



FEUP **FACULDADE DE ENGENHARIA**
UNIVERSIDADE DO PORTO

Departamento de Engenharia
Electrotecnica e de Computadores

Linha de Produção Flexível

1 Introdução

Este documento descreve a Linha de Produção Flexível que existe no laboratório I004 do DEEC, e também o respectivo simulador.

2 Descrição Geral

A Linha de Produção Flexível é composta por 5 módulos básicos (Figura 1), sendo estes da esquerda para a direita:

- um armazém automático;
- duas células de maquinação;
- uma célula de montagem;
- uma célula de carga e descarga de peças.

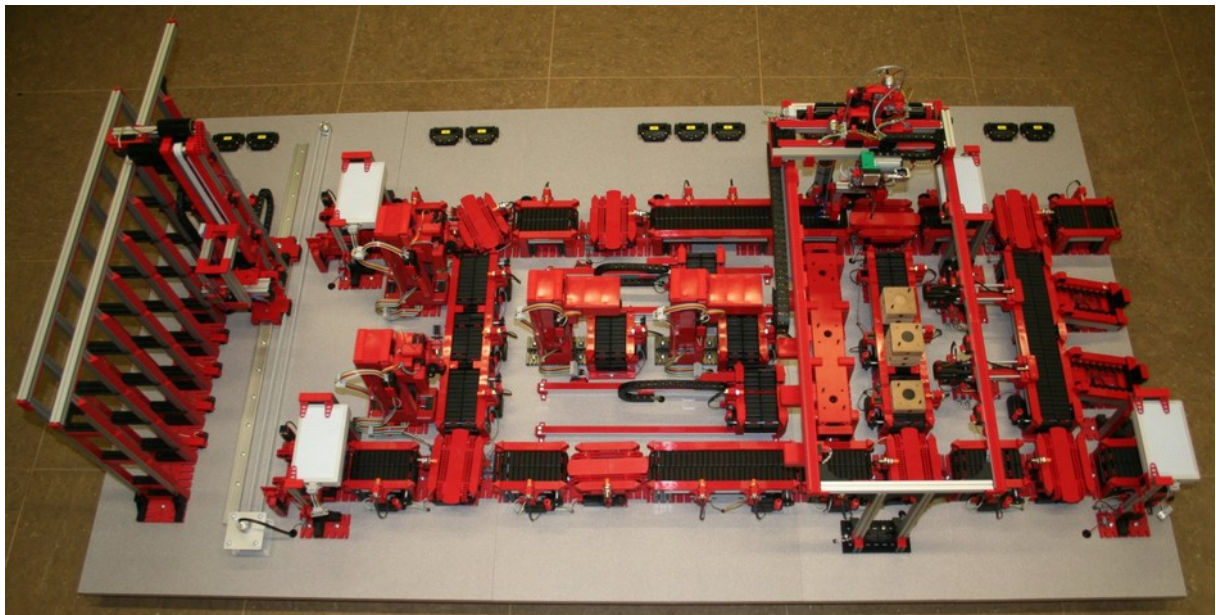


Figura 1: Linha de produção flexível

O encaminhamento das peças entre os vários módulos é realizado utilizando tapetes. Na linha de produção existem 2 tipos de tapetes:

- Tapetes lineares (de cor predominante **preta**), que permitem transportar peças em ambos os sentidos da sua orientação;
- Tapetes rotativos (de cor predominante **vermelha**), que, para além de uma função semelhante à dos tapetes lineares, podem também rodar sobre o seu eixo.

Existem também tapetes que podem ser rodados. Estes últimos (tapetes rotativos) permitem a transferência das peças para o 'interior' da célula de fabrico, onde poderão ser processadas.

Cada célula dispõe de um conjunto de tapetes que permitem receber peças da célula imediatamente à sua esquerda (ou à direita), e encaminhar essas peças para a célula imediatamente à sua direita (ou à esquerda), um na parte superior da figura, e outro na

parte inferior. Como os tapetes são bidireccionais, tanto na sequência de tapetes superior como inferior, é possível encaminhar peças da esquerda para a direita, ou vice-versa.

Nas subsecções seguintes é apresentada uma breve descrição de cada uma destes módulos.

2.1 Armazém Automático

O armazém dispõe de 18 posições organizadas em colunas e linhas (Figura 2). Em cada uma dessas posições pode ser armazenada uma peça simples ou composta (resultante do empilhamento de várias peças simples).

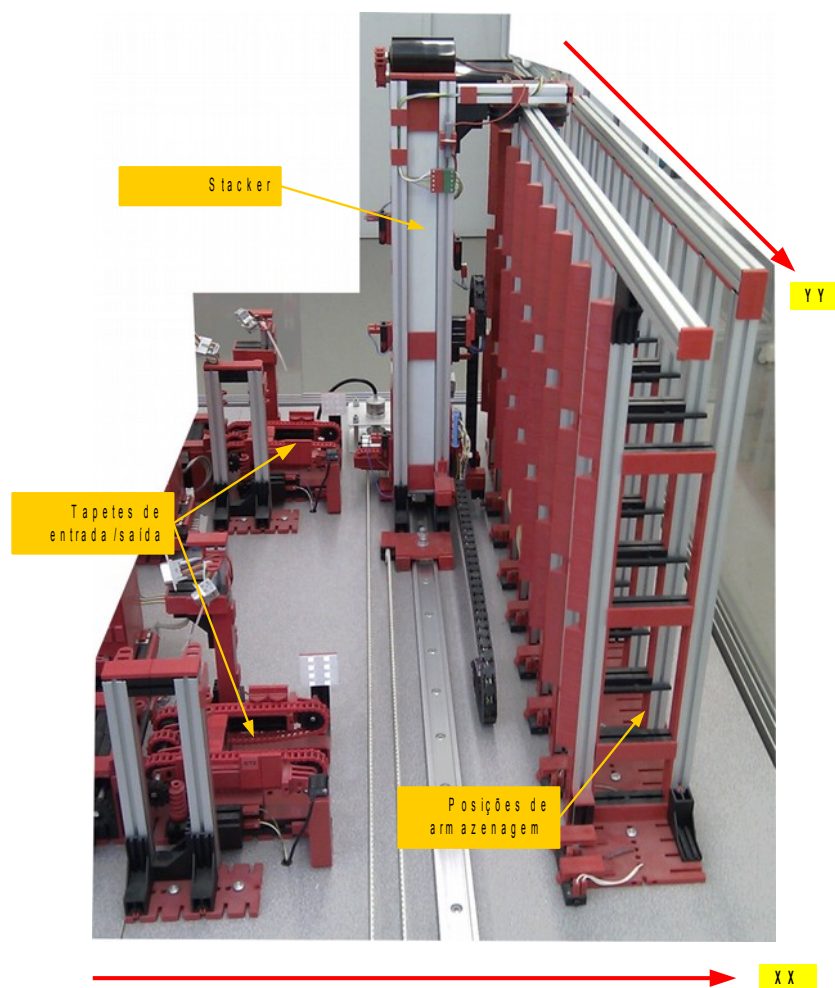


Figura 2: Armazém automático

A colocação/remoção de peças nas posições de armazenamento é realizada por intermédio de um *stacker* ('torre' vertical). Para realizar estas operações este dispositivo pode deslocar-se segundo os eixos **XX** e **YY**.

Dispõe também de dois tapetes que são utilizados para a entrada/saída de peças do armazém. Sobre estes tapetes encontra-se um leitor de RFID que permite identificar as peças que entram e saem do armazém.

2.2 Célula de Maquinação Série

A célula de maquinação série é composta por duas máquinas ferramenta e por diversos tapetes, com a disposição esquematizada na Figura 3.

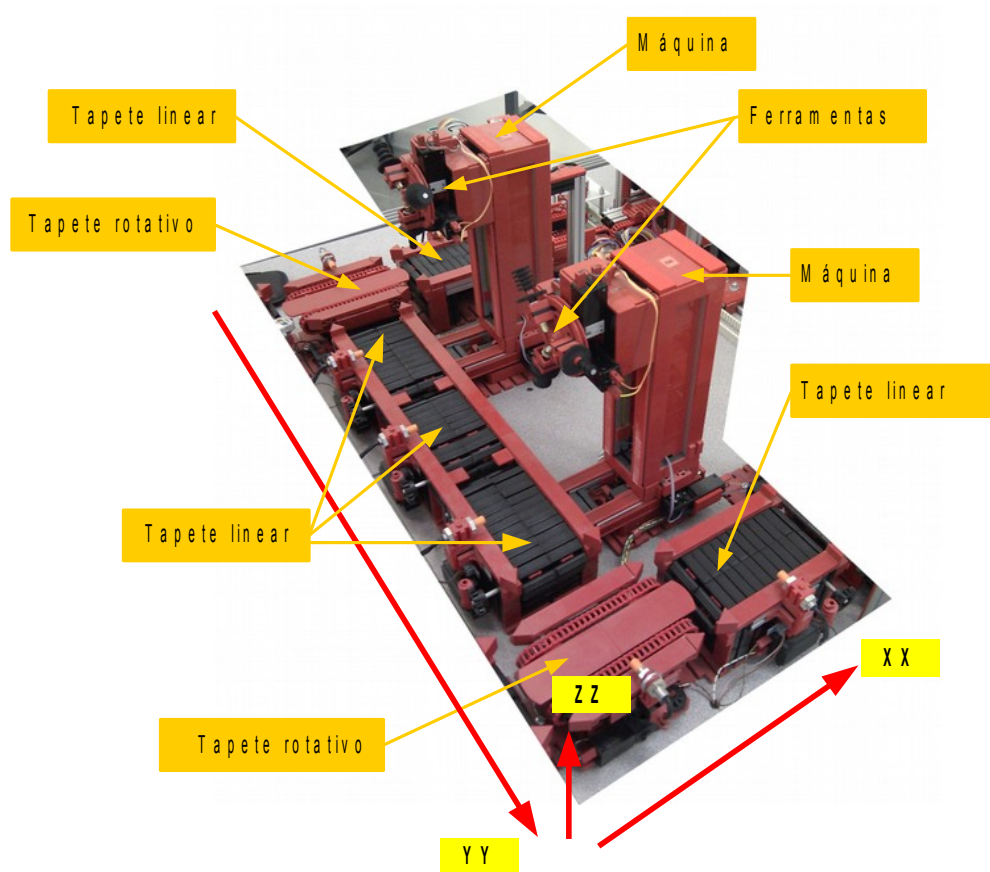


Figura 3: Célula de maquinação série

Os tapetes lineares transportam as peças apenas numa direcção (eixo **XX** ou **YY**). Os tapetes rotativos, transportam peças tal como tapete linear (i.e. **XX** ou **YY**), mas podem também rodar sobre o seu próprio eixo (**ZZ**).

As duas máquinas encontram-se montadas em série. Ou seja, uma peça que entre de um lado da célula e saia pelo outro lado, passa sempre por ambas as máquinas. Cada máquina é controlada de forma individual.

As máquinas podem também movimentar-se no sentido do eixo **XX**. Só quando a máquina está junto ao tapete é que pode realizar operações. Estas operações são realizadas por ferramentas. Cada máquina tem 3 ferramentas colocadas num suporte giratório montado sobre uma torre. O suporte giratório pode rodar para se seleccionar a ferramenta desejada. A torre pode movimentar-se no sentido do eixo **ZZ**.

2.3 Célula de Maquinação Paralela

A célula de maquinaria paralela é composta por duas máquinas ferramenta e por diversos tapetes, com a disposição esquematizada na Figuras 4.

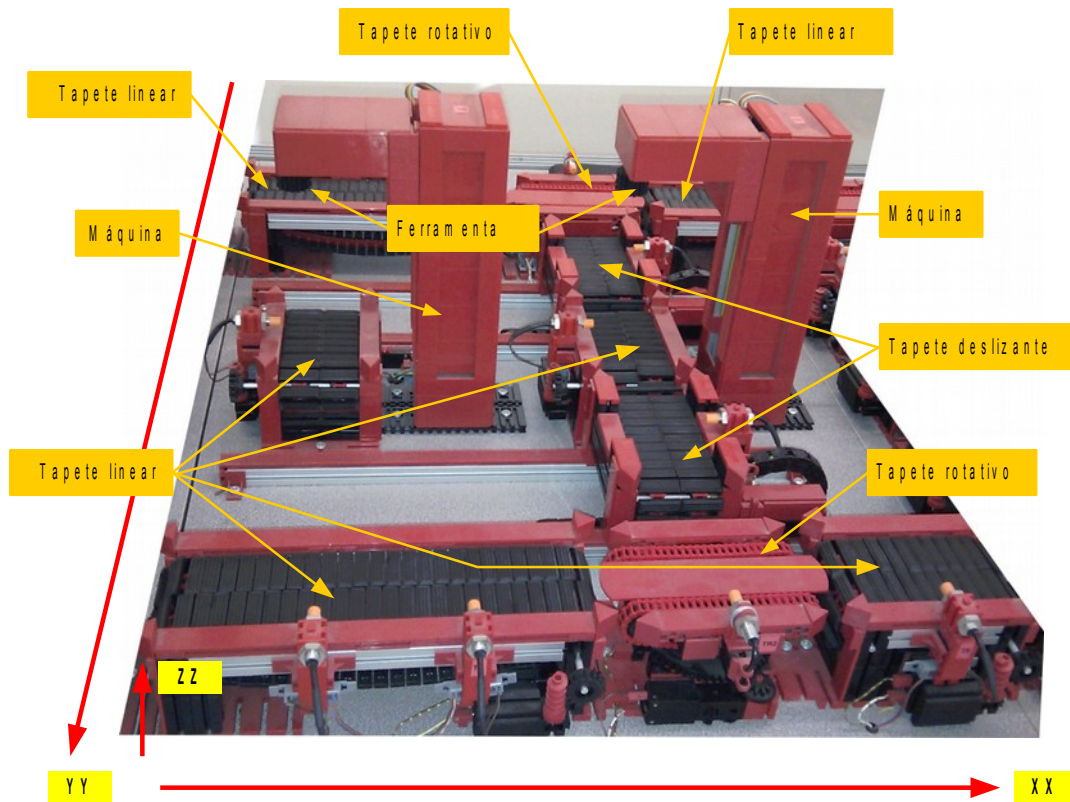


Figura 4: Célula de maquinaria paralela

Esta célula dispõe de dois tapetes montados sobre carris que podem movimentar-se segundo o eixo **XX**. Estes permitem transferir peças que entrem na parte superior (inferior) para qualquer uma das máquinas ferramenta. As peças maquinadas por esta célula podem assim seguir diversos percursos, consoante a necessidade.

As máquinas estão fixas (ou contrário da célula série) e dispõem apenas de uma ferramenta que está montada numa torre. A torre pode movimentar-se no sentido do eixo **ZZ**.

2.4 Célula de Montagem

A célula de montagem é constituída por um robot de três eixos do tipo 'gantry' e por diversas mesas e tapetes, com a disposição esquematizada na Figura 5.

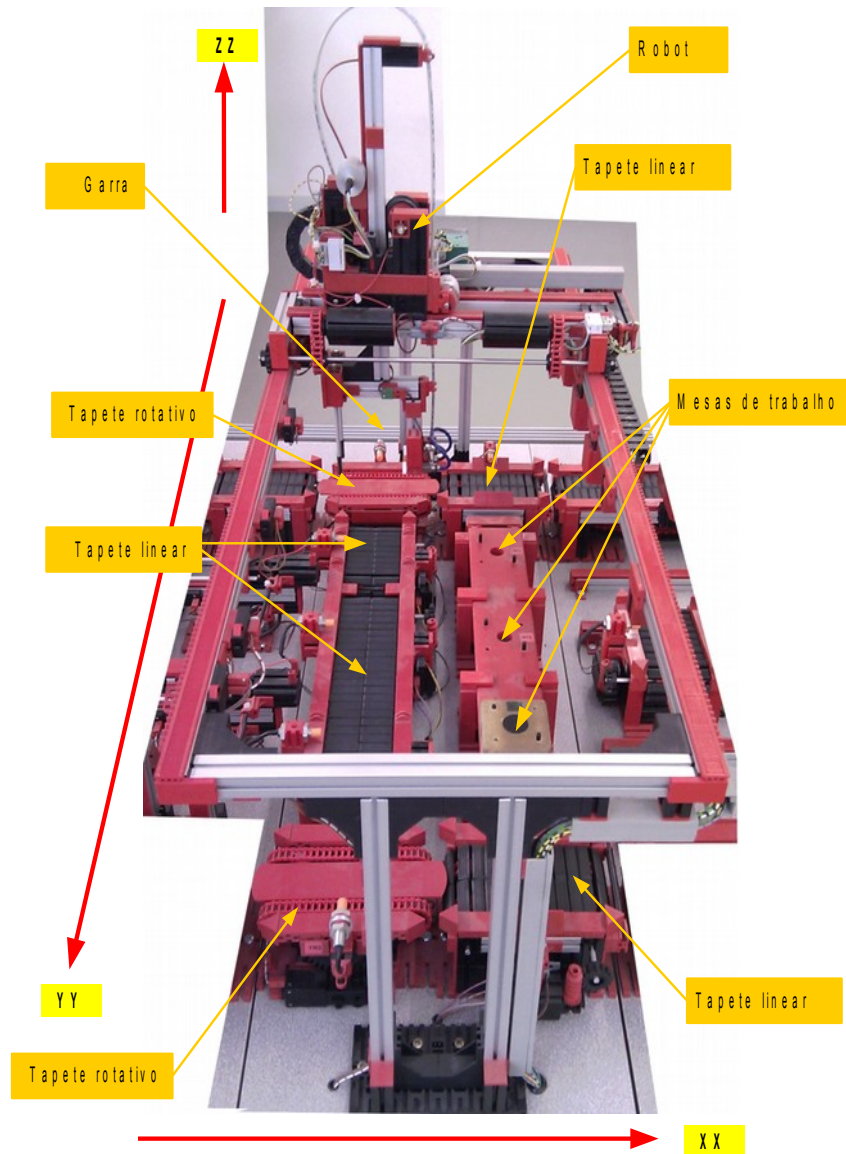


Figura 5: Célula de montagem

Este robot possui uma garra que se pode deslocar nos eixos dos **XX**, **YY** ou **ZZ**. Dentro da zona de operação do robot existem diversos tapetes, e ainda três mesas de montagem. As mesas não são mais do que suportes horizontais sobre os quais será possível colocar as peças. As peças podem ainda ser montadas (empilhadas) umas em cima das outras, passando assim a formar peças complexas (máximo de três peças simples).

A garra permite segurar peças simples ou complexas de uma só vez, pelo que nesta célula será possível efectuar a montagem de peças simples em complexas, e transferir as peças complexas para a saída.

2.5 Célula de Carga e Descarga

Esta célula permite efectuar a carga de peças do exterior para a linha de fabrico, bem como a descarga de peças da linha de fabrico para o exterior. A sua disposição está esquematizada na Figura 6.

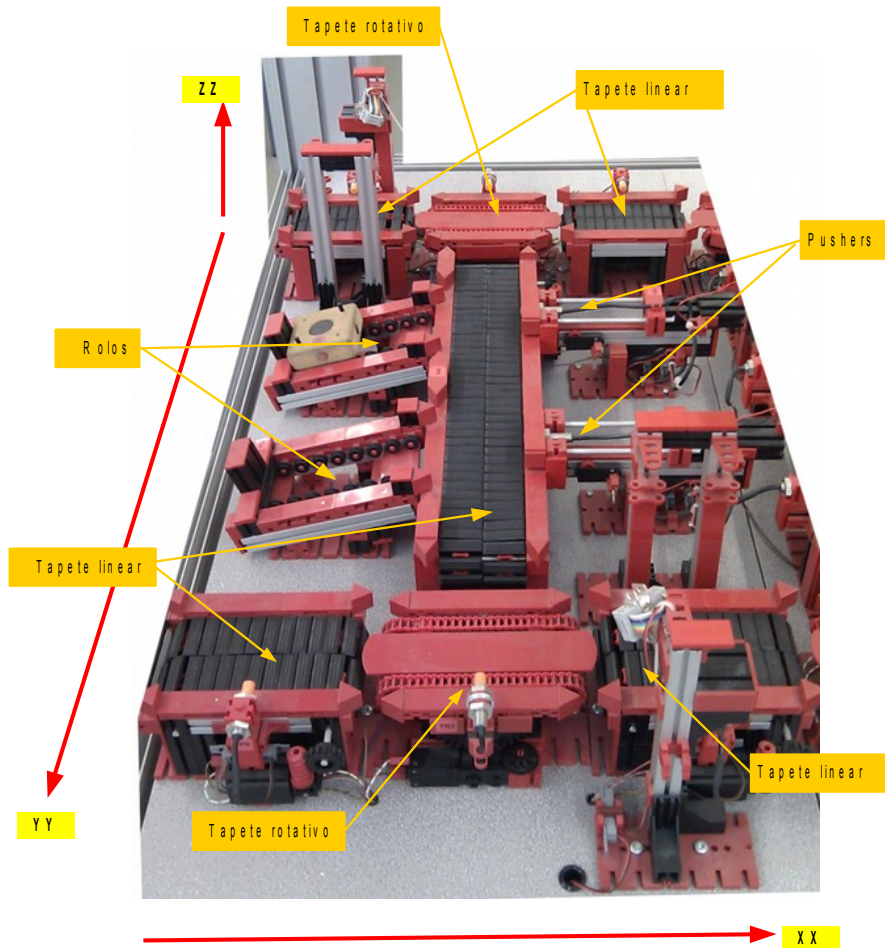


Figura 6: Célula de carga e descarga

A descarga de peças pode ser feita pelos tapetes, ou por duas zonas de armazenagem temporária que dispõem de rolos sobre os quais as peças deslizam por acção da gravidade. Neste último caso, as peças são movimentadas por acção de um *pusher*. Este equipamento é semelhante a um êmbolo que permite empurrar as peças para fora do tapete (eixo **XX**).

2.6 Peças

As peças são blocos de madeira quadrados que podem montadas (empilhadas) umas em cima das outras, passando assim a formas peças complexas (máximo de três peças simples).

Possuem também no seu centro uma etiqueta RFID (leitura & escrita) que pode ser utilizada para a respectiva identificação. Os leitores de RFID estão posicionados sob a forma de um pórtico à entrada/saída do armazém e à entrada/saída da célula de carga e descarga.

3 Descrição dos equipamentos

Nesta secção realizar-se-á uma descrição mais detalhada do funcionamento de cada equipamento. São também indicados os comandos e sensores associados a cada equipamento.

3.1 Tapete Linear

Um tapete linear pode movimentar uma peça em em dois sentidos opostos (eixos **XX** ou **YY**, conforme a posição do tapete). O movimento efectua-se sempre à mesma velocidade, pelo que o controlo do motor do tapete pode ser realizado utilizando um sinal binário para cada sentido. Em princípio não deveria ser permitido comandar o movimento nos dois sentidos em simultâneo (com o risco de danificar o equipamento), no entanto a linha de produção encontra-se protegida (electricamente) contra esta eventualidade, resultando na paragem de ambos os motores, pelo que o simulador tem o mesmo comportamento.

Todos os tapetes dispõem de um ou mais sensores os quais permitem detectar a presença de uma peça em cima do tapete (função do tamanho do tapete). Nos tapetes mais curtos o sensor está colocado no centro do tapete. Nos tapetes mais longos existem dois sensores por tapete, colocados aproximadamente em cada extremidade do mesmo. A cada um destes sensores corresponde uma saída binária.

O tapete linear possui os seguintes sinais de entrada e saída (Tabela 1).

Tipo	Sigla	Nome
Comando Binário	mp	movimento no sentido positivo (XX ou YY)
Comando Binário	mm	movimento no sentido negativo (XX ou YY)
Sensor Binário 1	p1	Presença de peça
Sensor Binário 2	p2	Presença de peça
Sensor Binário 3		...

Tabela 1: Comandos e sensores do tapete linear

Nos tapetes com posição horizontal (eixo **XX**) utiliza-se a nomenclatura **me** / **md** (movimento para a esquerda / direita), enquanto que os tapetes com posição vertical (eixo **YY**) utiliza-se **mc** / **mb** (movimento para cima / para baixo).

3.2 Tapete Rotativo

O tapete rotativo comporta-se de forma idêntica a um tapete linear, sendo no entanto possível controlar a sua rotação sobre o eixo dos **ZZ**.

Para controlar esta rotação extra, o tapete dispõe de mais dois sinais binários, um para cada cada sentido de rotação. Em princípio não deveria ser permitido comandar o movimento nos dois sentidos de rotação em simultâneo (com o risco de danificar o equipamento), no entanto a linha de produção encontra-se protegida (electricamente) contra esta eventualidade, resultando na paragem de ambos os motores, pelo que o simulador tem o mesmo comportamento.

Só é permitido rodar o tapete no máximo 90°. Os dois extremos destes 90° são sinalizados por dois sensores de fim-de-curso. Caso a rotação do tapete continuar para além destes limites, o equipamento pode ser danificado.

Na tabela seguinte estão descritos os respectivos sinais de entrada e saída.

Tipo	Sigla	Nome
Comando Binário	mp	movimento no sentido positivo (XX ou YY)
Comando Binário	mm	movimento no sentido negativo (XX ou YY)
Comando Binário	rd	rotação no sentido directo
Comando Binário	ri	rotação no sentido inverso
Sensor Binário	p	presença de peça
Sensor Binário	d	fim de rotação no sentido directo
Sensor Binário	i	fim de rotação no sentido inverso

Tabela 2: Comandos e sensores do tapete rotativo

A sequência de comandos, movimentos e posições possíveis está representada na Figura 7.

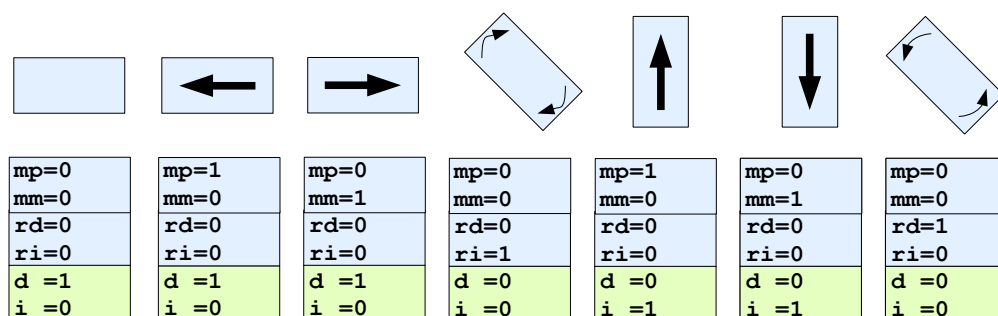


Figura 7: Movimentos do tapete rotativo

3.3 Tapete Deslizante

O tapete deslizante comporta-se de forma muito semelhante a um tapete rotativo, com a única diferença de que o movimento de rotação é substituído por um de translação linear (eixo **XX**). Assim, os comandos e sensores são os mesmos que o tapete rotativo, apenas com nomes diferentes.

Tipo	Sigla	Nome
Comando Binário	mp	movimento no sentido positivo (YY)
Comando Binário	mm	movimento no sentido negativo (YY)
Comando Binário	tp	translação no sentido positivo (XX)
Comando Binário	tm	translação no sentido negativo (XX)
Sensor Binário	p	presença de peça
Sensor Binário	fp	Fim translação no sentido positivo (XX)
Sensor Binário	fm	Fim translação no sentido negativo (XX)

Tabela 3: Comandos e sensores do tapete deslizante

3.4 Mesa de Trabalho

Uma mesa de trabalho serve apenas para pousar as peças de forma temporária. São utilizadas dentro da área de alcance do robot tipo gantry, para que este possa pousar peças nestas mesas, e assim empilhar peças umas nas outras.

Do ponto de vista de controlo comporta-se como um tapete que nunca se move. Tem apenas um sensor de presença, e não tem qualquer comando.

Tipo	Sigla	Nome
Sensor Binário	p	presença de peça

Tabela 4: Comandos e sensores da mesa de trabalho

3.5 Armazém

Por forma a simplificar o trabalho exigido aos alunos, bem como a complexidade do próprio simulador, a simulação do armazém assume que este se encontra já automatizado por um programa já existente. Assim, a interacção com o armazém fica limitada ao pedido de armazenagem de uma peça, ou a retirada de uma peça de um determinado tipo.

Como a interface física da célula do armazém com as restantes células se faz através de dois tapetes, o armazém é representado por dois tipos de tapetes. Um tipo de tapete permite retirar peças do armazém, enquanto o outro tipo de tapete permite armazenar peças no armazém.

Cada tapete é controlado de forma idêntica a um tapete linear descrito previamente, pelo que dispõe de duas saídas digitais para os comandos de movimento do tapete, bem como uma entrada digital para indicar a presença de uma peça sobre o tapete.

Para armazenar uma peça, esta deve ser primeiro colocada sobre o tapete apropriado, na posição do meio. O pedido de armazenagem é indicado através de uma transição de 0 para 1 de uma sinal digital específico (in). Considera-se que a operação de armazenagem termina logo que a peça 'desapareça' do tapete.

Para a remoção de uma peça do armazém, o tapete deverá estar inicialmente livre. De seguida, deve ser indicado (através de uma saída de 8 bits) o número de que identifica o tipo de peça que se pretende retirar do armazém. Note que para que seja considerado o pedido de remoção, este registo deverá estar inicialmente com o valor 0. Considera-se que a operação de remoção da peça terminou logo que o tapete aparece ocupado pela mesma.

Os sinais de comando de cada um dos tapetes de interface com o armazém encontram-se a seguir resumidos.

Tipo	Sigla	Nome
Comando Binário	mp	movimento no sentido positivo (XX ou YY)
Comando Binário	mm	movimento no sentido negativo (XX ou YY)
Comando Binário	in	inserir peça no armazém
Sensor Binário	p	presença de peça

Tabela 5: Comandos e sensores da interface de entrada do armazém

Tipo	Sigla	Nome
Comando Binário	mp	movimento no sentido positivo (XX ou YY)
Comando Binário	mm	movimento no sentido negativo (XX ou YY)
Comando Word	tp	tipo de peça a remover
Sensor Binário	p	presença de peça

Tabela 6: Comandos e sensores da interface de saída do armazém

3.6 Máquina Ferramenta

Uma máquina ferramenta efectua operações sobre a peça que se encontra sobre o tapete anexo à máquina. Este tapete é considerado parte integrante da máquina ferramenta, e é comandado por comandos em tudo idênticos aos comandos de um tapete linear.

Existem 2 tipos de máquinas ferramentas. Uma com apenas 1 ferramenta e outra com 3 ferramentas.

No caso de uma máquina com 3 ferramentas estas encontram-se montadas numa torre. A troca de ferramentas efectua-se ordenando a rotação da torre, sempre no mesmo sentido, até que a ferramenta desejada se encontre na posição de maquinação. Um sensor é activado sempre que uma ferramenta (qualquer delas) se encontra na posição de maquinação. Uma vez que este sensor não indica qual a ferramenta, mas apenas a presença de uma qualquer ferramenta, é da responsabilidade do programa de controlo da máquina manter em memória o número de rotações efectuadas, e assim determinar qual a ferramenta que se encontra na posição de maquinação. Sempre que a máquina é iniciada, considera-se que a ferramenta na posição de maquinação é a ferramenta T1. As ferramentas encontram-se montadas pela ordem T1, T2 T3.

A torre na qual se encontra a montada a ferramenta pode ser deslocada em dois eixos independentes – eixo **ZZ** (cima-baixo), e no eixo dos **YY** (esquerda-direita). Para o controlo de posição em cada um destes eixos dispõe-se de 2 comandos binários, e dois sensores que indicam a chegada a uma das posições extremas.

No caso das máquinas com uma única ferramenta, é apenas possível controlar a velocidade (fixa) da mesma, e a torre pode apenas ser movimentada segundo o eixo dos **ZZ**.

A operação a velocidade fixa da ferramenta na posição de maquinação é indicada através de um simples comando binário.

De forma a prevenir danos físicos ao equipamento, nunca deverá permitir que os movimentos nos eixos **ZZ** e **YY** ultrapassem os limites.

Tipo	Sigla	Nome
Comando Binário	mp	movimento no sentido positivo (XX ou YY)
Comando Binário	mm	movimento no sentido negativo (XX ou YY)
Comando Binário	tc	troca de ferramenta (tool change)
Comando Binário	--	troca de ferramenta (outro sentido)
Comando Binário	tr	rotação de ferramenta (tool rotate)
Comando Binário	yp	movimento torre eixo y (sentido positivo)
Comando Binário	ym	movimento torre eixo y (sentido negativo)
Comando Binário	zp	movimento torre eixo z (sentido positivo)
Comando Binário	zm	movimento torre eixo z (sentido negativo)
Sensor Binário	p	presença de peça
Sensor Binário	pt	presença de ferramenta
Sensor Binário	yp	Fim movimento eixo y (sentido positivo)
Sensor Binário	ym	Fim movimento eixo y (sentido negativo)
Sensor Binário	zp	Fim movimento eixo z (sentido positivo)
Sensor Binário	zm	Fim movimento eixo z (sentido negativo)

Tabela 7: Comandos e sensores da máquina ferramenta

3.7 Pusher

Um *pusher* permite empurrar uma peça para fora de um tapete. É essencialmente utilizado na escolha e seriação de peças. O tapete é considerado parte integrante do *pusher*, e é comandado por comandos em tudo idênticos aos dos comandos de um tapete linear.

O *pusher* utiliza dois comandos, um para se movimentar para a direita (sentido de remoção de peça), e outro para se movimentar para a esquerda (sentido de retorno à posição de repouso). Existem dois sensores fim-de-curso que indicam o limite de cada um destes movimentos. Para prevenir a ocorrência de danos físicos ao equipamento, nunca deve permitir que este movimento se faça para além dos limites.

Deve ainda tomar cuidado no sentido de apenas movimentar o tapete quando o *pusher* se encontra na posição de repouso.

Tipo	Sigla	Nome
Comando Binário	mp	movimento no sentido positivo (XX ou YY)
Comando Binário	mm	movimento no sentido negativo (XX ou YY)
Comando Binário	pr	recolhe o pusher
Comando Binário	pe	estende o pusher
Sensor Binário	p	presença de peça
Sensor Binário	fr	fim de recolha do pusher
Sensor Binário	fe	fim de extensão do pusher

Tabela 8: Comandos e sensores do pusher

3.8 Robot 3D (Gantry)

O robot 3D efectua movimentos nos 3 eixos (**XX**, **YY**, **ZZ**), sendo que para cada eixo existem dois comandos de movimento (um para cada direcção).

Para o eixo **ZZ** existem dois sensores que indicam as duas posições extremas (em cima e em baixo). Para o eixo dos **XX** também existem dois sensores que incidam as duas posições extremas, as quais coincidem com o alinhamento correcto com os tapetes/mesas que se encontram por baixo do robot. Já para o eixo dos **YY** existem 5 sensores, os quais indicam que o robot se encontra alinhado com um dos cinco tapetes/mesas deste eixo.

Um único comando binário é suficiente para controlar a garra (0 → abre a garra; 1 → fecha a garra). Por motivos mecânico, após o comando de fecho da garra deverá esperar-se cerca de 1 segundo para dar tempo a que a peça seja presa correctamente.

Na garra encontra-se montado um sensor o qual indica a presença (ou não) de uma peça.

Para prevenir contra a ocorrência de colisões, todos os movimentos da garra ao longo dos eixos **XX** e **YY** só poderão ser efectuados quando a garra se encontra na posição superior do eixo **ZZ**. Para além disso, não deverá permitir que o movimento ao longo dos eixos **XX**, **YY**, e **ZZ** nunca ultrapasse os limites da zona de operação.

Quando o sistema arranca, a posição do robot é desconhecida. É assim necessário ter um procedimento de inicialização do mesmo que o coloque numa posição conhecida.

Tipo	Sigla	Nome
Comando Binário	xp	movimento no sentido positivo (XX)
Comando Binário	xm	movimento no sentido negativo (XX)
Comando Binário	yp	movimento no sentido positivo (YY)
Comando Binário	ym	movimento no sentido negativo (YY)
Comando Binário	zp	movimento no sentido positivo (ZZ)
Comando Binário	zm	movimento no sentido negativo (ZZ)
Comando Binário	g	Comando da garra
Sensor Binário	xp	Fim movimento no sentido positivo (XX)
Sensor Binário	xm	Fim movimento no sentido negativo (XX)
Sensor Binário	zp	Fim movimento no sentido positivo (ZZ)
Sensor Binário	zm	Fim movimento no sentido negativo (ZZ)
Sensor Binário	y1	Posição 1 do eixo YY
Sensor Binário	y2	Posição 2 do eixo YY
Sensor Binário	y3	Posição 3 do eixo YY
Sensor Binário	y4	Posição 4 do eixo YY
Sensor Binário	y5	Posição 5 do eixo YY
Sensor Binário	p	Presença de peça

Tabela 9: Comandos e sensores do robot

4 Simulador da Linha de Produção Flexível

Para permitir testar as aplicações ser ter que utilizar directamente a linha de produção (ex. em casa) foi desenvolvido um simulador da mesma.

O simulador consiste num programa em Java, o qual pode ser executado em qualquer plataforma que disponha de uma máquina virtual Java (ex. Windows, Linux, OSX). O simulador tenta seguir de forma mais precisa possível o kit atrás descrito. No entanto existem ainda pequenas discrepâncias. A mais importante reside no facto do tempos de movimentação de peças não serem exactamente iguais aos da célula (apenas aproximados).

Ao contrário da linha de produção que se encontra montada com uma disposição fixa, o simulador permite construir linhas de produção com as disposições mais diversas, e com qualquer número de sub-componentes (i.e. máquinas ferramenta, tapetes simples, tapetes rotativos). Ou seja, a planta da linha de fabrico é configurável, tanto na quantidade de equipamento de cada tipo, bem como na sua distribuição pela planta da fábrica. Assim, o mesmo programa de simulação pode simular as mais diversas distribuições de equipamentos pelo fábrica. A configuração é contida num ficheiro, o qual pode ser editado manualmente. No entanto, para o trabalho que lhe é proposto, vai ser-lhe entregue um ficheiro com uma distribuição de equipamento que segue a distribuição do linha de produção previamente descrita. Por este motivo, o formato do ficheiro de configuração não será descrito neste documento¹.

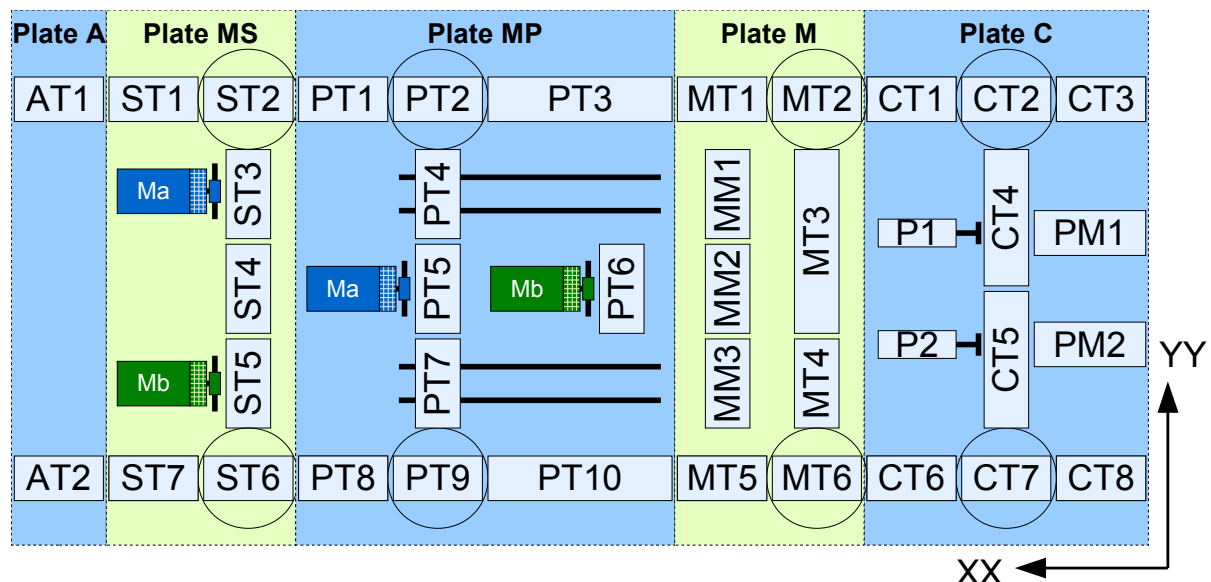


Figura 8: Esquema da linha de produção

¹ O formato do ficheiro de configuração é bastante intuitivo e auto explicativo, pelo que está livre de efectuar as experiências que achar interessantes. Chama-se a atenção no entanto que o trabalho que será avaliado presume que a planta a ser controlada não sofre alterações, pelo que as alterações deverão ter meramente carácter de exploração.

A planta da linha de fabrico sobre a qual irá realizar o seu trabalho tenta simular o mais possível a distribuição da linha de montagem previamente descrita, introduzindo, no entanto, algumas simplificações.

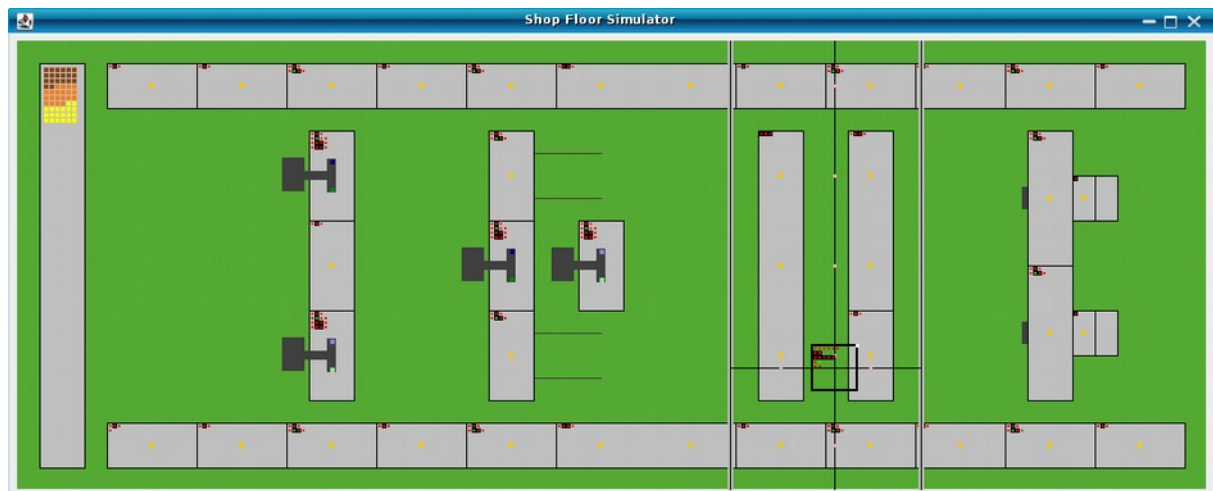


Figura 9: Aspecto do simulador

Cada equipamento (tapete, máquina ferramenta, etc.) simulado pelo simulador será controlado através de entradas e saídas (na sua maioria binárias). O controlo destes equipamentos será efectuado através do protocolo de comunicações Modbus/TCP. Para todos os efeitos, o simulador comporta-se como um único escravo Modbus/TCP que poderá ser controlado por qualquer PLC que suporte este protocolo.

Como é habitual nos escravos Modbus, as entradas e saídas são referenciadas pelo seu endereço de memória (começando por 0), e ocupam lugares distintos de memória. Ou seja, a entrada binária com endereço 6 é distinta da saída binária com o mesmo endereço 6. Como o simulador contém um único escravo Modbus, as I/Os de controlo dos equipamentos individuais irão ocupar todas os mesmos espaços de endereços, utilizando endereços distintos.

Ou seja, cada equipamento usa um determinado número de entradas e de saídas. O número exacto depende do tipo de equipamento. Por exemplo, um tapete simples ocupa 2 saídas (para comandar o movimento do tapete) e uma entrada (para ler o sensor a meio do tapete). O endereço exacto destas entradas e saídas depende da posição na qual o sub-componente é definido no ficheiro de configuração.

Os endereços são ocupados/utilizados de forma sequencial (i.e. com endereços a crescer a partir do 0) pela ordem pela qual os equipamentos são definidos no ficheiro de configuração. Para obter uma listagem completa dos endereços de todos os equipamentos na fábrica, execute na linha de comando:

```
$ java -jar sfs.jar --csv enderecos.csv
```

ou

```
$ java -jar sfs.jar --map enderecos.txt
```

Com a opção 'csv' irá ser criado um ficheiro com a informação em tabela, separada por vírgulas, de forma a que seja de facilmente utilizável por um programa de edição de folha de cálculo. Com a opção 'map', o ficheiro criado terá mais texto por forma a facilitar a leitura por humanos.

Por exemplo, uma planta com apenas dois tapetes, teria os dois comandos de actuação do primeiro tapete alocados aos endereços 0 e 1, enquanto os comandos do segundo

tapete seriam alocados aos endereços seguintes, ou seja 2 e 3. Já os sensores destes tapetes (um para cada tapete) ocupam um segundo espaço de endereços dedicado aos sensores binários, pelo que o sensor do tapete 1 seria alocado ao endereço 0, enquanto o sensor do segundo tapete ocuparia o endereço 1.

Quando estiver a controlar o simulador, pode gravar a sequência de comandos que este recebeu (i.e., gravar a simulação) desde que o execute com o comando

```
$ java -jar sfs.jar --record testel
```

Para visualizar novamente a simulação que acabou de gravar, execute o comando

```
$ java -jar sfs.jar --playback testel
```

4.1 Representação dos equipamentos e das peças

Neste simulador, cada equipamento (tapete, máquina) aparece sob a forma de uns pontos coloridos no canto superior esquerdo da sua representação. Os pontos com fundo cinzento indicam o estado dos comandos que o equipamento está a receber, e os pontos com fundo preto o estado dos respectivos sensores. Como seria de esperar, o **vermelho** indica desactivado (FALSE), e o **verde** activo (TRUE).

4.1.1 Tapetes Lineares

Os tapetes lineares com um sensor no meio têm três quadrados (Figura 10) que indicam respectivamente:

- quadrado (fundo cinzento) da esquerda:
ordem de deslocamento para esquerda/cima;
- quadrado (fundo preto) do meio:
sensor de presença de peça;
- quadrado (fundo cinzento) da direita:
ordem de deslocamento para direita/baixo.



Figura 10: Imagem de um tapete linear no simulador

Alguns tapetes mais longos dispõem de dois sensores, pelo que a sua representação inclui quatro quadrados no canto superior esquerdo, dois para os comandos, e outros dois (ao centro) para os sensores.

4.1.2 Tapetes Rotativos

Os tapetes rotativos, para além de uma linha superior com o mesmo significado dos tapetes lineares, dispõem de uma segunda linha com o seguinte significado (Figura 11):

- quadrado (fundo cinzento) da esquerda:
ordem de rotação no sentido directo;

- quadrado (fundo preto) da esquerda:
tapete na posição extrema de rotação no sentido directo;
- quadrado (fundo preto) da direita:
tapete na posição extrema de rotação no sentido inverso;
- quadrado (fundo cinzento) da direita:
ordem de rotação no sentido inverso.



Figura 11: Imagem de um tapete rotativo no simulador

4.1.3 Tapetes Deslizantes

Os tapetes deslizantes são semelhantes aos rotativos, com a única diferença que o movimento de rotação passa para um movimento de translação:

- quadrado (fundo cinzento) da esquerda:
ordem de translação para a esquerda;
- quadrado (fundo preto) da esquerda:
tapete na posição extrema de translação para a esquerda;
- quadrado (fundo preto) da direita:
tapete na posição extrema de translação para a direita ;
- quadrado (fundo cinzento) da direita:
ordem de translação para a direita.

4.1.4 Mesa de Trabalho

A mesa de trabalho dispõe de um único sensor (quadrado com fundo preto) que representa o sensor de presença de peça (Figura 12).

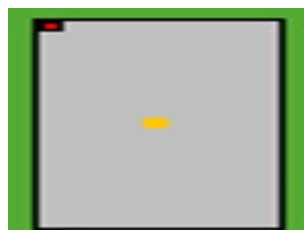


Figura 12: Imagem de uma mesa de trabalho no simulador

4.1.5 Máquina Ferramenta

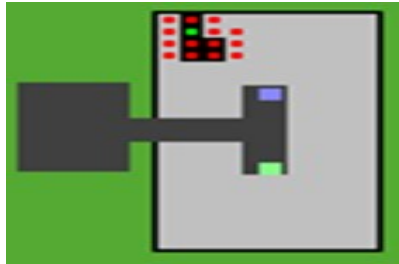


Figura 13: Imagem de uma máquina ferramenta no simulador

Os tapetes associados às máquinas ferramenta, para além de uma linha superior com o mesmo significado dos tapetes lineares, dispõem de uma segunda linha com o estado da máquina associada (Figura 13). Nesta segunda linha:

- quadrado (fundo cinzento) da esquerda:
ordem de accionamento da ferramenta da máquina;
- quadrado (fundo preto) do meio:
ferramenta alinhada e pronta para ser accionada;
- quadrado (fundo cinzento) do meio:
ordem de troca de ferramenta;
- quadrado (fundo cinzento) da direita:
ordem de troca de ferramenta (sentido inverso);

As duas linhas seguintes dizem respeito à deslocação da máquina nos eixos YY e ZZ respectivamente (no simulador a deslocação no eixo dos ZZ é representada por uma deslocação no eixo XX). Cada uma das linhas dispõe de:

- quadrado (fundo cinzento) da esquerda:
ordem de translação para a esquerda/cima;
- quadrado (fundo preto) da esquerda:
tapete na posição extrema de translação para a esquerda/cima;
- quadrado (fundo preto) da direita:
tapete na posição extrema de translação para a direita/baixo;
- quadrado (fundo cinzento) da direita:
ordem de translação para a direita/baixo.

4.1.6 Robot 3D

O robot 3D é representado por um quadrado que se movimenta nos eixos XX e YY de acordo com os comandos recebidos. A sua posição no eixo dos ZZ é representada por um ponto branco que se desloca ao longo da linha negra do extremo direito da caixa (Figura 14).

Na primeira linha dos sensores/comandos, aparecem seis quadrados de fundo cinzento, que representam os comandos de movimentar nos eixos XX (sentidos +, e -), YY (sentidos +, e -) e ZZ (sentidos +, e -) respectivamente.

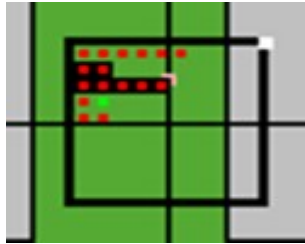


Figura 14: Imagem do robot no simulador

Na segunda e terceira linhas estão representados os estados dos sensores que indicam o alinhamento correcto do robot com os tapetes por baixo do mesmo. A segunda linha representa o alinhamento quando o robot se desloca no eixo dos XX, enquanto a terceira linha o alinhamento quando o robot se desloca no eixo dos YY.

Na quarta linha estão representados os sensores que indicam a chegada do robot às posições extremas do eixo dos ZZ.

Na quinta linha estão representados, à esquerda o comando de accionamento de fecho da garra, e à direita o sensor de presença de peça localizada na garra do robot.

4.1.7 Comandos dos Equipamentos

Se clicar com o botão direito do rato em cima de um dos recursos do simulador (por exemplo, num tapete linear), poderá alterar o estado dos actuadores desse recurso, bem como inserir ou remover uma peça. Repare no entanto, que a mudança de estado do actuador do recurso é feita de forma momentânea, pelo que só permanecerá no novo estado caso não haja mais nenhum comando a fazer novas mudanças. Caso o autómato esteja a comandar o simulador, este está continuamente a actualizar o estado das suas saídas, pelo que rapidamente o estado do actuador voltará para estado indicado pelo autómato. No entanto, se o autómato não estiver ligado, o actuador permanecerá com o novo valor até ser novamente alterado.