**; **2** saída por **PT10**

## INTERFACE LOCAL

Cada célula dispõe de uma interface local através da qual o operador pode supervisionar e monitorizar o sistema. Esta interface é composta por dois dispositivos:

- Botoneira (figura em baixo), composta por 6 botões de pressão e 5 indicadores luminosos. Os botões são do tipo **Pulse**. Isto é, são ativos (True) quando pressionados e ficam inativos (False) quando libertados. A única exceção é o botão de **Emergência** que é do tipo **Latch**. Isto é, o botão mantém o seu valor mesmo depois de libertado. Terá que ser ativado de novo para voltar ao seu estado inicial (**para desencravar puxe o botão para cima**). Todos os botões são ativos ao nível alto (normalmente aberto), com exceção do botão de emergência que é ativo ao nível baixo (normalmente fechado). Os botões e indicadores luminosos estão ligados a cartas de E/S digitais do autómato.



- SCADA, que executará uma aplicação que irá permitir ao operador supervisionar e monitorizar o estado do processo (ver secção *Requisitos da Aplicação de Supervisão e Monitorização*). O SCADA está ligado ao autómato por uma rede de comunicações. Algumas das funcionalidades (ex. botões e indicadores luminosos) existirão em duplicado em ambos os dispositivos. **Este aspeto tem que ser tomado em conta durante o desenvolvimento da aplicação de controlo.**

## ESTADOS DO PROCESSO

O processo, quando inicialmente ativado (ou seja, quando lhe é aplicada a alimentação), arranca no estado **PARADO** no qual todas as máquinas e tapetes devem estar parados. Neste estado a luz **VERMELHA** deve estar ligada permanentemente se não existirem peças na célula ou a piscar com uma frequência de 0.5Hz, caso existam. O sistema deve permanecer neste estado enquanto existirem peças na célula (assume-se que estas peças serão retiradas manualmente).

Se não existirem peças na célula e o botão **VERDE** for pressionado o sistema transita para o estado **OPERACIONAL**. Neste estado, o processo efetua os procedimentos relativos ao processamento das peças e a luz **VERDE** mantém-se permanentemente ligada (e as restantes desligadas).

Durante o estado **OPERACIONAL** o operador poderá solicitar que o sistema seja suspenso premindo o botão **AMARELO**. Neste caso, o sistema deverá passar para o estado **SUSPENSO**. Neste estado todas as operações na célula (ie. processamento e movimentos) devem cessar de imediato. Neste estado a luz **AMARELA** deverá piscar com uma frequência de 0.5Hz (a luz **VERDE** deve manter-se ligada). Quando o operador pressionar de novo o botão **AMARELO** as operações devem retomar a partir do ponto onde foram suspensas, incluindo eventuais temporizações.

Durante o estado **OPERACIONAL** o operador poderá solicitar que o sistema seja desligado premindo o botão **VERMELHO**. Neste caso, o sistema deverá passar para o estado **A PARAR**, durante o qual deverá a continuar a processar normalmente as peças que já tenham dado entrada na célula, mas deverá impedir a aceitação de novas peças. Após entrar neste estado se forem colocadas novas peças na entrada da célula, estas não são processadas. Neste estado a luz **VERMELHA** deverá piscar com uma frequência de 0.5Hz (a luz **VERDE** deve manter-se ligada). Logo que todas as peças tenham sido processadas e saído da célula o sistema transita para o estado **PARADO**.

Assume-se que no estado **A PARAR** o pedido de suspensão é ignorado.

Existe um botão de **EMERGÊNCIA** que deverá ser permanentemente monitorizado (qualquer que seja o estado em que se encontra o processo) de forma a permitir ao operador parar de imediato todas as ações a decorrer na célula no caso de uma situação de emergência. Quando este botão é pressionado, o sistema transita para o estado de **EMERGÊNCIA**. Neste estado, todas as atividades da célula devem estar paradas e todas as luzes devem ser desligadas. Este estado termina quando o botão de **EMERGÊNCIA** é desativado. Quando isto ocorre o sistema deverá transitar para o estado **PARADO**.

## INICIALIZAÇÃO DO PROCESSO

Quando o sistema é ligado não é conhecido à partida o estado dos vários equipamentos (ex. tapetes rotativos, tapetes deslizantes, máquinas, etc.), no que diz respeito à sua orientação nos eixos **XX**, **YY** e **ZZ**.

Assim é necessário implementar mecanismos de inicialização dos equipamentos que os coloquem em estados (i.e. localizações) bem definidas. Cada grupo tem a liberdade de escolher a localizações que julgue mais apropriadas.

A inicialização deve ser realizada no estado **PARADO** e só deve ser executada após estar garantido que não existem peças na célula. Assume-se que a existirem peças na célula, estas estão em posições que podem ser detetadas pelos sensores que existem nos tapetes.

## REQUISITOS DA APLICAÇÃO DE SUPERVISÃO E MONITORIZAÇÃO

Pretende-se nesta parte do trabalho desenvolver uma aplicação de supervisão e monitorização da célula utilizando um SCADA.

A aplicação de supervisão será executada num PC (onde reside o SCADA) e irá trocar dados com aplicação de controlo (i.e. autómato ou emulador) por forma a conhecer o estado da célula. A troca de dados realiza-se através do protocolo de comunicações MODBUS/TCP.

A aplicação deverá suportar as seguintes funcionalidades:

1. Sinópticos adequados à supervisão/monitorização do processo que disponibilizem as seguintes informações a um operador do sistema:
  - Estado da célula: PARADO, OPERACIONAL, SUSPENSO, A\_PARAR, EMERGÊNCIA
  - Estado dos tapetes: em movimento/rotação/parados.
  - Estado das máquinas: paradas/em processamento.
  - Peças:
    - Tipo de peça na máquina. Quando a peça estiver localizada no tapete adjacente à máquina, deve ser indicado quantas operações irão ser realizadas nessa máquina.
    - Localização (tapete / máquina)
    - Movimento das peças entre tapetes.
  - Número de peças processadas ou com defeito (PD).
  - Data e hora atual.
  - Não devem estar presentes menus (na janela do sinótico) não relacionados com a monitorização / supervisão do trabalho.
2. Permitir ao operador comandar o processo utilizando botões equivalentes aos da botoneira: Verde e Vermelho.
3. Permitir ao operador definir os tempos de processamento das peças nas máquinas (TA e TB). Esta funcionalidade tem que ser implementada através do conceito de Receita. Devem ser criadas 3 receitas:
  - Receita 1: TA=4s, TB=1s
  - Receita 2: TA=1s, TB=1s
  - Receita 3: TA=1s, TB=4s
  - As receitas devem ser geridas através da execução de código e não do **Recipe Manager** que está disponível no Runtime.
  - Caso o operador não selecione uma receita, considera-se que está ativa a Receita 1.
4. Assinalar situações de alarme.
5. Manter um registo histórico de todas as ocorrências de alarmes. Deve ser criado:
  - Uma página/log de alarmes (todos os estados).
  - Indicar nas páginas de sinópticos quais os alarmes que estão ativos. Todas as situações de alarme devem ser confirmadas pelo operador.

6. Manter um registo histórico:
  - Códigos de barras das peças que entraram na célula.
    - Devem ser armazenados os seguintes elementos: data / hora / código.
  - Eventos relacionados com as máquinas.
    - Os eventos são o estado da máquina: parada/a processar/avariada
    - Devem ser armazenados os seguintes elementos: data / hora / máquina / evento.
7. Permitir ao operador gerar um relatório de produção com os seguintes elementos:
  - Para cada máquina: quantas peças foram processadas.
  - Quantas avarias ocorreram na máquina Ma.
8. Os elementos relacionados com históricos deverão ser armazenados em ficheiros de texto.

---

FIM