



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Optimização de Linha de Produção para Paredes Modulares

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e
Gestão Industrial

Autor

Tiago João Gomes Rocha

Orientador

Professor Doutor José Luís Ferreira Afonso

Co-Orientador

Engenheiro Pedro Francês Malaca

Júri

Presidente Professor Doutor **Cristovão Silva**
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor **Pedro Mariano Simões Neto**
Professor Auxiliar Convidado da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



SARKKIS – Robotics Lda.

Coimbra, Julho, 2013

*“I am great believer in luck,
And I find the harder I work the more I have of it”*

Thomas Jefferson

Agradecimentos

Um breve reconhecimento das pessoas e entidades cuja ajuda proporcionou a execução da presente dissertação de mestrado:

Ao coordenador de tese Pedro Malaca e à *SARKKIS*, pela disponibilização de informações, esclarecimento de dúvidas e proposta deste caso de estudo.

A todos os amigos que fiz ao longo de 5 anos de estudo em Coimbra.

À minha mãe Helena Rocha e ao meu pai João Rocha.

Resumo

Na actualidade, é possível encontrar uma grande discrepância entre as necessidades apresentadas pela sociedade e aquelas que são as soluções propostas pelo sector da construção civil para as satisfazer, uma falha que tem levado a uma grave quebra do sector ao longo dos últimos anos.

No sentido de conseguir responder a estas necessidades a empresa *CoolHaven* apresenta um novo conceito de habitação sob a forma de casas modulares. Este baseia-se na montagem em local próprio de elementos estruturais base (módulos) previamente produzidos em ambiente fabril com o objectivo de criar um produto final mais barato, flexível a todos os estágios de vida do cliente e com baixos efeitos ambientais.

No sentido de aumentar a sua capacidade de produção dos ditos módulos a *CoolHaven* subcontractou a *SARKKIS* para projectar uma linha de fabrico adequada, projecção essa que será abordada ao longo deste documento.

Será então objectivo deste trabalho encontrar uma proposta de linha de montagem que melhor se adequa aos requerimentos da *CoolHaven*, em termos de velocidade de produção, flexibilidade de produção, custos de implementação e adaptação ao pavilhão disponível.

Para tal será estudado um conjunto de propostas de *layout*, sendo consequentemente criados os respectivos modelos de simulação através dos softwares *RobotStudio* e *SIMUL8* que consigam proporcionar mais elementos de decisão acerca da melhor alternativa encontrada.

Finalmente a melhor alternativa encontrada será caracterizada em termos da sua capacidade de produção e outros indicadores de rendimento.

Palavras-chave: Optimização, Linha de Produção, *Layout*, Robô, Casas Modulares

Abstract

Nowadays, it is possible to find a huge gap between the needs displayed by the general society and the solutions provided by the construction companies, a flaw that has caused a serious breakdown in this sector through the last couple years.

In an attempt to answer to those needs, the company CoolHaven introduces a new habitation concept, known as modular homes. This is based on the assembly, on the desired location, of basic structural elements, also known as modules, which have been previously manufactured in an appropriate factory. Thanks to this project it is desired to create a product that is cheap, environmentally harmless and possible of being shaped according to the needs of the owner during his lifetime.

With the intention of increasing its manufacturing capacity of the said modules, CoolHaven has hired SARKKIS to plan a suitable assembly line, a plan that will be approached through this document.

The aim of this work will be to find the assembly line option that optimizes CoolHaven's requirements in terms of production speed, flexibility, implementation costs and adjust to the available pavilion's dimensions.

With that in mind, proposal layouts will be studied and implemented into adequate simulation models using the software RobotStudio and SIMUL8. These will provide further elements of decision about the best possible assembly line.

Finally, the best alternative found will be characterized in terms of its production capacity among other performance indicators.

Keywords Optimisation, Assembly line, Layout, Robot, Modular houses

Índice

Índice de figuras	xi
Índice de tabelas	xii
1. INTRODUÇÃO GERAL E OBJECTIVOS	1
1.1. Empresa: <i>CoolHaven</i>	3
1.2. Empresa: <i>SARKKIS</i>	4
1.3. Objectivos	5
1.4. Organização da Tese	5
2. PRODUTO: CASAS MODULARES	6
2.1. Elementos Estruturais	7
2.2. Módulo Parede	8
2.3. Processo de Fabrico	10
3. DESENVOLVIMENTO DE PROPOSTAS PARA A LINHA DE MONTAGEM....	11
3.1. Modelo Geral	13
3.2. Ponto de Partida: <i>Layout</i> em U	14
3.3. <i>Layout</i> em Linha	15
3.3.1. Equipamentos Necessários	15
3.3.2. Armazenamento e Abastecimento de Materiais	19
3.3.3. Orçamento	20
3.3.4. Observações Finais	20
3.4. <i>Layout</i> em S	21
3.4.1. Equipamentos Necessários	22
3.4.2. Armazenamento e Abastecimento de Materiais	26
3.4.3. Orçamento	26
3.4.4. Observações Finais	27
3.5. <i>Layout</i> em S: Alternativas Estudadas	28
3.5.1. Remoção dos Postos de Carga e Descarga da Linha	28
3.5.2. Remoção da Posição Fila de Espera	30
3.5.3. Rebitadores em Linha	30
3.5.4. Aumento das Zonas de Armazenamento	31
4. SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES	34
4.1. Simulação na Robótica	34
4.2. Programação de Robôs <i>Off-Line</i>	35
4.3. <i>Software</i> : ABB <i>RobotStudio</i>	36
4.3.1. Ferramentas <i>RobotStudio</i>	37
4.4. Etapas no Desenvolvimento do Modelo <i>RobotStudio</i>	38
4.4.1. Posto de Carga	38
4.4.2. Posto de Montagem de “Ripado”	40
4.4.3. Postos de Montagem por Pórticos	41
4.4.4. Postos de Rebite e Fresa	43
4.4.5. Posto de Viragem	44
4.4.6. Posto do Operador	45
4.4.7. Posto de Descarga	45
4.4.8. Passadeiras Transportadoras	46

5.	OBTENÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	48
5.1.	Obtenção de Tempos de Produção para Linha em S	48
5.2.	Obtenção de Tempos de Produção para Linha S: v2	51
5.3.	Estudo da Autonomia da Linha em S: v2	54
5.4.	Simulação de Um Dia de Trabalho	55
5.4.1.	<i>Software</i> : SIMUL8	55
5.4.2.	Modelo SIMUL8 Desenvolvido	56
5.4.3.	Análise de Resultados.....	57
6.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	ANEXO A – <i>Layout</i> em linha	63
	ANEXO B – <i>Layout</i> em S	64
	ANEXO C – <i>Layout</i> em S: versão 2.....	65
	ANEXO D – <i>Layout</i> em S com armazenamento	66
	ANEXO E – Código RAPID para posto de carga	67
	ANEXO F – Código RAPID para posto de montagem de ripado	68
	ANEXO G – Código RAPID para posto de rebite e fresa	69
	ANEXO H – Código RAPID para posto de viragem	70
	ANEXO I – Código RAPID para posto de rebite.....	71
	ANEXO J – Código RAPID para posto de descarga.....	72
	ANEXO K – Especificações técnicas para pórtico Gudel ZP-4.....	73
	ANEXO L – Tabela de tempos de movimentação para pórtico de montagem 1	74
	ANEXO M – Tabela de tempos de movimentação para pórtico de montagem 2	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Logótipo <i>CoolHaven</i>	3
Figura 1.2. Casa Modular <i>CoolHaven</i>	3
Figura 1.3. Logótipo <i>SARKKIS</i>	4
Figura 2.1. Conceito de casa modular <i>CoolHaven</i>	6
Figura 2.2. Ilustração dos elementos estruturais <i>CoolHaven</i>	7
Figura 2.3. Esquematização da composição de uma parede modular.....	8
Figura 3.1. Robô ABB IRB 6650S.....	15
Figura 3.2. Pórtico <i>Güdel 3-Axis Linear Module Type FP-4</i>	16
Figura 3.3. Pórtico <i>Güdel RoboFlex RF 4-80/2.3</i>	17
Figura 3.4. Visão geral da linha em S.....	21
Figura 3.5. Robô ABB IRB 660 carregando uma estrutura metálica.....	22
Figura 3.6. Robô ABB IRB 4600 carregando uma placa de “ripado”.....	22
Figura 3.7. Pórtico <i>Güdel 2-Axis Linear Module ZP - 4</i>	23
Figura 3.8. Segundo pórtico de montagem em funcionamento.....	24
Figura 3.9. Robô ABB IRB 760 em funcionamento.....	25
Figura 3.10. Visão geral da versão 2 da linha em S.....	29
Figura 3.11. Sistema de armazenamento de estruturas metálicas.....	32
Figura 3.12. Sistema de armazenamento de paredes modulares completas.....	33
Figura 4.1. Visão geral do controlador virtual.....	39
Figura 4.2. Configurações para criação de <i>boards</i>	39
Figura 4.3. Configurações para criação de sinais.....	39
Figura 4.4. Visão geral da interface <i>GeomagicDesign</i>	41
Figura 4.5. Trajectória de rebitagem.....	43
Figura 4.6. Posto de viragem.....	44
Figura 5.1. Diagrama de Gantt para linha em S.....	50
Figura 5.2. Diagrama de Gantt para linha em S: v2.....	52
Figura 5.3. Estado inicial do modelo SIMUL8.....	57
Figura 5.4. Estado final do modelo SIMUL8.....	57

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Dimensões dos elementos estruturais <i>CoolHaven</i>	7
Tabela 2. Dimensões dos componentes de cada parede modular.....	9
Tabela 3. Estimativa de orçamento para <i>layout</i> em linha.....	20
Tabela 4. Estimativa de orçamento para <i>layout</i> em S.....	26
Tabela 5. Tempos de produção para linha em S.....	48
Tabela 6. Tempos de produção para linha em S: v2.....	51
Tabela 7. Capacidade de armazenamento da linha de montagem.....	54
Tabela 8. Taxa de utilização de postos de trabalho na linha em S: v2.....	58

1. INTRODUÇÃO GERAL E OBJECTIVOS

“Construção civil cai em 15% e está em risco de colapso”

O título apresentado provém de uma notícia publicada ainda no dia 3 do presente mês de Julho pelo jornal *Publico online* e atesta bem acerca do estado actual do sector da construção civil em Portugal. De facto, basta fazer uma breve pesquisa por qualquer motor de busca *online* ou visualizar qualquer espaço informativo na comunicação social em geral para encontrar mais provas deste fenómeno.

Ainda para mais, não se pode exactamente dizer que esta seja uma noticia surpreendente. É factual que, ao longo das últimas décadas, aquele que foi outrora um dos sectores da economia nacional que mais postos de trabalho gerou e mais riqueza movimentou tem vindo progressivamente a desaparecer devido às milhares de pequenas, médias e mesmo grandes empresas que, fruto da drástica diminuição verificada na procura dos seus serviços e trabalhos, foram gradualmente deixando de encontrar incentivos que as mantivessem neste ramo de negócios não encontrando mesmo, em muitos casos, outra solução que não envolvesse declaração de falência e insolvência da respectiva entidade.

Como resultado, basta continuar a ler mais algumas linhas na notícia referida para encontrar números que quantificam claramente esta situação: só este ano já se perderam neste sector 1198 empresas e mais de 200 mil postos de trabalho.

No entanto, se considerarmos a necessidade básica que qualquer ser humano tem em possuir um local onde se possa abrigar, descansar, ter momentos de lazer ou mesmo trabalhar, é algo difícil compreender este fenómeno de quebra do sector imobiliário imediatamente. Todavia, uma análise mais cuidada às características do sector da construção civil e à forma como procura resolver as necessidades da sociedade actual pode facilitar a chegada a algumas conclusões.

Apesar de tudo, qualquer entendido na área imobiliária vai conseguir dar uma resposta rápida quando questionado acerca das razões que geraram esta ruptura no sector. Explicará ele sem qualquer dúvida que o único factor causador foi a crise económica e financeira na qual o nosso país tem estado emergido e que a diminuição dos investimentos efectuados na construção civil é transversal a qualquer área de negócios existente na nossa sociedade.

De facto, não podemos menosprezar estes factores de cariz económico. É inegável que a capacidade de investimento dos portugueses na actualidade está bastante reduzida e uma decisão tão importante e definitiva como a compra de uma habitação, que representa para muitas famílias o maior investimento de uma vida, não pode ser tomada de ânimo leve.

Apesar de tudo, é difícil conceber uma crise económica tão grave que, sem quaisquer outros factores adicionais, consiga deitar por terra um sector com uma importância tão proeminente para a vida do ser humano como é a construção civil, a construção de lugares onde possamos viver.

Na realidade, são muitas outras as características das construções tradicionais que se encontram desajustadas das necessidades do cidadão actual e que ajudam a explicar esta contracção.

Provavelmente um dos factores que mais pesa contra a decisão de adquirir uma habitação tradicional é a sua natural inflexibilidade, inadequada a uma sociedade que cada vez mais requer uma grande mobilidade dos seus intervenientes. Além disso, o elevado gasto de recursos associado à sua construção acarreta consequências, tanto ao nível do impacto ambiental como no acréscimo do custo final do imóvel.

Desta forma, e não esquecendo as enormes potencialidades do mercado da construção civil, urge a necessidade de renovar o conceito de habitação para algo que melhor se adapte aos requerimentos da sociedade contemporânea.

É então desta ideia que surge a concepção de casas modulares, um tipo de casa baseado na pré-construção de múltiplos módulos que serão posteriormente unidos entre si de modo a obter a habitação final desejada, com um elevado grau de personalização.

Em primeiro lugar, um menor consumo de recursos durante a sua construção permite uma diminuição no preço de venda e nos impactos ambientais resultantes destas casas. Quando aliamos estes factores à sua superior flexibilidade, derivada não só da capacidade de alterar as configurações da casa a qualquer altura através da inserção ou remoção de módulos ou mesmo da possibilidade de alterar a sua localização base, este torna-se um conceito altamente interessante, que pretende a médio prazo alterar a forma como definimos habitação.

1.1. Empresa: *CoolHaven*

Em Portugal, podemos encontrar na *CoolHaven* uma empresa pioneira no campo da concepção de casas modulares. Fundada em 2009 e actualmente sediada no iParque de Coimbra é uma entidade cuja acção incide essencialmente na investigação e no desenvolvimento de diversas áreas da engenharia e arquitectura, procurando implementar um novo conceito de construção através de casas modulares.



Figura 1.1. Logótipo
CoolHaven

Conseguindo perceber atempadamente as alterações de requisitos do mercado relativas a soluções de habitação, a *CoolHaven* conseguiu destacar-se dos seus competidores ao desenvolver um produto de baixo custo, tecnologicamente desenvolvido e eco-sustentável.

De modo a conseguir avançar para uma produção em massa deste conceito de casa previamente introduzido, a *CoolHaven* adquiriu um pavilhão no qual pretende implementar uma célula de produção adequada. Além da obtenção de proveitos resultantes do fabrico de casas modulares em pavilhão próprio a *CoolHaven* pretende também licenciar a sua ideia e métodos de fabrico a empresas internacionais que se mostrem interessadas.

O seu método de trabalho e desenvolvimento de produtos baseia-se em 3 valores fundamentais: simplicidade, foco no cliente e sustentabilidade.

Actualmente a *CoolHaven* disponibiliza 2 tipos de habitações gerais: *CoolLiving* para habitações pessoais e *CoolCommunity* para edifícios de serviços. Uma descrição mais detalhada acerca das características marcantes destes produtos será feita em capítulos seguintes.



Figura 1.2. Casa Modular *CoolHaven*

1.2. Empresa: SARKKIS

A *SARKKIS – Robotics Lda.* é uma empresa nascida na Universidade de Coimbra que se encontra incubada no IPN (Instituto Pedro Nunes) desde 2007, constituída por 4 sócios: Germano Veiga (Eng^o. Mecânico), Francisco Caramelo (Eng^o. Físico), Pedro Brito (Médico Dentista) e José Oliveira (Eng^o. Civil).



Figura 1.3. Logótipo SARKKIS

A IPN - Incubadora promove a criação de empresas *spin-off*, apoiando empresas inovadoras e de base tecnológica provenientes dos laboratórios do IPN, de instituições do ensino superior ou do sector privado. Através da incubadora, as empresas dispõem de acesso facilitado ao sistema científico e tecnológico nacional e de um ambiente que proporciona o alargamento de conhecimentos e o contacto directo com mercados nacionais e internacionais (IPN, 2013).

A *SARKKIS – Robotics Lda.* desenvolve então o seu trabalho em dois sectores fundamentais: *SARKKIS - Mechatronics* e *SARKKIS - Health*.

Em relação ao ramo *Mechatronics* da empresa, o seu principal objectivo é responder a problemas reais apresentados pelos seus clientes, transformando ideias em produtos finais, nomeadamente através do desenvolvimento de aplicações de *software* para a programação de robôs específicos ou mesmo de soluções para linhas de produção completamente integradas envolvendo robótica avançada, sem nunca se desviar de elevados padrões de qualidade e personalização na execução dos seus trabalhos.

Resultado desta oferta de serviços surgiu o interesse da *CoolHaven* em subcontratar a *SARKKIS* para desenvolver um plano que proporcione a produção de paredes modulares que pretende levar a cabo. É efectivamente no sentido deste pedido que surge o trabalho realizado na presente tese, em busca da máxima optimização da solução a apresentar ao cliente que satisfaça da melhor forma os seus requerimentos de elevada flexibilidade e produtividade.

1.3. Objectivos

O objectivo do presente documento passa então pelo estudo de várias soluções que proporcionem a produção de casas modulares pela *CoolHaven*, na procura daquela que melhor se enquadre nas exigências de empresa segundo os seguintes parâmetros:

- Adequação às dimensões do espaço existente;
- Diminuição dos custos de implementação;
- Flexibilização do processo de produção;
- Minimização dos tempos de produção finais.

Encontrada uma solução que satisfaça os critérios definidos, será necessário estudar e caracterizar a proposta obtida, no sentido de conseguir prever da forma mais precisa possível o seu funcionamento em condições reais.

1.4. Organização da Tese

De modo a conseguir atingir os objectivos definidos, a presente tese será desenvolvida ao longo dos seguintes capítulos:

- Capítulo 1: Introdução – Apresentação do panorama geral que levou à criação do conceito de casas modulares e das empresas directamente envolvidas no trabalho desenvolvido;
- Capítulo 2: Produto: Casas Modulares – Descrição detalhada do conceito de casas modulares, materiais utilizados e metodologia da sua produção;
- Capítulo 3: Desenvolvimento de Propostas para a Linha de Montagem – Concepção e estudo de várias soluções que maximizem o rendimento da linha de produção segundo os critérios acima definidos ;
- Capítulo 4: Simulação de Operações - Criação de modelos simuladores para melhor prever o real funcionamento das soluções encontradas;
- Capítulo 5: Obtenção e Análise de Resultados – Apresentação dos resultados obtidos e respectiva interpretação;
- Capítulo 6: Conclusões – Síntese do estudo desenvolvido e propostas de orientação para trabalhos futuros.

Finalmente, o documento faz-se acompanhar pela respectiva bibliografia e anexos.

2. PRODUTO: CASAS MODULARES

O conceito da construção de casas modulares apresentado pela *CoolHaven* assenta no pré-fabrico de módulos ou outros elementos estruturais em unidades fabris apropriadas, módulos esses que, após fabricados, são transportados para o local final de construção onde são ligados entre si até que se obtenha o produto final pretendido pelo cliente. Esta metodologia de construção facilita a produção em massa destas habitações num ambiente industrial e respectiva diminuição de custos finais, assim como um elevado nível de personalização por parte do cliente.

Através deste conceito, o objectivo da *CoolHaven* passa essencialmente pela colocação no mercado de um produto inovador, avançado tecnologicamente e de construção fácil, rápida e segura. Mais ainda, procura-se com este conceito produzir um produto que seja sustentável do ponto de vista económico, ambiental e social e que possua uma arquitectura que se adapte às necessidades de cada cliente, tanto através da personalização da construção inicial como pela possibilidade de modificação ao longo de toda a vida útil da habitação. É missão da *CoolHaven* destacar-se dos seus competidores através de um contributo significativo para a qualidade de vida dos seus clientes e para a sustentabilidade da sociedade em geral (*CoolHaven*, 2013)

Esta elevada flexibilidade e adaptabilidade ao ciclo de vida do cliente é conseguida através da possibilidade de criar ou remover módulos à casa conforme seja desejado, permitindo a adequação da habitação às reais necessidades da família que nela habita.

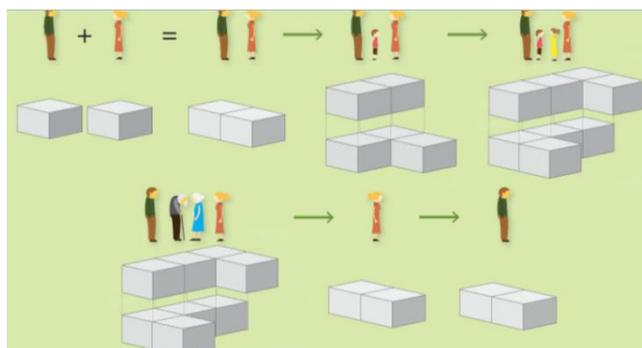


Figura 2.1. Conceito de casa modular *CoolHaven*

Do ponto de vista ecológico, a casa modular *CoolHaven* pretende atender aos princípios da sustentabilidade ambiental, através de uma diminuição na produção de resíduos e desperdícios, na emissão global de CO₂ e de um aumento na eficiência energética.

2.1. Elementos Estruturais

Os elementos estruturais fabricados pela *CoolHaven* como o objectivo de dar forma às ditas casas modulares podem ser divididos em 3 tipos gerais: paredes, pilares ou cantos. As respectivas dimensões assim como uma ilustração destes elementos podem ser consultadas na tabela e imagem abaixo:

	Largura (mm)	Altura (mm)	Espessura (mm)
Paredes	600; 900; 1200	2400 a 3000	270
Pilares	500; 900	2400 a 3000	270
Canto "Cruz"	900	2400 a 3000	900
Canto "T"	900	2400 a 3000	585
Canto "L"	585	2400 a 3000	585

Tabela 1. Dimensões dos elementos estruturais *CoolHaven*

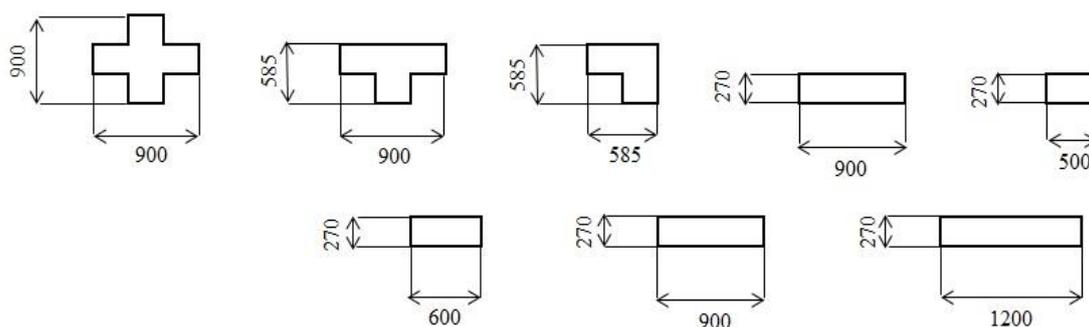


Figura 2.2. Ilustração dos elementos estruturais *CoolHaven*

De mencionar que no presente trabalho apenas será abordada a construção dos elementos estruturais parede, através da concepção de uma solução de produção que se consiga adaptar a todas as suas dimensões.

2.2. Módulo Parede

Antes de mais, será conveniente efectuar uma breve descrição acerca da constituição de cada um dos módulos parede cujo processo de produção será estudado neste documento. Tanto os termos módulo parede como parede modular daqui para a frente utilizados se referem a este mesmo elemento aqui introduzido.

Cada parede modular é suportada por uma estrutura metálica, à qual são acoplados utensílios como batentes, afastadores e fixadores e placas de componentes do tipo OSB, “ripado”, lã de rocha, gesso e euronite.

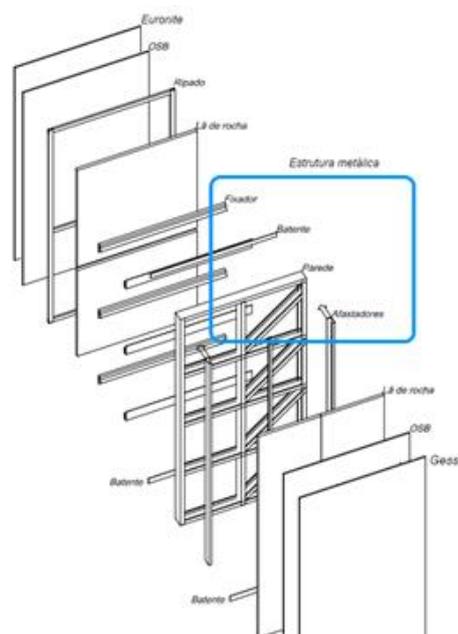


Figura 2.3. Esquemática da composição de uma parede modular

Como é visível na ilustração ao lado, serão acopladas placas de euronite, OSB, lã de rocha e “ripado” no lado interior da parede e placas de lã de rocha, OSB e gesso do lado exterior. Note-se que os componentes de lã de rocha estão divididos em duas partes que serão fixados nos espaços do “ripado” deixados para o efeito. Ao longo desta dissertação estas duas placas de lã de rocha serão tratadas como um conjunto individual, de modo a facilitar a sua referência.

Em relação aos diferentes componentes que dão forma a estas paredes, será feita em primeiro lugar uma introdução às placas OSB, sigla resultante do termo inglês “*Oriented Strand Board*”, placas essas que são compostas por longas lâminas de madeira orientadas e que serão, neste caso, utilizadas com o objectivo de revestir e reforçar a estrutura metálica. As especificidades do processo de fabrico destas placas, que envolve processos de secagem, mistura com resinas e ceras, diversificação da orientação de cada lâmina e prensagem final conferem-lhes características bastante interessantes, incluindo elevadas resistência à humidade, resistência mecânica, estabilidade e outras propriedades mecânicas notáveis.

As placas de lã de rocha, também colocadas em ambos os lados da estrutura metálica funcionam principalmente como um elemento isolador ao nível térmico e acústico. As características relativas a lãs minerais, tais como a lã de rocha, incluem estabilidade mecânica até temperaturas de 750°C, excepcionais níveis de absorção acústica,

excelente comportamento térmico, não permitir a retenção de água e não se degradar ao longo dos anos e tornam este um material essencial para que se corresponda aos níveis de conforto e qualidade de vida exigidos para estas habitações.

O “ripado” é uma estrutura em madeira (ripas) cuja única função é funcionar como local de encaixe para as placas de lã de rocha. Apenas será utilizada uma estrutura de “ripado” na metade interior da parede modular.

A placa de gesso, acoplada à metade exterior da estrutura metálica serve essencialmente como elemento para revestimento e isolamento da parede modular graças às suas boas propriedades mecânicas em termos de isolamento e resistência térmica. A sua elevada aderência a diversos tipos de materiais serve também como apelativo à utilização do gesso para efectuar acabamentos finais no módulo.

Finalmente, o suporte metálico serve como base estrutural para a parede modular e é o componente ao qual todas as placas de materiais já apresentadas serão acopladas. Este suporte metálico tem um peso inicial de 80kg, factor importante para várias das decisões tomadas em capítulos seguintes. De mencionar que ambos os termos suporte metálico e estrutura metálica daqui em frente utilizados se referem a este mesmo componente, assim como aos utensílios batentes, fixadores e afastadores a ele ligados.

Na tabela seguinte podemos consultar as dimensões de cada um destes componentes:

	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Espessura (mm)
Estrutura Metálica	600 a 1200	2400 a 3000	210
"Ripado"	600 a 1100	2400 a 3000	30
OSB	600 a 1200	2400 a 3000	12
Lã de Rocha	300 a 600	2400 a 3000	30
Euronite	600 a 1200	2400 a 3000	8
Gesso	600 a 1200	2400 a 3000	8
Parede Modular	600 a 1200	2400 a 3000	270

Tabela 2. Dimensões dos componentes de cada parede modular

2.3. Processo de Fabrico

Antes de mais, é importante dizer que alguns dos processos necessários à construção de uma parede modular foram subcontratados pela *CoolHaven* e não serão alvo de análise no presente documento, sejam eles a assemblagem de batentes, fixador e afastador ao suporte metálico e o corte das placas de componentes de OSB, lã de rocha, “ripado”, gesso e euronite nas dimensões pretendidas.

Desta forma, a *CoolHaven* irá receber todos os componentes na forma desejada, já prontos a ser montados na parede modular final.

Assim, sobram os seguintes processos a efectuar a cada ciclo de produção:

- Abastecimento e armazenagem provisória de matérias-primas;
- Acoplagem de placas de OSB, “ripado”, lã de rocha e euronite ao lado interior da estrutura metálica;
- Fixação entre placas interiores e estrutura metálica através de rebites;
- Tratamento mecânico do módulo semiconstruído (fresa);
- Viragem do módulo para permitir trabalho no lado exterior;
- Acabamentos específicos a cada módulo, caso necessário;
- Acoplagem de placas de OSB, lã de rocha e gesso ao lado exterior da estrutura metálica;
- Fixação destas placas através de rebites;
- Armazenamento de produtos completos e paletização para expedição;
- Armazenamento e abastecimento dos restantes materiais constituintes de uma parede modular;
- Movimentação da parede modular em construção entre os diferentes postos de trabalho.

3. DESENVOLVIMENTO DE PROPOSTAS PARA A LINHA DE MONTAGEM

Desde logo, será pertinente definir o termo de linha de montagem. Usualmente utilizadas para agilizar processos industriais e maximizar taxas de produção, em cada linha de montagem é executado um conjunto de operações elementares distintas, tendo em vista a montagem de um ou vários produtos. Estas linhas são compostas por um conjunto de postos de trabalho ligados entre si por via de mecanismos de transporte.

A elevada quantidade de operações distintas a efectuar na produção da parede modular em análise, assim como as especificidades inerentes a cada uma dessas operações tornam indispensável a criação de postos de trabalho individualmente responsáveis por cada um das tarefas necessárias, resultando na dita linha de montagem.

Devido à elevada quantidade de vezes que será necessário mencionar o conceito linha de montagem daqui para a frente iremos utilizar os termos linha de produção, célula de montagem e célula de produção como sinónimos.

Robô Industrial

Como foi previamente exposto, as peças que serão trabalhadas nesta linha de montagem tem elevados pesos e dimensões que, quando aliados às necessidades de obter uma rápida montagem, elevadas taxas de produção e manipulações precisas e seguras de cada um dos componentes tornam praticamente inviável a utilização de operados humanos em grande parte dos postos de trabalho existentes.

Sobra então a hipótese de recorrer a robôs, ou robôs industriais, que se podem definir como: “Um robô é um manipulador reprogramável e multifuncional desenhado para mover materiais, peças ou ferramentas através de trajectórias programáveis e variáveis para o desenvolvimento de diferentes tarefas” (Fu *et al.*, 1987).

Dadas as características desta linha de montagem, o rendimento proporcionado por manipuladores robóticos será claramente superior aquele possibilitado por operadores humanos para a generalidade de operações a efectuar, tornando por isso lógica a sua utilização. De modo a facilitar a leitura deste documento, a partir deste ponto será designado o robô industrial / manipulador robótico somente por robô.

Layout

Por último, as propostas de *layout* em seguida apresentadas englobam a definição do posicionamento de todos os equipamentos manipuladores, transportadores, áreas de armazenamento e faixas de movimentação necessárias, funcionando, no fundo, como uma planta da unidade industrial final.

É fácil comprovar as muitas vantagens associadas ao estudo e utilização de um *layout* apropriado para qualquer linha de montagem. Conseguindo aproximar ao máximo os consecutivos postos de trabalho, respectivas zonas de armazenamento de componentes e precavendo os espaços livres necessários para a execução de qualquer operação será possível otimizar os resultados finais relativos ao rendimento da linha, incluindo tempos de operação individuais, tempos de ciclo finais e correcta utilização de recursos assim como evitar erros desnecessários aquando da implementação prática da linha.

Dispostos estes conceitos imprescindíveis à compreensão da linha de montagem a conceber estão finalmente obtidas as condições necessários para avançar até à apresentação das propostas de *layout* analisadas.

As propostas a seguir expostas deverão evoluir no sentido de maximizar o rendimento da linha de montagem no sentido dos critérios base inicialmente definidos que incluíam adequação às dimensões do pavilhão existente, diminuição dos custos de implementação, flexibilização do processo de produção e minimização dos tempos finais de produção.

De referir que, dada a flexibilidade e capacidade de lidar com qualquer tipo de parede modular pretendida exigida à linha de montagem final proposta iremos dimensionar o *layout* tomando como base as paredes modulares de maior dimensão, ou seja, aquelas com 3000mm de comprimento, 1200mm de largura e 270mm de espessura.

3.1. Modelo Geral

Tomando em conta cada uma das tarefas necessárias para a produção de uma parede modular acima mencionadas, vamos assumir a existência de 8 postos de trabalho fundamentais, cada um responsável por efectuar uma tarefa individualmente, sejam eles:

- **Posto de entrada na linha** – Primeiro posto de trabalho, no qual um robô pega numa estrutura metálica armazenada num local conveniente e a coloca no início da passadeira transportadora;

- **Primeiro posto de montagem** - Neste posto de montagem será acoplado um grupo de componentes incluindo “ripado”, lâ de rocha, OSB e euronite ao lado interior da estrutura metálica;

- **Posto de rebiteagem e fresagem** - Posto responsável pela junção dos componentes à estrutura metálica através de rebites e pelo tratamento mecânico da parede em construção, através de um processo de fresagem, com o objectivo de dar à parede a forma e os acabamentos finais desejados;

- **Posto de viragem** – Sensivelmente a meio da célula de produção será necessário rodar a parede em construção, de modo a permitir que se trabalhe a sua segunda metade;

- **Posto do operador** - Neste posto de trabalho irá situar-se o único elemento humano da célula de produção em estudo. Este operador estará incumbido de realizar trabalhos mais específicos sobre a parede, nomeadamente a criação de zonas para inclusão de furos para tomadas ou interruptores de quaisquer tamanhos. De referir que nem todos os módulos construídos exigem este tipo de acabamentos. É estimado que apenas 1 em cada 4 necessitem de parar neste posto, continuando os restantes o seu trajecto normal sobre a passadeira transportadora.

- **Segundo posto de montagem** – Posto de montagem responsável pela acoplagem de lâ de rocha, OSB e gesso à metade exterior do módulo em construção.

- **Segundo posto de rebiteagem** – Nesta zona da linha de produção serão fixados ao módulo em construção os componentes previamente acoplados, através do uso de rebites.

- **Posto de saída da linha** - Por ultimo, será necessário guardar um posto da célula de produção para retirar as paredes já construídas da parede transportadora, colocando-as em locais de armazenamento próprios para tal.

Para já, vamos considerar que cada uma destas 8 acções irá necessitar de um posto de trabalho individual na célula de produção. Mais à frente, após realizadas simulações e estudos de tempos de produção iremos colocar à prova esta assunção inicial.

Em adição a estes 8 postos base mais alguns elementos terão que ser pensados para cada *layout*:

- **Transportadores** – Derivado da própria definição de linha de montagem será necessário recorrer a, pelo menos, uma passareira que possibilite a movimentação das paredes modulares em construção ao longo dos diferentes postos de trabalho.

- **Zonas de armazenamento** – Anexos a cada posto de trabalho para montagem de componentes, posto de entrada na linha e posto de saída da linha terão que ser planeadas áreas que possibilitem o armazenamento dos respectivos materiais utilizados;

- **Zonas de movimentação** - De modo a proceder ao abastecimento de cada material pelo menos um empilhador terá que percorrer o pavilhão, pelo que será requerido salvaguardar as áreas de movimentação apropriadas. Sabendo que cada componente da parede modular tem 3m de largura será necessário planejar faixas com pelo menos 4m de largura, considerando também uma distância de segurança adequada.

3.2. Ponto de Partida: *Layout* em U

O trabalho desenvolvido ao longo desta tese segue na sequência do apresentado no ano anterior pela estudante Vânia Oliveira, em busca da máxima optimização do *layout* a ser implementado pela empresa *CoolHaven*.

Atendendo aos mais recentes pedidos apresentados pelo cliente, a *CoolHaven*, será alterada a estrutura da linha de produção, passando de uma célula disposta em U para novas células em linha, em que o ponto de entrada de suportes metálicos base se encontre no extremo oposto do pavilhão ao ponto de saída de paredes completamente trabalhadas. Espera-se que estas alterações resultem numa maior facilidade na movimentação de materiais na unidade industrial e numa minimização do tempo de fabrico de cada módulo.

Além disso, a empresa *CoolHaven* adquiriu um novo pavilhão para a implementação da célula, pelo que as dimensões disponíveis para a montagem da linha de produção foram alteradas desde o ano passado, sendo agora iguais a: 50000mm x 15000mm x 10000mm (comprimento x largura x altura).

3.3. *Layout* em Linha

A primeira proposta de *layout* a ser analisada será uma célula de produção linear, onde todos os processos ligados à construção das paredes modulares são efectuados sequencialmente, sem nunca alterar a direcção do movimento das paredes. O esquema do *layout* desta hipótese poderá ser encontrado em anexo (anexo A).

De mencionar que em cada um dos esquemas *layout* mencionados a direcção do movimento da parede modular em processo de construção será de cima para baixo.

Esta célula será então constituída por 8 postos de trabalho, cujas constituições e métodos de funcionamento serão descritos em seguida mais detalhadamente. As imagens utilizadas para ilustrar cada um dos sistemas sugeridos foram obtidas a partir do *website* do respectivo distribuidor.

3.3.1. Equipamentos Necessários

- **Posto de Entrada na Linha** – Este robô tem a função de transportar o suporte metálico, desde a zona de armazenamento até ao início da passadeira transportadora. A sua capacidade de carga deverá ser suficiente para suportar a estrutura metálica (80kg) e uma ferramenta apropriada (*gripper* de ventosas), ou seja, na ordem dos 125kg. Dever-se-á também procurar um robô com o maior alcance possível, de modo a conseguir maximizar a dimensão das pilhas de armazenamento. Dito isto, a opção tomada será um modelo ABB IRB 6650S, com capacidade de carga igual a 200kg e alcance do braço igual a 3.9m. Este robô estará colocado sobre um pedestal a 0.5m de altura de modo a conseguir aceder a pilhas de maior dimensão.

O catálogo *online* correspondente não só a este mas também a todos os outros modelos de robôs industriais ABB propostos neste documento poderá ser consultado através do endereço disponibilizado nas referências bibliográficas.



Figura 3.1. Robô ABB IRB 6650S

- **Primeiro Posto de Montagem** – Nesta zona será necessário recorrer a um robô capaz de transportar as placas de “ripado”, OSB, euronite e as 2 placas de lâ de rocha desde o local de armazenamento até à estrutura metálica. As 2 placas de lâ de rocha serão tratadas como fazendo parte de uma única pilha com o objectivo de facilitar tanto a explicação como a compreensão do funcionamento deste posto.

Sabendo que o robô terá que aceder a 4 diferentes pilhas de materiais com dimensões consideráveis, será inevitável dispor 2 destas pilhas de cada um dos lados da passadeira transportadora. Revelam-se então duas opções: utilização de 2 robôs convencionais ABB, um de cada lado da passadeira, ou utilização de um único pórtico *Güdel*.

Dados os custos demasiados elevados associados à aquisição de 2 robôs ABB a escolha passará por um dos pórticos fabricados pela empresa *Güdel*. Além disso, é de esperar que este mecanismo permita uma acção mais rápida quando comparada aquela que seria conseguida através da utilização de um robô ABB convencional.

Olhando para os requisitos, primeiro em termos de capacidade de carga, e assumindo que cada um dos componentes será agarrado isoladamente, o pórtico deverá ser capaz de suportar o componente mais pesado (neste caso o OSB, com um peso igual a 34,5kg) mais a ferramenta (até 50kg) para uma capacidade de carga total na ordem dos 85kg. No que diz respeito às dimensões e alcance do pórtico, a disposição das pilhas de componentes torna obrigatória a utilização de um robô capaz de se movimentar segundo os 3 eixos, *x*, *y* e *z*. Escolhemos então um modelo *Güdel 3-Axis Linear Module Type FP-4*, com 3m de altura, 11.5m de largura e 3m de comprimento.

Mais informações acerca de pórticos da marca *Güdel* poderão ser encontradas seguindo o endereço deixado na bibliografia do presente documento. De referir também que as imagens referentes a pórticos apresentadas daqui em diante foram retiradas do mesmo endereço.



Figura 3.2. Pórtico *Güdel 3-Axis Linear Módulo Type FP-4*

- **Posto de Rebitagem e Fresagem** – Sabendo que tanto no processo de rebitagem como na fresagem será essencial conseguir aceder a todos os extremos da parede, um simples robô colocado lateralmente à linha de produção necessitaria de possuir um braço com um alcance na ordem dos 3.5m. Uma vez que estes alcances são impraticáveis, torna-se mais uma vez inevitável recorrer a um pórtico *Güdel*, permitindo que o robô trabalhe por cima da parede e diminuindo conseqüentemente os requerimentos de alcance. Um modelo apropriado será o *RoboFlex RF 4-80 / 2.3*, com capacidade de carga igual a 80kg, 2m de altura e 4.5m de altura.



Figura 3.3. Pórtico *Güdel RoboFlex RF 4-80/2.3*

- **Posto de Viragem** – Esta será a zona responsável por transportar a parede em construção entre passadeiras transportadores e por virar a mesma em 180°, possibilitando que se trabalhe a sua metade exterior. Para tal será utilizado um virador, um equipamento capaz de agarrar a parede modular através do recurso a 2 *grippers*, com o aspecto de um garfo de 2 dentes. Este sistema estará então encarregado de agarrar a parede semi-contruida que concluiu o seu trabalho no posto de rebitagem e fresagem, transportando-a até ao primeiro posto de trabalho da segunda passadeira (zona fila de espera nos esquemas em anexo). É requerido que este equipamento e respectivos *grippers* sejam capazes de suportar peças com pesos na ordem dos 150kg com a segurança necessária.

Além disso, e uma vez que é necessário recorrer a algum mecanismo capaz de agarrar nas paredes vindas do primeiro tapete transportador, colocá-las na nória para rodagem e finalmente deixá-las no segundo tapete transportador, iremos adicionar a este posto um robô ABB auxiliar. Assim, será escolhida uma nória da família IRBP L para efectuar a efectiva rodagem das paredes e um robô IRB 6640 com capacidade de carga igual a 185kg e alcance de 2,80m para posicionar o módulo parede nas localizações necessárias.

- **Posto de Operador** - Ao saírem da nória, as paredes semiconstruídas são recebidas num local (zona fila de espera nos esquemas em anexo) onde são divididas entre paredes que necessitam de ser trabalhadas por um operador (que devem ser empurradas para um posto de trabalho lateral à passadeira principal onde se encontra o trabalhador) e paredes simples que podem seguir na passadeira transportadora principal. De referir que, estando completo o trabalho do operador, estas paredes serão empurradas de volta à linha de produção normal.

Esta separação do posto de trabalho para operador deveu-se a duas razões: em primeiro, ao facto de que nem todas as paredes exigem este trabalho específico e, em segundo lugar, à assunção inicial que viria mais tarde a ser desmentida de que o trabalho realizado pelo operador seria demasiado moroso e causaria congestionamentos à linha de produção.

- **Segundo Posto de Montagem** – Segunda zona de montagem de componentes nesta linha de produção, destinada à acoplagem de placas de OSB, gesso e lã de rocha na segunda metade da parede. Os requerimentos serão em tudo similares aos referidos para a primeira zona de montagem (única diferença é a existência de menos um tipo de componente, no entanto continuará a ser necessário trabalhar nos 3 eixos) logo a opção tomada irá recair sobre o mesmo equipamento, um pórtico *Güdel 3-Axis Linear Module Type* FP-4 com 3m de altura, 11.5m de largura e 3m de comprimento.

- **Segundo Posto de Rebitagem** – Situação de trabalho idêntica à da zona de rebite e fresa já estudada, logo a escolha de equipamento a utilizar será a mesma, um pórtico *Güdel RoboFlex* RF 4-80 / 2.3, com capacidade de carga igual a 80kg, 2.3m de alcance, 2m de altura e 4.5m de altura.

- **Posto de Saída da Linha** – O último robô colocado neste *layout* tem a função de retirar as paredes construídas da linha de produção e de as colocar em paletes, para que possam ser posteriormente retiradas do armazém. Ao nível da capacidade de carga, este robô deverá ser capaz de suportar o peso da parede acabada (180kg) mais ferramenta (*gripper* com ventosas, peso na ordem dos 50kg). A escolha irá então incidir sobre um robô ABB IRB 7600, com capacidade de carga igual a 250kg e alcance de 3.5m.

- **Transportadores** – Esta célula proposta exige a aquisição de 2 passareiras transportadoras. A primeira, a colocar na primeira metade da linha (antes da nória) terá 6m de comprimento por 3,5m de largura. A segunda, colocada após a nória ter os mesmos 3,5m de largura, mas agora 7,5m de comprimento. Estas passareiras deverão ter posições indexadas para paredes de todos os tamanhos requeridos, capacidade de carga suficiente para suportar uma parede completa e, para o caso da segunda passareira, superfície compatível com o transporte de gesso.

3.3.2. Armazenamento e Abastecimento de Materiais

Nesta proposta de *layout* será preciso encontrar locais apropriados para armazenar os seguintes materiais: estruturas metálicas no início da linha de produção, placas de OSB, lâ de rocha, “ripado”, euronite e gesso nas zonas de montagem correspondentes e paredes completas no final da linha.

Como já foi descrito na secções respectivas, as pilhas de “ripado”, lâ de rocha, OSB, euronite e gesso serão dispostas paralelamente à passareira transportadora, 2 de cada lado, junto ao posto de montagem onde serão requeridas

No que diz respeito às pilhas de estruturas metálicas e de paredes completas junto aos postos de entrada e saída de linha, o alcance do braço dos respectivos robôs não permitem que sejam colocadas mais do que duas pilhas de materiais para cada um dos postos. Tudo leva a crer que este baixo numero de pilhas, aliado a uma altura limitada de cada uma delas, irá reduzir em muito a autonomia da linha de produção, obrigando a constantes reabastecimentos.

Os abastecimentos dos diversos tipos de componentes serão levados a cabo através de um empilhador, em intervalos de tempo apropriados, que não sobrecarreguem a capacidade de trabalho da linha e excedam capacidades de armazenamento ao mesmo tempo que evitem que as pilhas esvaziem e a linha de produção seja forçada a parar.

3.3.3. Orçamento

Através das estimativas para o preço de cada um dos equipamentos a utilizar neste *layout* disponibilizadas pela *SARKKIS*, foi possível realizar o seguinte orçamento estimado para esta proposta de *layout*:

Tipo de Robô	Quant.	Custo Individual	Custo Total
Robô >80kg	2	75.000 €	150.000 €
Pórtico 3D	2	60.000 €	120.000 €
Pórtico 2D	2	35.000 €	70.000 €
Rebitadora	2	5.000 €	10.000 €
Fresa	1	10.000 €	10.000 €
Nória	1	15.000 €	15.000 €
		Total	375.000 €

Tabela 3. Estimativa de orçamento para *layout* em linha

3.3.4. Observações Finais

São vários os problemas que se podem encontrar nesta primeira proposta da *layout*:

- Custo da linha demasiado elevado, devido à utilização de demasiados pórticos *Güdel*. É aconselhável a substituição destes pórticos por robôs convencionais ou por pórticos menos dispendiosos e com menos graus de liberdade;
- A orientação das pilhas de componentes neste *layout* é inapropriada, uma vez que os 15m de largura do armazém não são suficientes para suportar todas as pilhas de componentes, passadeira transportadora e faixas para movimentação de empilhadores nos dois extremos do armazém, com um mínimo de 4m de largura. Esta falha torna este *layout* impraticável, e será um factor a resolver nas próximas propostas;
- Baixa capacidade de armazenamento de estruturas metálicas e paredes completas compromete a autonomia da linha;
- É de esperar que o tempo gasto nos dois postos de montagem seja demasiado elevado. Poderá por isso ser benéfico repartir a acoplagem de componentes por mais postos;
- Fraca optimização do espaço total da fábrica, demasiado espaço livre.

Alguns destes pontos tornam inconcebível a utilização desta linha de produção enquanto outros, apesar de viáveis, poderiam ser largamente melhorados. Assim, será avançada uma segunda proposta de *layout* que procure resolver estes problemas, como por exemplo a elevada dependência de pórticos e a dificuldade de acesso aos componentes.

3.4. *Layout* em S

Nesta segunda proposta de *layout*, será apresentada uma alternativa baseada na alteração da orientação das paredes modulares em construção ao longo do seu movimento pela linha de produção. É de esperar que esta alteração aumente a eficiência de utilização de espaço disponível no armazém ao mesmo tempo que diminua os custos totais de implementação da linha (através da menor utilização de pórticos) e facilite a execução dos processos de abastecimento de materiais. Mais uma vez, será assumido um posto de trabalho independente para cada uma das tarefas a levar a cabo ao longo do processo de produção.

Um esquema base desta proposta de *layout* poderá ser consultado em anexo (anexo B), de modo a facilitar a compreensão das suas características que serão em seguida apresentadas.

De referir que as ilustrações gráficas apresentadas daqui em diante foram obtidas com o auxílio do *software* de simulação *RobotStudio*. Uma mais detalhada descrição acerca deste programa, assim como das razões que levaram à sua utilização poderá ser encontrada no capítulo 4 deste documento.

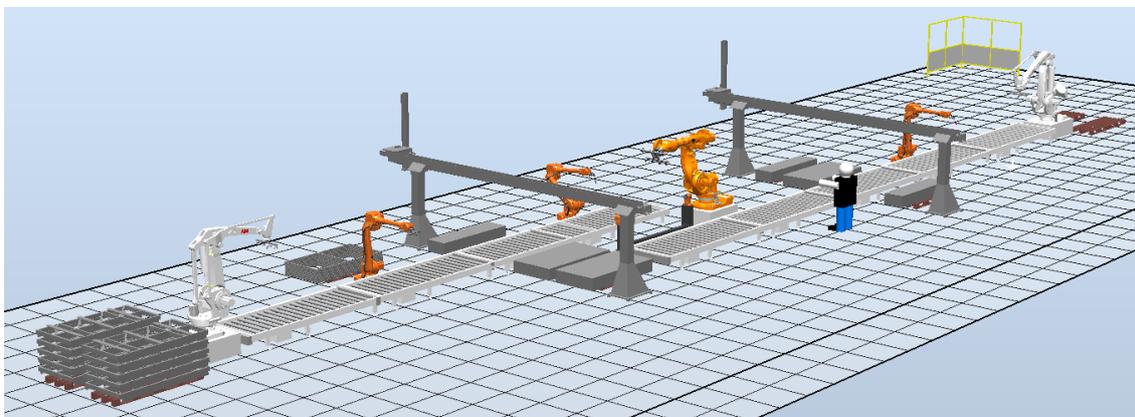


Figura 3.4. Visão geral da linha em S

3.4.1. Equipamentos Necessários

- **Posto de Entrada na Linha** – Nesta segunda versão de *layout* é alterada a proposta para robô responsável pela entrada de estruturas metálicas na passadeira transportadora para um robô cartesiano do modelo ABB IRB 660, com uma capacidade de carga igual a 250kg e um alcance de 3,15m. Além de dispor de uma capacidade de carga ligeiramente superior ao modelo anteriormente proposto, este é um robô cuja acção assenta em movimentos lineares sobre um sistema de coordenadas cartesiano, ao invés dos usuais movimentos rotativos, tornando-o num mecanismo mais rápido e mais apropriado para trabalhos com materiais paletizados, evitando também problemas de singularidades provocadas pelo alinhamento das juntas. Mais uma vez, este robô estará colocado num pedestal a 0,5m de altura. A ferramenta a utilizar será um *gripper* com ventosas, dispostas em forma de T.

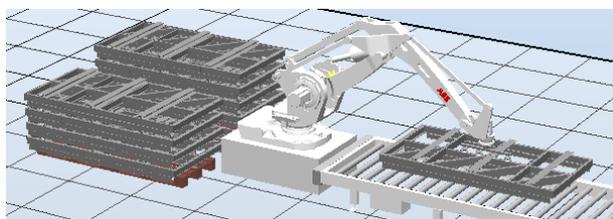


Figura 3.5. Robô ABB IRB 660 carregando uma estrutura metálica

- **Posto de Montagem de “Ripado”** – De modo a resolver aquele que se espera desde já vir a ser o posto de trabalho mais moroso de toda a linha de produção, será proposto o seu desdobramento em duas zonas distintas: primeira para acoplagem de “ripado” e segunda destinada à acoplagem dos 3 restantes componentes, OSB, lâ de rocha e euronite.

Sabendo que este processo de montagem de “ripado” não irá exigir grande capacidade de carga (tanto “ripado” como ferramenta utilizada são relativamente leves) nem alcance de braço do robô (mecanismo perto da passadeira e do armazenamento de componentes) iremos optar por um modelo IRB 4600 com capacidade de carga igual a 40kg e alcance de braço igual a 2,55m. Como acessório a este robô será utilizada uma ferramenta *gripper* com ventosas, em forma de T.

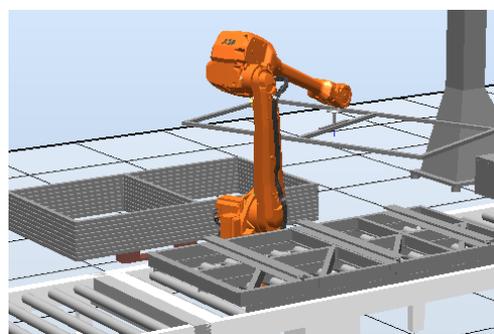


Figura 3.6. Robô ABB IRB 4600 carregando uma placa de “ripado”

- **Primeiro Posto de Montagem** – Apesar de não ser efectivamente o primeiro posto de linha dedicado à montagem de materiais, este é o primeiro grande posto de montagem por pórticos, pelo que iremos optar por continuar a utilizar esta designação.

Dada a prévia acoplagem do “ripado”, sobra para o primeiro posto de montagem a função de juntar as placas de lã de rocha, OSB e euronite, por esta ordem, ao módulo em construção. As 3 pilhas de componentes estarão localizadas imediatamente ao lado da passadeira transportadora, orientadas de tal forma que, de modo a aceder-lhes, o pórtico *Güdel* apenas necessitará de se movimentar segundo dois eixos de coordenadas. Mais uma vez a escolha recaiu no pórtico *Güdel*, pelas mesmas razões económicas e de velocidade, já anteriormente discutidas na proposta de *layout* em linha.

Novamente, sabendo que o pórtico irá agarrar cada um dos componentes isoladamente, a sua capacidade de carga deverá ser tal que este consiga suportar o componente mais pesado, neste caso, a placa de OSB (34,5kg). Nesta hipótese todas as paletes de componentes estão alinhadas, logo o pórtico apenas necessitará de se movimentar em dois eixos (x e z), como foi já mencionado. Será uma vez mais escolhido um pórtico *Güdel* para operar nesta zona, neste caso um modelo *2-Axis Linear Module Type ZP-4*, **Figura 3.7.** Pórtico *Güdel 2-Axis Linear Module ZP - 4* com 2,5m de altura e 7,5m de comprimento.



- **Posto de Rebitagem e Fresagem** – A ferramenta de rebite e fresa deverá ter um alcance suficientemente grande para poder chegar a todos os pontos da parede, logo, a dimensão do braço será na ordem dos 2,25m. O menor requisito de alcance apresentado nesta proposta de *layout* permite a utilização de um robô convencional ao invés de um pórtico, permitindo desde já uma considerável redução nos custos associados à sua implementação. Os requerimentos de capacidade de carga são desprezáveis, pois este robô não irá agarrar em nenhum componente e o peso da sua ferramenta é relativamente baixo. Logo, a escolha irá recair sobre por um modelo ABB IRB 4600, com capacidade de carga

igual a 40kg e alcance de 2,55m. Uma vez que apenas será utilizado um robô, será necessário efectuar troca de ferramenta entre as duas operações realizadas, rebite e fresa.

- **Posto de Viragem** – Segundo a mesma lógica já apresentada para a célula em linha, também aqui será obrigatório recorrer a um virador que consiga transportar a parede em contrução entre as duas passadeiras transportadoras. Mais uma vez este virador será composto por 2 *grippers* com o aspecto de garfos de 2 dentes, suficientemente fortes para suportar peças com 150kg de peso com a devida segurança.

- **Posto de Operador** – Neste posto estará colocado um operador humano, responsável por efectuar os acabamentos necessários às paredes que assim o exigem. Como já foi referido anteriormente, nem todas as paredes irão parar neste posto. De modo a aumentar a eficiência do trabalho do operador, é aconselhável que todos os módulos que requeiram acabamentos sejam produzidos em primeiro lugar, libertando depois o operador para qualquer outro tipo de trabalho necessário.

Devido a novas informações entretanto obtidas, no sentido do tempo de operação relativo a este posto de trabalho ser menor do que inicialmente se antevia, será proposta neste *layout* uma integração deste posto na passadeira transportadora principal.

- **Segundo Posto de Montagem** – Etapa de linha de produção em tudo semelhante à primeira zona de montagem já descrita, exceptuando os tipos de componentes a serem acoplados ao módulo nesta zona: gesso, lâ de rocha e OSB. O robô escolhido foi então o mesmo, um pórtico *Güdel*, do modelo *2-Axes Linear Modules Type ZP-4*, com 2,5m de altura e 7,5m de largura.

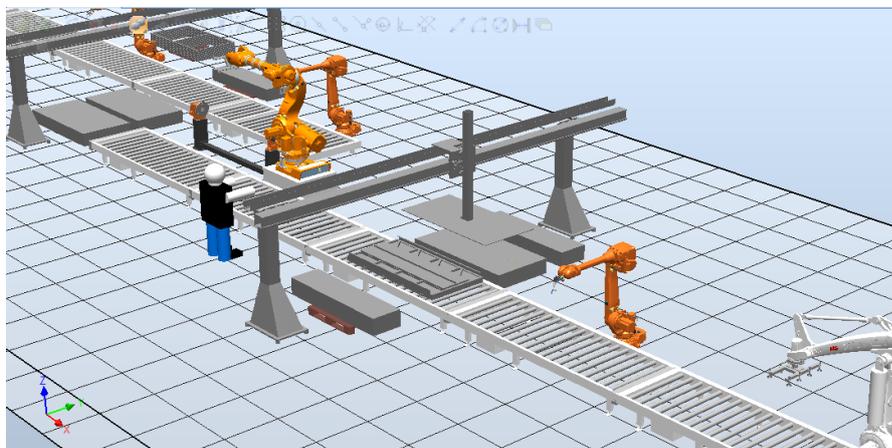


Figura 3.8. Segundo pórtico de montagem em funcionamento

- **Segundo Posto de Rebitagem** – Apesar de não ocorrer acabamento mecânico (fresagem) neste posto será para ele utilizado o mesmo robô que foi escolhido para a zona de rebite e fresa, uma vez que os requerimentos de carga e alcance são os mesmos. Assim, o modelo adoptado será o ABB IRB 4600, com capacidade de carga igual e 60kg e alcance de 2,55m.

- **Posto de Saída da Linha** – Obtido que está o módulo parede completo é então necessário proceder à sua descarga da passadeira transportadora. Será então essencial que o robô previsto para esta zona consiga suportar o peso da parede acabada (180kg) mais ferramenta apropriada (*gripper* com ventosas com um peso perto dos 50kg). Mais uma vez, apresenta-se um robô cartesiano como alternativa ao equipamento convencional proposto para a célula em linha, neste caso, um modelo ABB IRB 760 com capacidade de carga igual a 450kg e alcance de braço igual a 3,18m.

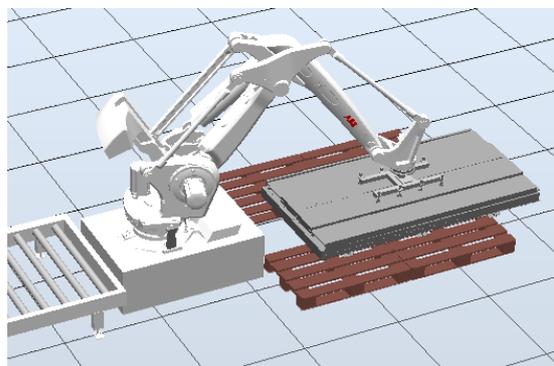


Figura 3.9. Robô ABB IRB 760 em funcionamento

- **Transportadores** – Também esta célula de produção estará munida com duas passadeiras transportadoras, uma antes e outra após o posto de viragem, possibilitando a movimentação dos módulos em construção por todos os postos de trabalho sequencialmente. Mais uma vez, estas passadeiras deverão estar preparadas para lidar com todos os tipos de módulo previamente definidos e ter capacidades de carga e superfícies adequadas. Desta forma, a primeira passadeira terá 1,5m de largura por 15m de comprimento enquanto a segunda terá as dimensões de 1,5m de largura por 19.5m de comprimento

3.4.2. Armazenamento e Abastecimento de Materiais

A diferente orientação do sentido de movimentação dos módulos em construção adoptada nesta célula permite um maior aproveitamento no uso do espaço disponível no pavilhão, tornando possível a existência de espaço livre suficiente para que o empilhador consiga chegar a qualquer uma das pilhas de componentes. De relembrar que as zonas de transporte deverão ter no mínimo 3m de diâmetro (tamanho das paredes) acrescidos de uma distância de segurança (no mínimo 0,5m de cada lado), para um total de 4 metros.

No que diz respeito às pilhas de suportes metálicos e de paredes modulares terminadas, o funcionamento do robô será programado de tal forma que este retire todas as estruturas existentes em cada uma das 2 pilhas existentes, esvaziando-a, antes que um empilhador seja chamado para reabastecer esta pilha na sua totalidade.

As pilhas de todos os restantes componentes serão igualmente reabastecidas na sua totalidade aquando do seu esvaziamento, através do recurso ao mesmo empilhador.

O problema da baixa autonomia da célula mantém-se em relação ao que foi já exposto na primeira proposta de *layout* apresentada. Novamente, o baixo numero de pilhas existentes associado com a restrição de altura (o robô cartesiano não conseguirá atingir pilhas com mais de 8 paredes modulares) irá limitar muito a autonomia do sistema, forçando reabastecimentos constantes caso se queira garantir um elevado fluxo de produção.

Conclusões mais detalhadas acerca dos reais valores da autonomia das linhas de montagem propostas assim como adicionais considerações acerca deste sistema de abastecimento serão feitas na secção 5.3 do presente documento.

3.4.3. Orçamento

Tipo de Robô	Quant.	Custo Individual	Custo Total
Robô >80kg	2	75.000 €	150.000 €
Robô <80kg	3	40.000 €	120.000 €
Pórtico 2D	2	35.000 €	70.000 €
Rebitadora	2	5.000 €	10.000 €
Fresa	1	10.000 €	10.000 €
Nória	1	15.000 €	15.000 €
		Total	375.000 €

Tabela 4. Estimativa de orçamento para *layout* em S

3.4.4. Observações Finais

Terminada a descrição desta proposta de *layout*, pode-se verificar que alguns dos defeitos verificados na linha base foram resolvidos, enquanto outros encontram-se ainda em aberto. Em primeiro lugar, uma análise os problemas resolvidos ou, pelo menos, algo melhorados:

- A alteração da orientação do sentido dos módulos na linha de produção permite uma melhor utilização do espaço de pavilhão disponível, liberta espaço livre nos extremos do pavilhão para movimentação do empilhador e possibilita que todas as pilhas de componentes em cada zona de montagem se disponham numa única fila, evitando o uso de pórticos com 3 graus de liberdade e diminuindo o custo total da linha de produção;
- Inclusão do posto de operador na passareira transportadora principal reduz a complexidade da linha e evita a existência de movimentos perpendiculares ao longo da mesma;
- A alteração para robôs cartesianos parece ser vantajosa para este processo devido à sua superior capacidade de carga, rapidez e capacidade de trabalho com materiais paletizados.

Passando aos problemas ainda em aberto:

- Linha de produção demasiado longa. Se na primeira proposta o espaço disponível no pavilhão estava subaproveitado, nesta o excessivo comprimento da linha poderá tornar todo o processo de produção demasiado moroso. Inclusivamente, as faixas reservados para movimentação de empilhadores nos dois extremos do pavilhão quase foram postas em risco, tendo sido garantidos apenas 5m para cada uma delas, pouco acima dos mínimos requeridos (4m). É de esperar que futuras simulações e estudos de tempo retirem dúvidas sobre a equilibragem, ou falta dela, de tempos despendidos em cada um dos postos de trabalho, permitindo que alguns deles sejam eliminados ou unidos entre si.
- Baixa autonomia da linha de produção, devido à pequena capacidade de armazenamento de estruturas metálicas e paredes completas. O espaço livre ainda existente neste *layout* leva a crer que seja possível adoptar um diferente sistema de armazenamento, de maior capacidade, algo a ser estudado em futuras propostas;

- O custo da célula manteve-se o mesmo desde a primeira proposta, resultado do demasiado grande número de robôs utilizados neste *layout*. Seria desejável que fossem encontradas alternativas que permitissem a remoção de alguns destes mecanismos, ou a sua substituição por outros menos dispendiosos.

3.5. *Layout* em S: Alternativas Estudadas

Será importante referir que após ser idealizado o modelo de *layout* base, várias hipóteses foram estudadas no sentido de encontrar a melhor alternativa possível para o modelo em S, previamente apresentado.

No entanto, e apesar de algumas das vantagens que poderiam ser obtidas através do uso dessas alternativas, devido a um conjunto de razões incluindo maior preponderância das desvantagens associadas, falta de informação acerca do equipamento proposto ou requerimentos transmitidos pelo próprio cliente o seu futuro desenvolvimento acabou por ser desde logo descartado, ou guardado para uma segunda avaliação aquando da obtenção de mais informações acerca do funcionamento do sistema.

Desta forma, serão mencionadas nesta secção as principais alternativas analisadas e discutidas as razões que levaram à rejeição das mesmas.

Entre estas propostas incluem-se: remoção dos postos de entrada e saída da linha, remoção da posição de descarga do virador (posição fila de espera nos esquemas em anexo), utilização de rebitadores superiores à linha e aumento das zonas de armazenamento.

3.5.1. Remoção dos Postos de Carga e Descarga da Linha

No *layout* em S apresentado o primeiro posto da linha de produção foi destinado exclusivamente à entrada de estruturas metálicas na linha. Não se realizará qualquer outra operação neste posto. Poderá assim ser estudada uma hipótese alternativa, em que este posto seria removido, entrando as estruturas metálicas directamente no posto para montagem de “ripado”.

Assim, será vantajoso unir estes dois postos de trabalho num único quando a soma do tempo despendido entre entrada de estruturas na linha e montagem de “ripado” for inferior ao maior tempo gasto em qualquer um dos outros postos de trabalho da célula.

Do mesmo modo, também o último posto da célula foi reservado unicamente para a retirada de paredes concluídas da passadeira transportadora. Seguindo a mesma lógica apresentada para a remoção do posto de entrada, poderá ser vantajoso unir este posto com o segundo posto de rebite localizado imediatamente antes caso se note que o tempo gasto na soma destes dois últimos postos de trabalho é inferior ao verificado em qualquer outra operação realizada na linha de produção.

Diga-se que, caso seja possível, a remoção destes postos de trabalho pode trazer várias vantagens, principalmente graças à diminuição do comprimento da linha de produção que permite libertar espaço de armazém para outros fins e diminuir o tempo despendido em movimentações da parede modular ao longo da passadeira transportadora.

No entanto, e sabendo que o espaço disponível no pavilhão é suficiente para acomodar a manutenção de ambos os postos, o maior factor de decisão acerca da implementação desta alternativa será a minimização do tempo total de fabrico de cada módulo. Logo, caso se verifique que a junção destas zonas de trabalho provoca a criação de quaisquer filas de espera ou congestionamentos na linha será preferível manter a hipótese actual, com dois postos de entrada e saída independente.

Assim, um conhecimento mais profundo acerca dos tempos de operação de cada um dos postos de trabalho envolvidos será imprescindível para atestar acerca das reais vantagens do recurso a esta alternativa. Deixar-se-á então esta dúvida em aberto até um ponto mais avançado deste documento, após criados modelos de simulação para ambas as alternativas e analisados os respectivos resultados.

Em anexo (anexo C) poderá ser encontrado uma representação esquemática da linha em S desprovida de postos de entrada e saída da linha individuais. De referir que, daqui para a frente, esta linha de montagem será mencionada como versão 2 da linha em S ou linha em S: v2 de modo a evitar que a sua referência se torne demasiado exhaustiva.

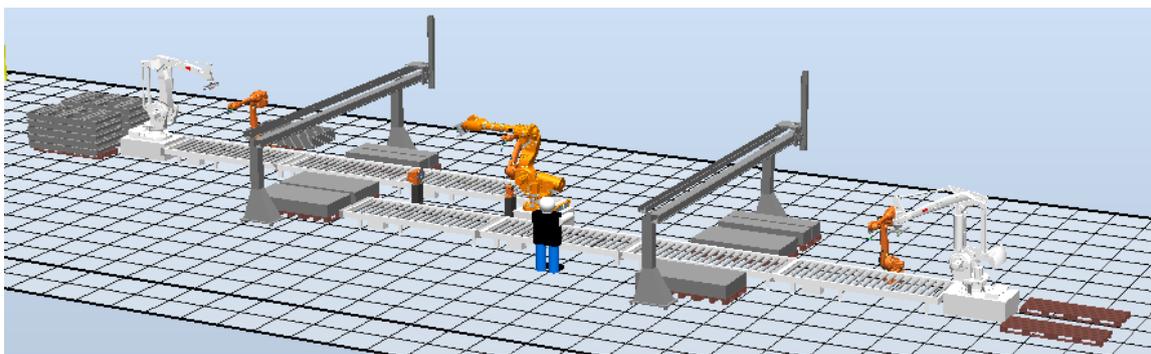


Figura 3.10. Visão geral da versão 2 da linha em S

3.5.2. Remoção da Posição Fila de Espera

Uma das características da linha de montagem em S debatida foi a conjugação das duas posições iniciais da segunda passadeira transportadora, ou seja, a posição de descarga de módulos parede vindos do posto de viragem (posição fila de espera nos esquemas em anexo) e a posição destinada ao posto de operador.

As principais vantagens resultantes da utilização de duas zonas de trabalho independentes são a maior segurança de trabalho do operador, que se encontra assim mais longe de quaisquer equipamentos mecânicos e um ligeiro aumento do tempo que este mesmo operador tem disponível para a execução das suas tarefas (o módulo está pronto a ser trabalhado desde o instante em que chega ao posto).

Por outro lado, a união destes dois postos numa única posição poderia trazer outros convenientes igualmente importantes, nomeadamente graças à redução do comprimento total da passadeira transportadora, que permitiria libertar espaço da fábrica para outros fins e diminuir o tempo gasto pelo módulo parede em movimentações, reduzindo, possivelmente, o tempo final de produção.

No entanto, e uma vez que não existem neste momento tempos exactos relativos à velocidade de execução de tarefas por parte do operador, serão guardadas conclusões definitivas acerca desta alternativa para futuros estudos ou para considerações pessoais efectuadas pelo próprio cliente. Assim, para o presente trabalho, ambos os postos de trabalho – fila de espera e posto de operador - foram mantidos nos *layouts* sob análise.

3.5.3. Rebitadores em Linha

Uma possível alternativa ao uso de robôs para rebite seria a adopção de um sistema de rebitadores que consiga trabalhar por cima da linha de produção, descendo e fixando os componentes à estrutura metálica à medida que esta fizesse a transição entre postos de trabalho. Considerando o *layout* em S apresentado, na primeira zona de rebitagem e fresagem, o rebitador em linha seria colocado entre o primeiro posto de montagem e o posto de fresa. O robô a utilizar na zona de fresa passaria a possuir uma única ferramenta e a ser responsável por um único tipo de trabalho, diminuindo o tempo despendido neste posto de operações.

Na segunda zona de rebite, a necessidade de reservar um posto específico para este trabalho poderia mesmo deixar de existir (dependendo dos tempos gastos em cada uma destas operações), graças à colocação de um rebitador em linha entre o segundo posto de montagem e o posto de saída da linha.

De notar também que, segundo as estimativas orçamentais obtidas, um máquina rebitadora em linha é menos dispendiosa do que um robô rebitador.

Pode-se então verificar que as vantagens que advém desta hipótese se relacionam com a diminuição dos custos de implementação da linha e com possíveis reduções do tempo gasto pelos módulos em operações de rebite ou diminuição do número de postos de trabalho necessários. Um estudo mais aprofundado acerca dos reais valores de tempo que se poderão poupar através desta alteração ou das vantagens resultantes da remoção do segundo posto de trabalho para rebite terá que ser feito para que se consiga chegar a uma conclusão mais fundada acerca da implementação destes rebitadores em linha.

No entanto, e uma vez que não foram obtidos quaisquer tempos relativos ao funcionamento de uma máquina rebitadora em linha ou modelos que permitissem a sua simulação, foi definido que este sistema não será utilizado na proposta de *layout* final a apresentar.

3.5.4. Aumento das Zonas de Armazenamento

Como já foi várias vezes referido anteriormente um dos maiores limitações associadas ao *layout* em S proposto será a sua baixa autonomia, que faz com que sejam necessários reabastecimentos constantes de forma a manter a linha em funcionamento.

De forma a solucionar este constrangimento foi analisada uma alternativa que, recorrendo a um sistema de prateleiras e gavetas, permita aumentar a capacidade das zonas de armazenamento de estruturas metálicas e de paredes completas.

Associada a estas hipótese estaria a utilização de robôs acoplados a *tracks*, que permitam a sua movimentação e acesso a todo o comprimento das zonas de armazenamento.

Em anexo (anexo D) foi deixada uma representação esquemática de uma célula onde foram adoptados estes sistemas de armazenamento tanto no posto de entrada como no de saída.

3.5.4.1. Armazenamento de Estruturas Metálicas

Nesta alternativa existirá então um sistema de prateleiras colocado junto à entrada da linha de produção, capaz de armazenar uma maior quantidade de estruturas metálicas. Estas estruturas serão então transportadas até à linha de produção através de um robô, que neste caso estará apoiado num *track* que lhe permitirá aceder a todo o comprimento da linha de prateleiras. Um equipamento apropriado poderia ser o robô ABB IRB 6650S, com capacidade de carga igual a 200kg e alcance de 3,5m, apoiado num *track* IRBT 6004 com 8m de comprimento. De notar que o robô cartesiano previamente adoptado não poderá ser utilizado neste caso, uma vez que as suas grandes dimensões são incompatíveis com a acoplagem num *track*. Os 8m de comprimento deste *track* serão suficientes para aceder a 6 pilhas de materiais, triplicando desde logo a capacidade de armazenamento de estruturas metálicas.

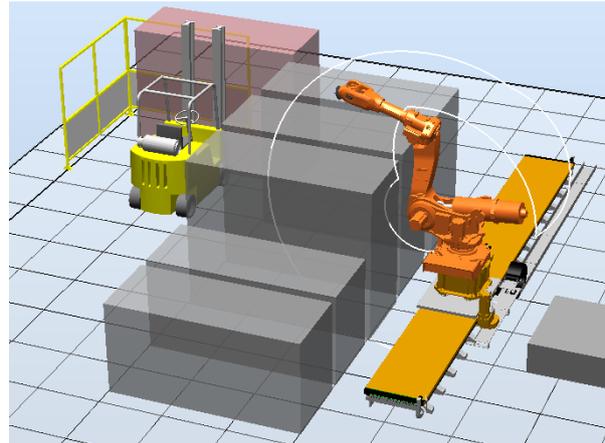


Figura 3.11. Sistema de armazenamento de estruturas metálicas

O reabastecimento de matérias-primas será efectuado no lado das pilhas de estruturas oposto àquele onde o robô trabalha. Este abastecimento estará facilitado pelo sistema de gavetas adoptado nesta hipótese, que permite aceder em qualquer momento a qualquer posição da zona de armazenamento.

3.5.4.2. Armazenamento de Paredes Modulares Completas

Também no final da linha de produção foi estudada a utilização de um sistema de armazenamento por prateleiras, neste caso para guardar uma maior quantidade de paredes modulares acabadas. Mais uma vez existirá um robô, colocado sobre um *track*, responsável por transportar as paredes desde o final da linha de produção até qualquer prateleira do sistema.

Segundo os requisitos anteriormente definidos para a execução desta tarefa, um modelo adequado seria o ABB IRB 7600 com capacidade de carga igual a 250kg e alcance de 3.5m, acoplado a um track da família IRB 7004, cujo comprimento estaria dependente da quantidade de espaço livre deixado junto ao final da linha, nomeadamente através da remoção de algumas zonas de trabalho.

A zona de paletização pré-contenedor (zona *pre-container pallet* visível nos esquemas deixados em anexo) refere-se ao ponto no final da linha de montagem onde são colocadas paredes modulares completas prontas para expedição. Segundo esta metodologia, um empilhador pega nas paredes completas desde as respectivas

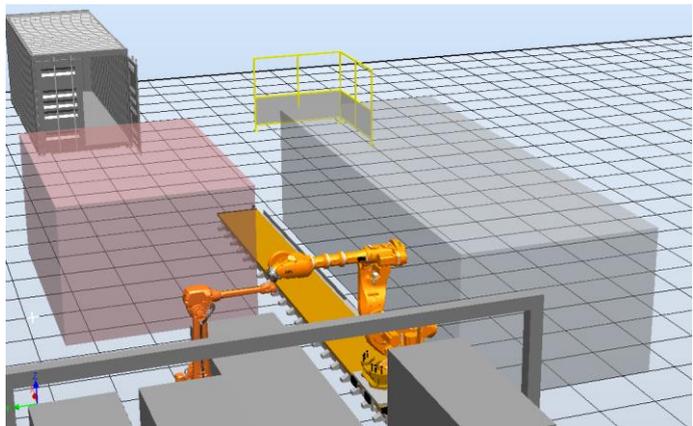


Figura 3.12. Sistema de armazenamento de paredes modulares completas

zonas de armazenamento e transporta-as para a zona em questão a partir de onde serão colocadas num contentor destinado ao seu transporte para fora do armazém.

No entanto, nem todas as características relativas a este sistema são vantajosas. Do lado dos problemas recorrentes deste sistema podemos listar:

- Superior custo de implementação;
- É de prever que a utilização dos robôs referidos ao invés de robôs cartesianos aliada aos tempos de movimentação em track aumente consideravelmente o tempo de operação de cada um destes postos de trabalho;
- Este aumento de tempos de operação irá dificultar a remoção de postos de trabalho anteriormente sugerida, mantendo uma longa linha de produção e respectivos altos tempos de movimentação sobre passareiras;
- No caso do armazenamento de paredes modulares completas, quanto maiores forem as áreas de armazenamento previstas mais dificultado estará o acesso do empilhador a todos os módulos lá existentes.

Assim, por todas as razões mencionadas, optou-se por manter o sistema simples de 2 pilhas de componentes na proposta de *layout* em S a caracterizar nos capítulos seguinte.

4. SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES

Neste capítulo será feita, em primeiro lugar, uma breve referência à importância de se efectuar uma simulação de sistemas robóticos previamente à sua implementação, assim como uma introdução às ferramentas que temos à nossa disposição para possibilitar essa mesma simulação.

Concluída esta contextualização, passar-se-á então para uma descrição detalhada do modelo de simulação desenvolvido para o caso em estudo e para uma análise dos resultados obtidos.

4.1. Simulação na Robótica

A simulação pode ser descrita como o processo de desenvolvimento de um modelo que se aproxime o mais possível das condições reais a que será sujeito e da execução de experiências sobre este mesmo modelo com o objectivo de descrever, entender, otimizar ou prever o seu futuro funcionamento.

Por isso mesmo, esta é uma técnica frequentemente utilizada nas mais variadas áreas de trabalho pois permite uma fácil análise de um sistema teórico ou proposta sob investigação antes que esta seja implementada no mundo real. Esta avaliação prévia permite testar o sistema em quaisquer condições desejadas, permitindo uma precoce detecção de erros e uma máxima optimização do sistema.

De referir que a concepção de um modelo de simulação não permite por si só tomar decisões finais em relação a quaisquer questões que se encontrem em cima da mesa, mas apenas proporcionar mais um critério de decisão. Importante também salientar que a validade dos resultados finais obtidos através de um processo de simulação está altamente dependente da precisão dos valores inicialmente utilizados.

No campo da robótica em particular a criação de simuladores prévios para qualquer sistema que se queira implementar assume-se como crucial, devido à usual grande complexidade de funcionamento destes sistemas e à complicada e dispendiosa resolução de erros que não sejam precocemente detectados.

De modo a conseguir construir modelos computacionais para simular as células de produção anteriormente apresentadas será utilizado aquele que é o *software* mais comum tanto no mundo industrial como no académico, o *RobotStudio*. O facto de tanto este

programa como grande parte dos robôs industriais utilizados na linha em estudo serem disponibilizados pela mesma entidade, a ABB, foi um importante factor de decisão.

Intimamente relacionada com o processo de criação de um modelo para a linha de produção e respectiva simulação de operações em *RobotStudio* estará a programação de cada um dos robôs a ser utilizado, e consequente obtenção de um código passível de ser transmitido para o controlo de robôs reais. Este sistema de programação será em seguida introduzido.

4.2. Programação de Robôs *Off-Line*

Desde a concepção do conceito de robôs muitas foram já as alterações feitas ao seu método de programação até chegarmos à realidade dos dias de hoje.

A programação de robôs, nos seus primórdios, era efectuada na linha de produção, requerendo a utilização do próprio controlador. Cada vez que fosse necessário proceder a alterações à programação do mesmo era então necessário parar a produção da célula de produção onde este se inseria. Esta forma de programação é designada como produção *on-line* (Hunt, 1983). Esta metodologia implicava então que o programador movimentasse o robô até às posições pretendidas, gravando posteriormente cada uma das instruções na memória do mesmo de forma a gerar o programa final.

Escusado será dizer que este processo era tudo menos prático, causando um conjunto de inconvenientes de entre os quais poderemos destacar uma considerável quebra na eficiência da linha de produção.

Nos últimos anos, aliadas à forte evolução tecnológica, tem surgido no mercado várias soluções de *software* que permitem facilitar a programação de robôs graças ao recurso a processos de simulação e animação gráfica. Estes *softwares* inserem-se num tipo de programação designada como *off-line*, por não exigirem o uso directo do robô ou a paragem da linha de produção e tem vindo a ser cada vez mais utilizados, não só devido às suas vantagens e potencialidades, mas também pela proliferação da sua distribuição por um maior número de fabricantes que baixou consideravelmente os seus preços de aquisição.

Esta metodologia de programação de robôs consiste na inserção de linhas de comandos sucessivos numa linguagem própria, recorrendo quer ao uso de *software* específico, quer ao uso de programas de edição de código sob a forma de texto. A par destas aplicações, tem vindo a ser desenvolvidas ferramentas gráficas que permitem

traduzir as linhas de código textualmente desenvolvidas em simulações gráficas ilustrativas, facilitando o teste do programa e respectiva análise

Podemos então resumir as seguintes vantagens para a programação *off-line* de robôs na sua capacidade de programar e otimizar a linha sem obrigar uma paragem no ciclo de produção, no conseqüente aumento de produtividade, na redução dos tempos de implementação e posteriores alterações à linha e na redução de riscos.

4.3. Software: ABB RobotStudio

De modo a conseguir aplicar a simulação *off-line* anteriormente introduzida às propostas de *layout* em estudo será feito o recurso à versão 5.15.05 do ABB *RobotStudio*.

O Grupo ABB é uma corporação multinacional, que opera fundamentalmente nos campos da robótica, energia e automação. No ramo da robótica em particular, é a empresa líder no fornecimento de robôs industriais, sistemas de produção modular e serviços de assistência técnica. Fortemente focada em soluções, a ABB ajuda os seus clientes a melhorar a sua produtividade, qualidade dos produtos e segurança dos trabalhadores (ABB, 2013).

Mais especificamente em relação ao *RobotStudio*, este é um *software* de programação *off-line* que permite que a programação de qualquer robô seja efectuada num computador sem causar distúrbios à real célula de produção. A criação de código neste software baseia-se na linguagem de programação RAPID.

A linguagem RAPID é comum a todos os sistemas de robôs ABB e estão assentes nas suas características específicas algumas das mais marcantes vantagens na utilização do *RobotStudio*, incluindo: sistema de coordenadas flexíveis, localizador integrado de erros no código, variadas funções internas, auxiliar à escrita de código e interface visualmente agradável.

Associado ao *RobotStudio* encontra-se o *software RobotWare*, um controlador virtual que disponibiliza uma consola que poderá ser utilizada para controlar e programar o robô, em tudo semelhante à que poderá ser encontrada em aplicações reais.

4.3.1. Ferramentas *RobotStudio*

Antes de mais, apresenta-se uma breve abordagem explicativa das características e funções do *RobotStudio* que mais importância tiveram para o desenvolvimento do modelo que será em seguida apresentado:

- **Mecanismos e Sistemas** - No ambiente *RobotStudio* existem dois tipos de componentes base que suportam movimentações: mecanismos e sistemas.

Os mecanismos (*mechanisms*) surgem normalmente associados a componentes industriais mais simples, incluindo passadeiras, posicionadores, ferramentas ou *tracks*. A movimentação destes mecanismos encontra-se limitada à definição prévia de poses que o robô poderá tomar e é normalmente sequenciada através da transmissão de sinais I/O (*input/output*).

Os sistemas (*robot systems*) são geralmente utilizados para a manipulação de robôs industriais. Aliados a um controlador virtual e baseados em código RAPID, estes sistemas permitem a definição pormenorizada de trajectórias, comando de múltiplas acções ou análise de variáveis.

- **Sinais *Input / Output*** - Sinais utilizados para transmitir informação entre diferentes componentes da célula industrial ao longo da simulação, ou para sequenciar acções internas de certos mecanismos. Estes sinais podem ser de dois tipos: sinais *input* são recebidos pelo sistema e activam algum dos seus movimentos ou acções da forma anteriormente definida e sinais *output* que são enviados pelo sistema, accionando sinais existentes noutros elementos da célula;

- ***Paths e Targets*** - De modo a criar trajectórias para a movimentação de um robô industrial é, em primeiro lugar, necessário criar os diferentes pontos (*targets*) que o robô terá que visitar, utilizando dados de ferramenta (*tooldata*) e sistema de coordenadas (*workobject*) apropriados.

Estes pontos independentes podem seguidamente ser interligados através da geração de uma trajectória (*path*). É ainda possível adicionar certas acções como tempos de espera, associação com sinais *input / output* ou avaliação de variáveis a estas trajectórias com o objectivo de aumentar o realismo e o correcto funcionamento do sistema.

- **Linguagem RAPID** – Após concluídos, os paths anteriormente definidos podem ser sincronizados com um controlador virtual, gerando um texto em linguagem RAPID. É então associado um módulo RAPID ao respectivo robô, assim como um conjunto de procedimentos correspondentes a cada um dos *paths* criados.
- **Simulation Logic** – Menu geral que inclui o *event manager*, que permite criar os eventos que ocorrem após a activação de sinais *input / output* e o *station logic*, onde podem ser geridas as diferentes I/O *connections*, ou seja, sinais *input* e *output* transmitidos entre os diferentes componentes da célula de produção.
- **Smart Components** - Modelos *RobotStudio* que podem suportar um conjunto de funções incluindo sensores, manipuladores, contadores, operadores lógicos ou acções de movimentação e acoplagem de outros objectos. As acções efectuadas por estes modelos são accionadas e sequenciadas através de ligações entre sinais *input* e *output*, também aqui definidas.

4.4. Etapas no Desenvolvimento do Modelo *RobotStudio*

Na presente secção serão explicados em detalhe os métodos aplicados ao desenvolvimento do modelo *RobotStudio* para cada um dos postos de trabalho da linha S definida na secção 3.4.

4.4.1. Posto de Carga

Em anexo (anexo E) pode ser encontrada uma cópia do código criado para programar o posto de trabalho de carga da célula em estudo. Em seguida será explicada a função dos comandos apresentados, assim como uma exposição da metodologia que foi seguida para os obter. Refira-se que este código foi concebido com o intuito de suportar a produção de múltiplas paredes modulares.

Antes de mais, e sabendo que é necessário estabelecer forma de cada robô comunicar com os restantes componentes da célula industrial, será feita uma sucinta descrição de como criar sinais *input* ou *output* para cada robô.

Sabendo que o controlador virtual vem já composto por um conjunto de sinais internos que auxiliam o seu movimento, é necessário gerar uma nova *board* (conjunto de

sinais) que permita guardas os sinais criados pelo utilizador, sem causar distúrbios aos comandos pré-definidos pela ABB.

Para tal, deve-se aceder à função *FlexPendant*, incluída no menu *Controller*, uma interface que permite trabalhar com o controlador virtual do robô desejado. Seguindo as ligações *Control Panel > Configurations > Unit > Add* podemos chegar ao espaço de criação de novas *boards*.



Figura 4.1. Visão geral do controlador virtual

Na imagem ao lado podem ser verificadas as configurações utilizadas para todas as *boards* originadas para este modelo de simulação. De notar que o robô se deve encontrar no modo manual para permitir estas alterações.

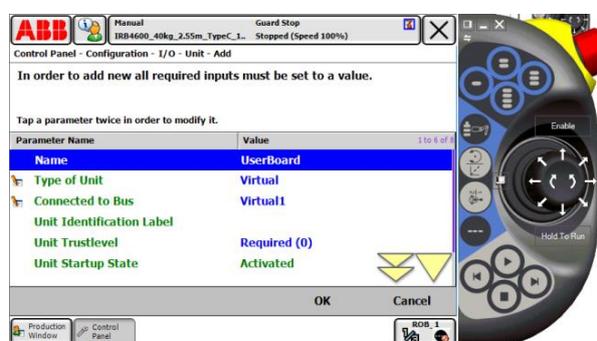


Figura 4.2. Configurações para criação de boards

Gerada a *board*, poderá então avançar-se até à criação dos sinais *input* ou *output* propriamente ditos, mais uma vez, através do caminho *Controller > FlexPendant > Control Panel > Configurations*, optando agora pelas ligações *Signal > Add*. Na ilustração ao lado podemos observar a interface para criação de novos sinais. Ao longo do presente trabalho a terminologia *di* e *do* será utilizada ao início do nome de cada sinal criado, de forma a facilitar a rápida diferenciação entre sinais *input* e *output*, respectivamente.

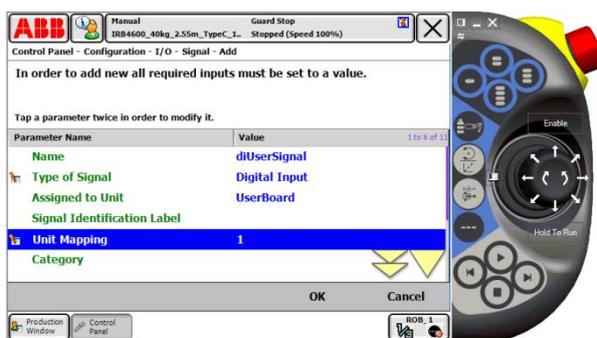


Figura 4.3. Configurações para criação de sinais

Nas linhas iniciais do programa foram definidas 4 variáveis. As variáveis do tipo *est_livre* serão incrementadas em cada ciclo percorrido pelo programa, contabilizando o número de estruturas metálicas que foram já retirados de cada pilha. As variáveis do tipo

z_{est} serão calculadas no decorrer do programa, e permitem saber qual a distância no eixo z que o robô precisa de percorrer até conseguir pegar no suporte metálico que procura.

Também nesta parte do código está definido um conjunto de *targets* que o robô deve percorrer no âmbito da sua operação. Mais tarde estes *targets* serão traduzidos em dois *paths* (trajectórias) referentes à recolha de suportes metálicos pertencentes à primeira e à segunda pilha de armazenamento.

De modo a facilitar a tarefa de reabastecimento de materiais, requer-se que o robô esvazie todos os suportes metálicos encontrados em cada pilha, antes de passar a operar na outra pilha de armazenamento. Para tal o programa percorre um ciclo *if* no seu procedimento inicial que lhe permite avaliar o número de suportes em cada pilha. Este código prevê ainda a paragem do robô quando se esgotem as estruturas disponíveis.

O comando *MoveJ Offs* permite operar com *targets* variáveis ao efectuar, a partir do *target* inicial, uma translação segundo o eixo z em acordo com o número de placas remanescentes em cada pilha.

De referir também que foi alterada a velocidade do robô para $v600$, uma vez que é previsível que a sua movimentação seja mais lenta enquanto estiver a transportar alguma estrutura metálica.

Finalmente, os sinais *doAttach* e *doDetach*, cujas acções foram definidas no menu *Event Manager*, coordenam a acoplagem e desacoplagem de estruturas pelo robô.

4.4.2. Posto de Montagem de “Ripado”

No segundo posto da linha de produção encontra-se o robô responsável pela acoplagem de “ripado” à estrutura metálica. Uma vez mais, o código desenvolvido para o robô em questão poderá ser consultado em anexo (anexo F).

Nenhum dos comandos utilizados para este código será novidade quando comparado ao que já foi descrito para o primeiro robô de carga. Em acréscimo ao desenvolvimento de sinais intrínsecos ao robô que sejam responsáveis por ordenar o início do seu funcionamento e por coordenar acções de acoplagem e desacoplagem de “ripado”, foram novamente criadas variáveis que permitam reconhecer o número de placas de “ripado” existentes na pilha e programar o movimento do robô apropriadamente.

4.4.3. Postos de Montagem por Pórticos

Dado o elevado grau de similaridade entre os dois grandes postos de montagem que funcionam através de pórticos *Güdel*, irá optar-se por efectuar a sua descrição numa única secção.

Em primeiro lugar, é importante dizer que estes pórticos não são comercializados pela ABB, sendo por isso impossível encontrar os seus modelos nas bibliotecas de bibliotecas ou sistemas base do *RobotStudio*.

Foi por isso necessário recorrer a modelos CAD dos pórticos em questão, disponibilizados pela *Güdel*. Passou-se então para a edição deste modelo recorrendo ao *software GeomagicDesign*, comercializado pela *Alibre*, uma ferramenta que representa graficamente modelos

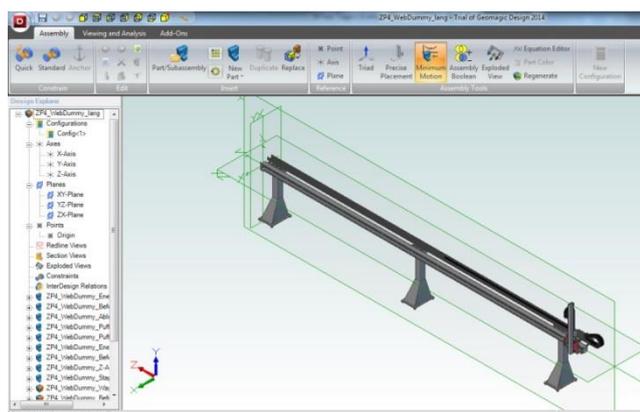


Figura 4.4. Visão geral da interface *GeomagicDesign*

CAD usualmente complexos, facilitando em muito tanto a sua visualização como quaisquer procedimentos relacionados com modificações que se queiram fazer.

Através deste *software* foi possível alterar o modelo CAD até às dimensões desejadas para a linha de produção a ser desenvolvida, antes de ser importado para o ambiente *RobotStudio* sob a forma de geometria.

Foi em seguida necessário transformar esta geometria em mecanismo, de modo a possibilitar movimentos do pórtico, através da separação das partes elementares do pórtico e da criação de ligações e juntas entre elas.

No entanto, vista a impossibilidade de associar um controlador a estes pórticos, não existe outra hipótese que não seja trabalhar com mecanismos daqui para a frente, com todas as restrições que advém do uso deste tipo de componentes, principalmente devido aos factos de não suportarem o uso de consola virtual ou de código em linguagem RAPID. Assim, cada um dos pórticos em questão será alojado num *Smart Component*, para o qual serão definidas as respectivas poses, trajetórias, acções e ligações entre sinais *input* e *output* que permitirão um correcto sequenciamento de tarefas.

Estas limitações, em particular a necessidade de criar um a um cada um dos pontos que o pórtico deve percorrer, assim como a impossibilidade de utilizar variáveis que

permitam reconhecer o número de placas existentes em cada pilha de componentes e adaptar o movimento do mesmo em concordância, irão dificultar fortemente a programação do modelo para consecutivos ciclos de produção.

Não obstante, e uma vez que o objectivo primário deste documento é um estudo teórico sobre os tempos despendidos por cada um dos postos de trabalho da linha de produção e uma optimização da proposta de *layout* a apresentar e não tanto uma implementação prática e efectiva da célula, decidiu-se que a simulação de um único ciclo de trabalho será suficiente para obter as conclusões desejadas.

Será então necessário definir para o mecanismo pórtico, na interface *Smart Component*, um conjunto de pontos a serem visitados pela ferramenta do pórtico (baseados na localização da passadeira e pilhas de componentes já acima definidos aquando da descrição de *layouts*), tempos de transição entre pontos e sinais *input / output* que liguem as diferentes acções.

Dado que não existem quaisquer valores relativos a velocidades de funcionamento relativas a este modelo pórtico previamente definidas no *RobotStudio*, cada um dos tempos de transição entre poses foi introduzido manualmente com base nas especificações técnicas apresentadas no site da *Güdel* para valores de velocidades de movimentação deste equipamento segundo cada eixo de liberdade, como pode ser consultado na tabela guardada em anexo (anexo K).

Como foi calculado anteriormente, a placa mais pesada que o pórtico terá que suportar será a correspondente ao componente OSB e terá um peso de 34,5kg, abaixo da barreira de 630N expressa na tabela mencionada. Assim, poderemos adoptar as velocidades de 2,8m / s para movimentos horizontais e 1,875m / s para movimentos verticais da ferramenta do pórtico.

Assumindo que estes valores correspondem a velocidades máximas de deslocamento da ferramenta do pórtico e que as constantes alterações de direcções de deslocação e curtos percursos percorridos pela mesma ferramenta não irão permitir atingir estas velocidades, vamos duplicar os tempos obtidos para cada trajecto. Além disso, e sabendo que as acções de acoplagem e desacoplagem não são imediatas, será adicionado 1s a cada uma das trajectórias que envolvem a execução de alguma destas tarefas.

Os tempos obtidos para cada percurso foram então introduzidos no modelo *RobotStudio* e encontram-se tabelados nos anexos L e M.

4.4.4. Postos de Rebite e Fresa

Nesta secção será procedida à descrição tanto do primeiro posto de rebite e fresagem como do segundo posto apenas de rebite, dada a grande similaridade entre as tarefas executadas em ambas as zonas, também reflectida nos códigos desenvolvidos para cada um deles. Mais uma vez, os códigos desenvolvidos poderão ser encontrados nos anexos G e I, respectivamente.

De mencionar apenas as assunções tomadas relativas a procedimentos e tempos de operação relativos a estes postos de trabalho:

- A trajectória de rebite irá desenrolar-se ao longo de 9 pontos definidos na superfície da parede modular em construção. Destes pontos, 3 estarão localizados à esquerda, 3 à direita e 3 ao centro da peça, como poderá ser mais facilmente compreendido na figura ao lado apresentada. Note-se que a trajectória começa e termina na posição inicial definida para o robô. Admitiu-se ainda que o mesmo demorará 1s em cada um dos 9 pontos referidos para concluir a acção de rebite;

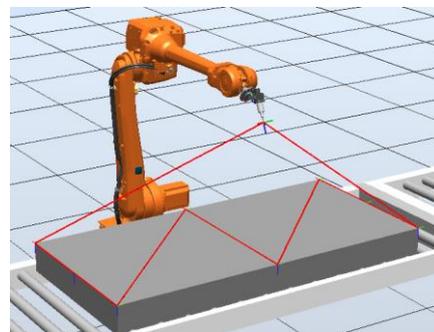


Figura 4.5. Trajectória de rebite

- A trajectória de fresagem irá passar por 4 pontos, 1 em cada um dos extremos da superfície superior da parede modular. Mais uma vez, a trajectória começa e acaba na posição inicial definida para o robô e será despendido 1s em cada um dos 4 pontos descritos;

- No posto de trabalho responsável por tarefas tanto de rebite como de fresagem, será necessário efectuar uma mudança de ferramenta entre as duas acções, visto não existir nenhuma ferramenta apropriada para efectuar ambos os procedimentos. É estimado que esta mudança de ferramenta demore 3s a concluir-se.

4.4.5. Posto de Viragem

Apesar de se ter anteriormente definido, aquando da apresentação das diferentes propostas de *layout*, que o equipamento apropriado para o posto de viragem seria um virador, será necessário procurar uma diferente alternativa a adoptar no modelo de simulação uma vez que este tipo de máquina não se encontra disponível nas bibliotecas *RobotStudio*.

Desta forma, dentro dos equipamentos existentes no *software* referido, será utilizada uma nória da família IRBP L para proceder à rotação da parede modular em 180° e um robô IRB 6640, com capacidade de carga igual a 185kg e alcance de 2.80m para colocar o módulo nas devidas posições.

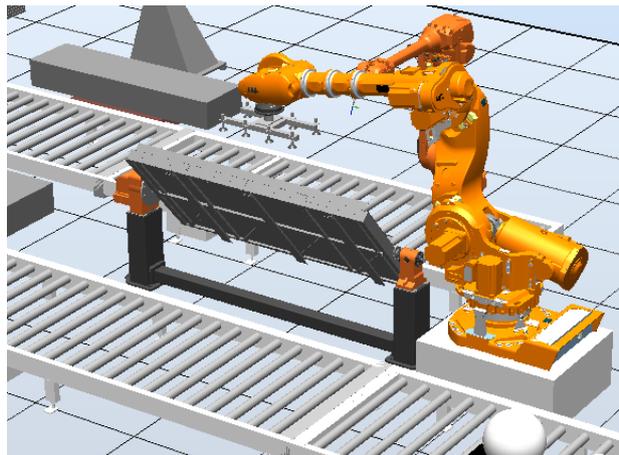


Figura 4.6. Posto de viragem

De referir que a utilização de um robô unicamente para esta tarefa aquando da

real implementação desta linha de montagem seria impensável e que tal apenas será aqui feito com objectivos de estudo e simulação. O sistema de viragem concebido para o modelo de simulação está ilustrado na figura 4.6 para mais fácil compreensão.

Assim, para o posto de viragem foi criado um conjunto de *targets* e de sinais *input* e *output* que permite coordenar as acções dos dois equipamentos pertencentes a esta zona de trabalho: o robô auxiliar e a nória. As tarefas aqui desenvolvidas seguirão a seguinte sequência:

- Sistema recebe sinal resultante do término do procedimento de rebitagem e fresagem e comanda o robô auxiliar de pegar a parede modular semiconstruída existente neste posto;
- Robô auxiliar transporta o módulo até à nória e regressa à posição inicial;
- Regressando o auxiliar à posição inicial é enviado um sinal à nória para que esta proceda à rotação da parede em 180°;
- Entretanto o robô auxiliar encontra-se parado na posição inicial, esperando que a nória lhe envie um sinal relativo à conclusão da sua acção;

-
- Recebido este sinal o robô vai pegar o módulo já virado e transporta-o até à posição definida na segunda passadeira transportadora;
 - Entretanto é enviado um novo sinal à nória, para que esta retorne ao estado inicial, preparada para a viragem de futuros módulos;
 - Procedida a desacoplagem do módulo na segunda passadeira transportadora, o sistema envia um sinal à passadeira para que esta prossiga o seu movimento.

4.4.6. Posto do Operador

No modelo de célula de produção desenvolvido, a localização do posto para trabalho de operador foi apenas simbolizada, não requerendo a paragem da parede modular neste ponto. Foi, desta forma, simulado o processo de construção de uma parede simples, sem acabamentos adicionais.

De modo a obter os tempos totais resultantes da produção de uma parede com acabamentos manuais, será necessário adicionar aos tempos de produção obtidos para esta célula que serão apresentados no capítulo seguinte deste documento os tempos de operação manual apropriados.

4.4.7. Posto de Descarga

Posto de trabalho em tudo semelhante ao primeiro posto para carga de estruturas metálicas na passadeira transportadora previamente descrito. Apenas 2 especificidades do programa desenvolvido para este posto valem a pena notar:

- As variáveis do tipo *par_livre* voltam a quantificar o número de posições livre nas pilhas armazenadoras, partindo da capacidade inicial para 10 paredes modulares completas, e a coordenar a translação que o robô deverá fazer segundo o eixo *z* até chegar à posição pretendida. A alteração em relação ao primeiro posto de carga passa por estas variáveis serem agora decrementadas a cada ciclo de trabalho, ao invés de incrementadas.
- Foi assumida a velocidade *v500* para o robô quando transporta uma parede modular acabada. É de esperar que o elevado peso destas peças tenha um efeito mais negativo sobre a velocidade do robô do que aquele que foi apresentado para o posto de carga.

4.4.8. Passadeiras Transportadoras

Antes de tudo mais, será conveniente realizar uma breve contextualização teórica sobre os dois principais métodos de transporte que podem ser encontrados em linhas de montagem, em especial para o caso das passadeiras transportadoras, sejam eles: passadeiras síncronas e assíncronas.

O sistema de passadeiras síncronas consiste num transporte simultâneo, mas intermitente, das peças ao longo dos vários postos de trabalho, podendo ser comparado com um sistema ‘para-arranca’ sincronizado. Nesta metodologia é tomado como referencial o tempo mais elevado gasto por qualquer posto de trabalho existente na célula e, findo este tempo, enviada uma ordem à passadeira para que esta se movimente, transferindo consigo todas as peças para o posto de trabalho consecutivo. As maiores vantagens oferecidas por este sistema são a garantia de que, quando o robô tem que efectuar uma operação na peça, esta já se encontra fixa e correctamente orientada e a respectiva fácil programação, resultado do movimento único da passadeira.

Já em passadeiras assíncronas, verifica-se um movimento independente da passadeira entre cada posto de trabalho. A principal vantagem deste sistema é a eliminação de tempos mortos em que a parede se encontraria parada na linha de montagem sem ser alvo de qualquer operação. Como desvantagens podemos apontar a maior complexidade do sistema e a necessidade de desenvolver uma programação mais cuidada.

Partindo destas considerações, a escolha de sistema a utilizar para o modelo de simulação em desenvolvimento irá recair sobre passadeiras assíncronas, independentes entre postos de trabalho.

Passando para o *software RobotStudio*, temos à disposição dois tipos de ferramentas que permitem simular o movimento das passadeiras transportadoras: mecanismos do tipo *conveyor* e funções *Smart Component*.

Devido às limitações aliadas aos mecanismos *conveyor*, que não permitem paragens da passadeira (inevitáveis para possibilitar a operação de cada robô), coordenação através de sinais *input / output* ou independência entre diferentes postos de trabalho iremos recorrer às funções disponíveis nos *Smart Components*.

Através dos *Smart Components* é possível implementar na linha de montagem um conjunto de funções tais como sensores que detectam quando uma parede modular chega ou parte de cada um dos postos de trabalho, *Linear Movers* que empurram a parede na direcção e velocidades desejadas e filas (*queue*) correspondentes a cada uma das movimentações efectuadas. Refira-se ainda a criação de várias ligações *input / output*, que permitem coordenar correctamente o movimento das passadeiras com o funcionamento dos restantes equipamentos da linha de produção.

Diga-se por ultimo que foi assumido o valor de 1 m/s para a velocidade de movimentação em qualquer etapa de ambas as passadeiras.

5. OBTENÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Explicitada a importância da simulação, introduzido o *software* utilizado e feita uma descrição dos métodos seguidos para obter um modelo adequado ao sistema em questão, é altura de correr uma simulação em *RobotStudio* da célula em S caracterizada na secção 3.4 deste documento.

Ao longo deste capítulo 5 pretende-se proceder a uma melhor caracterização da linha em S, nomeadamente ao nível dos tempos de produção de cada parede modular, dos verdadeiros valores relativos à autonomia da linha ou da taxa de utilização de cada posto de trabalho procurando antever da melhor forma possível o funcionamento e resultados práticos resultantes da implementação desta linha.

Através desta análise pretende-se também chegar a alguma conclusão em relação à única alternativa que ficou em aberto deste a secção desde a secção 3.5 deste documento, ou seja, a remoção ou não dos postos de carga e descarga da linha de montagem.

5.1. Obtenção de Tempos de Produção para Linha em S

Na seguinte tabela podem ser consultados os tempos obtidos graças à simulação criada em *RobotStudio* para os vários postos de trabalho que fazem parte da linha em S:

Operação	Temp.Serv.
Carga de Estruturas	22s
Montagem de "Ripado"	12,8s
Pórtico de Montagem 1	32,1s
Rebite / Fresa	40s
Virador	18s
Pórtico de Montagem 2	32,8s
Rebite 2	22,4s
Descarga de Módulos	18,8s
Tempo Total	216s
Tempo de Ciclo	40s

Tabela 5. Tempos de produção para linha em S

De assinalar que a coluna *Temp.Serv.* exprime os tempos de serviço, ou seja, os tempos requeridos para completar as operações atribuídas a cada um dos postos de trabalho.

A linha tempo total representa o tempo total de produção de uma parede modular, desde o instante em que o robô de carga inicia o seu movimento até ao momento em que o último robô descarrega o módulo completo na zona de armazenamento final. Conclui-se então que o tempo necessário para se produzir uma parede modular segundo esta proposta de *layout* será igual a 216s.

Os tempos gastos em movimentações entre postos de trabalho não estão directamente visíveis na tabela 5 mas o seu efeito pode ser notado se se comparar os tempos de serviço apresentados com o tempo de produção total. De reparar que o valor total obtido para deslocações em passadeiras será substancialmente inferior ao que foi inicialmente previsto (a parede modular percorre 27,5m em passadeiras, o que corresponderia a 27,5seg) devido ao facto da maioria dos robôs da célula iniciar ou concluir a sua rotina com a parede em movimento.

O tempo de ciclo corresponde ao tempo máximo de serviço encontrado para a respectiva linha de montagem. É o tempo barreira que todos os outros postos de trabalho precisam de respeitar de modo a evitar a criação de filas de espera ou de congestionamentos na linha. Segundo os resultados apresentados o tempo de ciclo para esta célula será igual a 40s. Podemos também inferir que este será o intervalo de tempo após o qual poderá ser inserida uma nova parede na linha de montagem.

Na página seguinte poderá consultar-se o diagrama de Gantt, relativo às 5 primeiras paredes a serem fabricadas neste *layout* em S. Antes de mais, será importante mencionar que o diagrama de Gantt é uma representação gráfica muitas vezes utilizada para rapidamente ilustrar as diferentes fases de um projecto através de barras coloridas que representam, neste caso, o tempo que cada parede em construção despenderá em cada um dos postos da linha.

De indicar também que os espaços deixados aquando da transição entre postos de trabalho se relacionam com tempos gastos em passadeiras transportadoras.

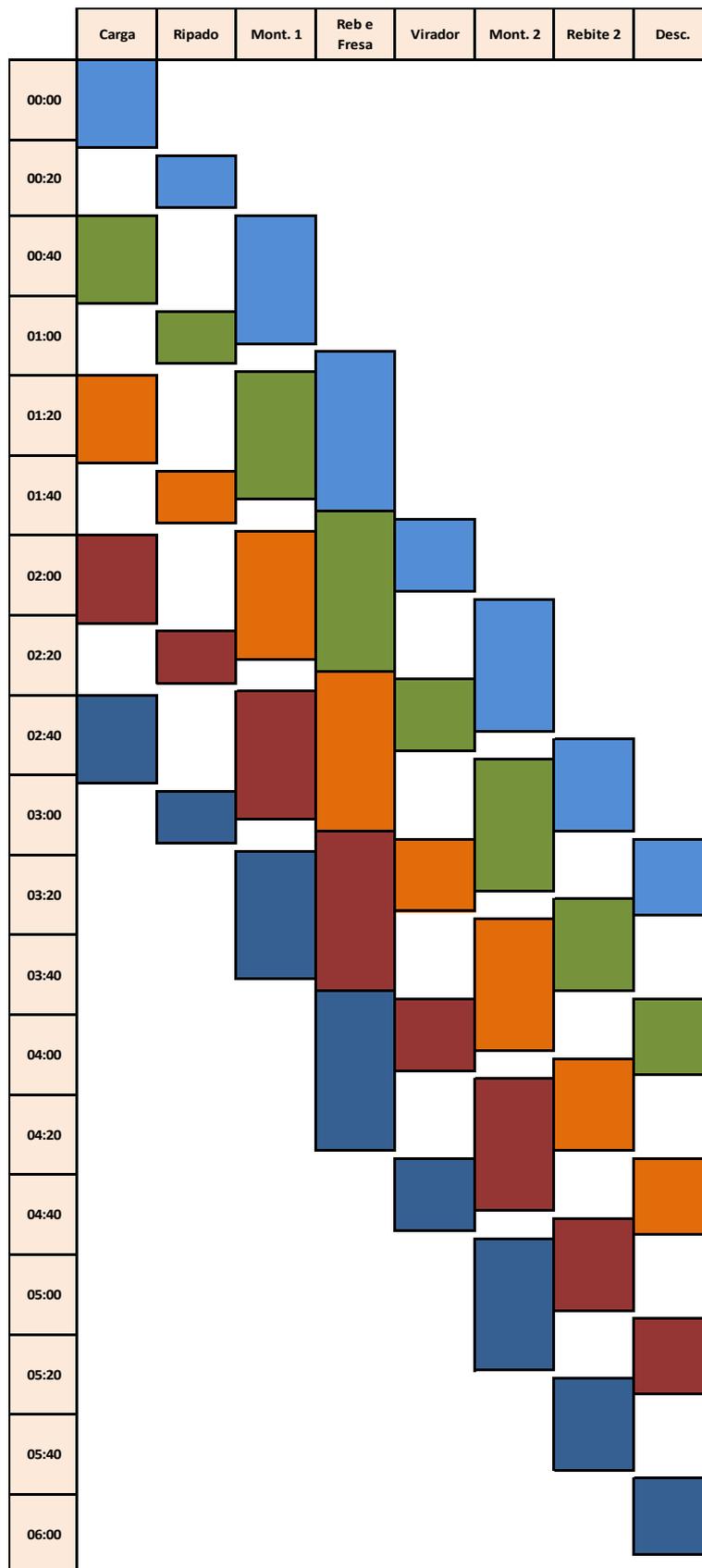


Figura 5.1. Diagrama de Gantt para linha em S

Uma rápida análise deste gráfico permite mais uma vez notar uma grande discrepância entre os tempos de serviços de alguns postos de trabalho. Se por um lado o posto de rebite e fresa se encontra em trabalho constante, por outro podemos verificar que em especial o posto de montagem de “ripado” apresenta uma utilização muito reduzida. Mais ainda, podemos constatar que o posto de entrada na linha e o posto de “ripado” nunca trabalham em simultâneo, tornando por isso óbvia a necessidade de proceder à sua junção num posto único.

Outras das questões levantadas aquando da apresentação de alternativas para o *layout* em S foi a possível remoção da posição de saída da linha e conseqüente junção deste posto com o segundo posto de rebite. Apesar de esta hipótese não ter uma resposta tão clara como a anterior, é de prever que as vantagens recorrentes da eliminação de um posto de trabalho e diminuição da distância total da passadeira e conseqüente minimização de tempos despendidos em movimentações entre postos e libertação de espaço livre no pavilhão possam superar as desvantagens que advém de um eventual tempo de ciclo ligeiramente superior.

5.2. Obtenção de Tempos de Produção para Linha S: v2

De modo a conseguir mais dados para basear uma decisão sobre esta hipótese foi efectuada uma nova simulação em *RobotStudio*, desta vez para a segunda versão da linha de produção em S agora desprovida de postos de entrada e saída da linha, obtendo-se os resultados em seguida tabelados:

Operação	Temp.Serv.
Carga e Mont. de “Ripado”	34,8s
Pórtico de Montagem 1	32,1s
Rebite / Fresa	40s
Virador	18s
Pórtico de Montagem 2	32,8s
Rebite 2 e Descarga	41,2s
Tempo Total	211,7s
Tempo de Ciclo	41,2s

Tabela 6. Tempos de produção para linha em S: v2

O diagrama de Gantt relativo a esta segunda hipótese da linha em S poderá ser consultado na página seguinte:

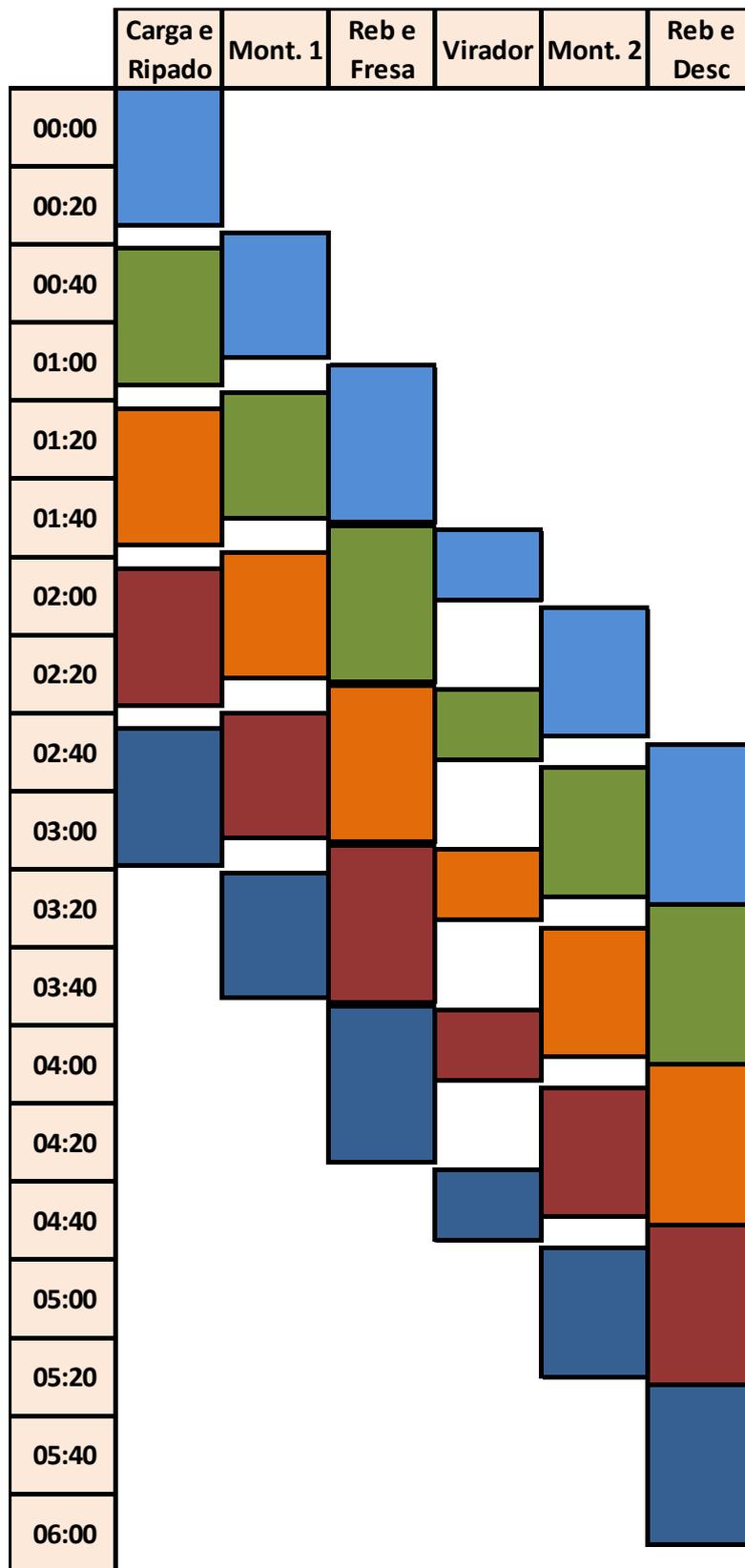


Figura 5.2. Diagrama de Gantt para linha em S: v2

Através da tabela e diagrama expostos é possível desde já tirar algumas ilações sobre o funcionamento da segunda linha em S estudada. Desde logo, é visível que os tempos entre diferentes postos de trabalho estão muito melhor equilibrados, aproximados entre si. Com a exceção do posto de viragem, não se vislumbram muitos tempos mortos nos restantes postos da linha, resultando numa elevada taxa de utilização de cada um dos equipamentos da linha.

Podemos também reparar que, tal como foi previsto anteriormente, houve uma ligeira diminuição no tempo despendido por cada parede modular na linha de produção, algo que foi balanceado com o aumento do tempo de ciclo. No entanto, se compararmos o tempo de produção de 5 módulos na segunda linha (376,5s) com aquele que foi obtido na primeira linha em S (376s) podemos ver que estes são praticamente equivalentes, não podendo ser por isso um significativo factor de decisão entre qual destes dois *layouts* adoptar.

Equiparados os tempos de produção, sobram então as vantagens resultantes da poupança de espaço de pavilhão para outros eventuais usos por parte da segunda alternativa de linha em S. Assim, podemos concluir que a remoção dos postos de entrada e saída da linha de montagem é benéfica no sentido da sua optimização segundo os critérios inicialmente definidos.

5.3. Estudo da Autonomia da Linha em S: v2

De modo a conseguir analisar a autonomia da linha em estudo, será primeiro necessário definir qual a capacidade de carga de cada um dos locais de armazenamento existentes. Para o efeito, procedeu-se ao teste em *RobotStudio* de qual seria a máxima altura de pilha a que cada um dos robôs conseguirá aceder.

Assumindo então o tempo de ciclo anteriormente calculado para esta versão 2 da linha em S (41.2seg), ou seja, o intervalo de tempo após o qual será consumida mais uma das placas de cada um dos componentes utilizados, podemos chegar a resultados correspondentes ao valor da durabilidade de cada uma das pilhas existentes na linha de montagem.

Os números obtidos encontram-se em seguida tabelados:

	Componente	Esp. Placa	Alt. Pilha (mm)	N.º Pilhas	Cap. Armazem	Autonomia (min)
	Estrutura Metálica	210	2100	2	20	13,7
	"Ripado"	30	1500	1	50	34,3
MONT. 1	OSB	12	1500	1	125	85,8
	Lã de Rocha	30	1500	1	50	34,3
	Euronite	8	1500	1	188	129,1
MONT. 2	OSB	12	1500	1	125	85,8
	Lã de Rocha	30	1500	1	50	34,3
	Gesso	8	1500	1	188	129,1
	Parede Modular	270	2160	2	16	11

Tabela 7. Capacidade de armazenamento da linha de montagem

Em primeiro lugar, é importante esclarecer que estes valores supõem que os reabastecimentos serão efectuados quando cada uma das pilhas de componentes se encontra completamente vazia (ou cheia, para o caso das paredes modulares completas) e que trazem componentes suficientes para restaurar o estado inicial da pilha, ou seja, preencher a totalidade da sua capacidade de armazenamento.

Desde logo, estes resultados permitem traduzir em números uma das preocupações desde cedo levantadas acerca desta proposta de *layout*: a baixa autonomia dos armazenamentos de estruturas metálicas e paredes modulares completas, igual a 13,7min e a 11m respectivamente.

Mais ainda, quando se toma também em atenção as necessidades de todas as outras pilhas, esta exigência de reabastecimentos constantes levanta mais algumas considerações

a ter em conta caso se deseje manter a dita linha de produção em funcionamento constante durante longos períodos de tempo, sejam elas:

- Reserva de zonas de armazenamento adicionais, dentro ou fora do pavilhão já existente, de modo a possibilitar a manutenção de *stocks* suficientes para sustentar uma plena utilização da linha;
- Contratação de um operador a tempo inteiro, responsável por conduzir a empilhadora e proceder a todos estes reabastecimentos. Dependendo da localização dos *stocks* adicionais previamente introduzidos, poderá mesmo ser necessário adquirir um segundo operador e respectivo empilhador.

5.4. Simulação de Um Dia de Trabalho

Finalmente, serão transferidos os tempos anteriormente definidos para a criação de um modelo que permita analisar o funcionamento do segundo *layout* sob a forma de S durante todo um horário normal de um dia de trabalho, ou seja, 8 horas de funcionamento contínuo.

Para tal, surge a necessidade de recorrer a um novo *software* de simulação, o SIMUL8, em seguida introduzido.

5.4.1. *Software*: SIMUL8

O *software* SIMUL8 é uma das várias soluções disponíveis caso se deseje proceder à simulação de um sistema de operações. Este *software* em particular possui uma interface muito gráfica e controlos simples e intuitivos que permitem, ao evitar procedimentos demasiado avançados tecnicamente, colocar a simulação de sistemas complexos ao alcance de qualquer utilizador.

O modelo SIMUL8 será então uma animação do conjunto de operações a efectuar na linha de montagem em estudo, ao longo de qualquer quantidade de ciclos de produção pretendidos.

Em seguida encontram-se listadas as principais funções SIMUL8 que foram utilizadas no sentido da criação do modelo de simulação a analisar:

- **Work Entry Point** – Representa a chegada de objectos a ser trabalhados à linha de montagem;
- **Work Center** – Cada um dos postos de trabalho relativos ao trabalho analisado, assim como os respectivos tempos de serviço, são retratados num ponto *work center* individual;
- **Storage Bin** – Desempenham a função de áreas de armazenamento existentes na linha de produção ou de locais em geral onde os objectos esperam o seu processamento;
- **Work Exit Point** – Local de chegada onde os objectos que concluíram o seu trajecto ao longo da linha de montagem abandonam o sistema.

5.4.2. Modelo SIMUL8 Desenvolvido

Através da simulação de um dia completo de trabalho através do modelo SIMUL8 desenvolvido pretende-se chegar a alguns resultados como o nível da taxa de utilização de cada posto de trabalho ou o valor total de módulos construídos no dado período de tempo.

De referir que, e considerando que o único objectivo desta simulação será concluir acerca destes dois factores, o modelo SIMUL8 criado encontra-se bastante simplificando, tendo-se assumido os seguintes factos:

- Não existem quaisquer falhas de reabastecimento, ou seja, a qualquer momento estão disponíveis na linha de montagem todos os componentes requeridos à montagem de uma parede modular;
- A linha de montagem encontra-se em pleno funcionamento durante a totalidade do período simulado;
- Uma estrutura metálica entra na linha de montagem a cada 41.2s, tempo de ciclo previamente calculado;
- Mais uma vez o posto de operador será apenas representado simbolicamente, sem qualquer tempo de operação associado;
- Para as operações de cada posto de trabalho, assim como para todas as movimentações intermédias por via de passadeiras transportadoras foram utilizados os valores resultantes da simulação *RobotStudio*.

5.4.3. Análise de Resultados

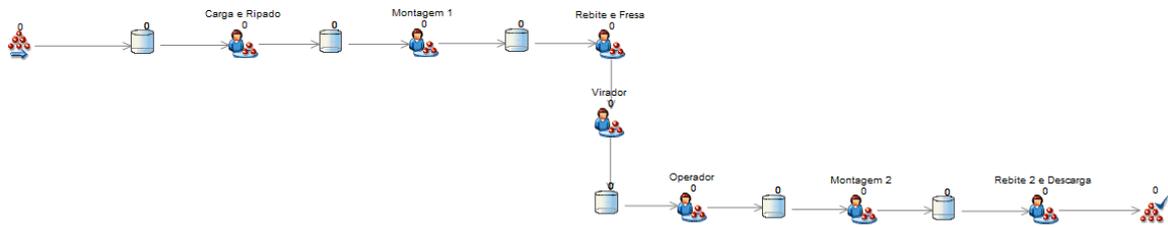


Figura 5.3. Estado inicial do modelo SIMUL8

De notar apenas que cada uma das filas de espera utilizadas para este modelo representa cada uma das movimentações por passareiras transportadoras a realizar entre postos de trabalho. Esta simbolização foi necessária de modo a definir tempos de transição entre diferentes postos e a limitar o número de objectos que podem efectuar essa transição simultaneamente a apenas um.



Figura 5.4. Estado final do modelo SIMUL8

Em primeiro lugar, podemos destacar dois resultados deste modelo relacionados com o sistema em geral:

- O tempo despendido por cada módulo semiconstruído na linha de montagem é igual a 211,7s, comprovando o valor anteriormente apresentado;
- São produzidas 693 paredes modulares ao longo de 8h de pleno funcionamento da linha.

Em relação às taxas de utilização de cada posto de trabalho os seguintes valores foram obtidos:

	Taxa de Utilização
Posto de Carga e Montagem de "Ripado"	84,35%
Primeiro Posto de Montagem	77,70%
Posto de Rebitagem e Fresagem	96,71%
Posto de Viragem	43,48%
Segundo Posto de Montagem	79,15%
Posto de Rebitagem e Descarga	99,26%

Tabela 8. Taxa de utilização de postos de trabalho na linha em S: v2

A principal conclusão a retirar destes valores será a elevada eficiência do sistema derivada do facto de todos os postos de trabalho apresentarem altas taxas de utilização dos seus equipamentos devido à correcta equilibragem da linha de montagem anteriormente conseguida.

Será também importante verificar que, completas as 8 horas de trabalho, 6 paredes modulares semiconstruídas se encontram ainda na linha de montagem, uma em cada um dos postos de trabalho efectivamente considerados. É aconselhável que esta situação seja precavida aquando da implementação do sistema na prática, quer seja através da permissão em concluir a produção destes 6 módulos ou por intermédio do bloqueio da carga de novas estruturas na linha de produção algum tempo antes do final do período de trabalho definido.

Finalmente, de mencionar apenas que, ao contrário do que seria esperado para o posto de rebitagem e descarga da linha, o valor da sua taxa de utilização não é igual a 100%. Tal facto resulta dos instantes iniciais de funcionamento da linha em que este posto espera pelo primeiro módulo parede a trabalhar.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O objectivo principal deste trabalho foi alcançado com a concepção, estudo e caracterização uma linha de montagem de paredes modulares que proporcionasse o melhor desempenho possível em termos de tempos de produção, flexibilidade do processo de produção, custos associados e adaptação ao pavilhão existente.

Será importante salientar a importância de estudos anteriormente desenvolvidos por alunos do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, mencionados na bibliografia, que serviram como suporte ao trabalho aqui apresentado, nomeadamente ao nível da definição do produto *CoolHaven* e dos processos de fabrico de paredes modulares além dos primeiros exemplos de linhas de montagem propostos facilitaram os momentos iniciais de abordagem ao tema da presente tese.

Desta forma, estando completa esta análise inicial, foi possível ao longo deste documento avançar para um estudo mais aprofundado acerca do referido processo de produção, tanto ao nível da concepção de uma linha de montagem que se espera poder estar bastante aproximada daquela que será efectivamente implementada pelo cliente *CoolHaven* como da obtenção de tempos de produção e de indicadores de rendimento da linha fidedignos, tais como autonomia ou taxas de utilização dos diversos equipamentos.

Assim, no decorrer da execução da presente tese de mestrado foi em primeiro lugar estudado um conjunto de *layouts*, no sentido de procurar aquele que melhor se adaptasse às dimensões do armazém, permitindo não só uma correcta disposição da linha mas também a reserva de locais de armazenamento apropriados e que reduzisse os custos de implementação da linha através do recurso a menos equipamentos.

Esgotada a capacidade de análise de propostas somente esquematizados no papel, procedeu-se então à modelização da melhor hipótese obtido até então, a linha em S, em *RobotStudio*, um *software* adequado ao estudo de células de produção robotizadas, no sentido de conseguir prever mais eficazmente o funcionamento da linha e de procurar eventuais melhoramentos.

Graças a este modelo de simulação foi então possível conferir que seria vantajoso remover os postos de entrada e saída da linha de montagem, procedendo à adição destas tarefas aos postos de montagem de ripado e de rebitagem, respectivamente. Avançou-se

então para uma segunda versão da linha em S, aquela que se pode concluir como sendo a melhor proposta encontrada para o processo de produção estudado.

Também através deste procedimento de simulação foi possível encontrar dois importantes valores referentes a esta linha de produção: cada parede modular em processo de fabrico passa 211,7s entre os diferentes postos de montagem e, estando a linha de produção em pleno funcionamento, será completa uma nova parede a cada 41,2s.

No entanto, algumas das hipóteses propostas como possíveis melhoramentos à linha de montagem foram deixadas em aberto, principalmente devido a falta de informação. Em especial o recurso a rebitadores em linha, um equipamento que poderia possibilitar a redução de tempos de operação no posto de rebitagem e fresagem, o mais moroso da linha, deverá ser um dos primeiros focos de estudo em posteriores trabalhos.

Dependendo da necessidade da *CoolHaven* em manter um fluxo de produção máximo ao longo de extensos períodos de tempo poderá ser requerido lançar um olhar mais cuidado sobre os processos de reabastecimento da linha, nomeadamente ao nível do armazenamento de *stocks* adicionais, levantamento de tempos de reabastecimento e definição do número de operadores e respectivos empilhadores necessários.

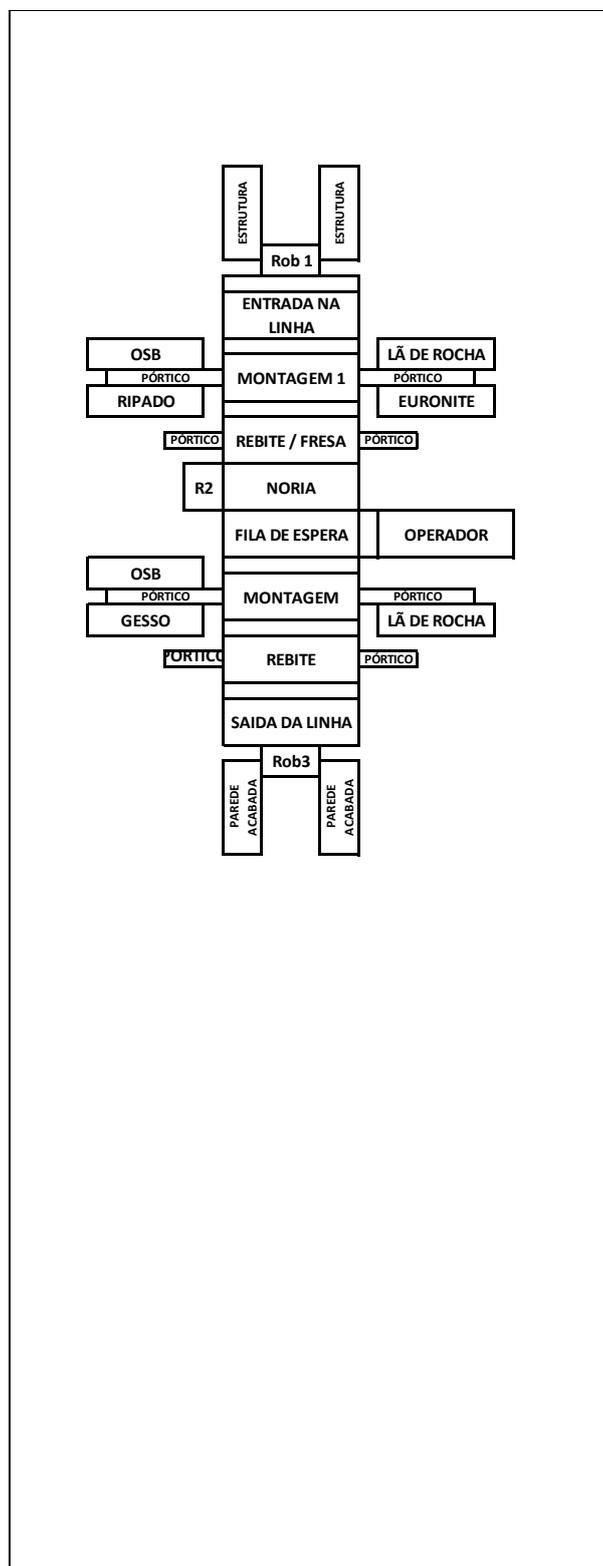
Por último, talvez uma sequência mais interessante ao estudo aqui desenvolvido possa vir a ser um acompanhamento prático da real implementação desta linha de produção.

Foi assim possível, ao longo do estudo realizado, obter uma visão global acerca de todos os pormenores que devem ser pensados aquando da concepção de uma linha de montagem, desde desenhos de *layouts* a considerações sobre autonomia, níveis de *stocks* e processos de reabastecimento apropriados, passando pela simulação computacional do sistema e pela escolha, programação e integração dos diversos equipamentos envolvidos.

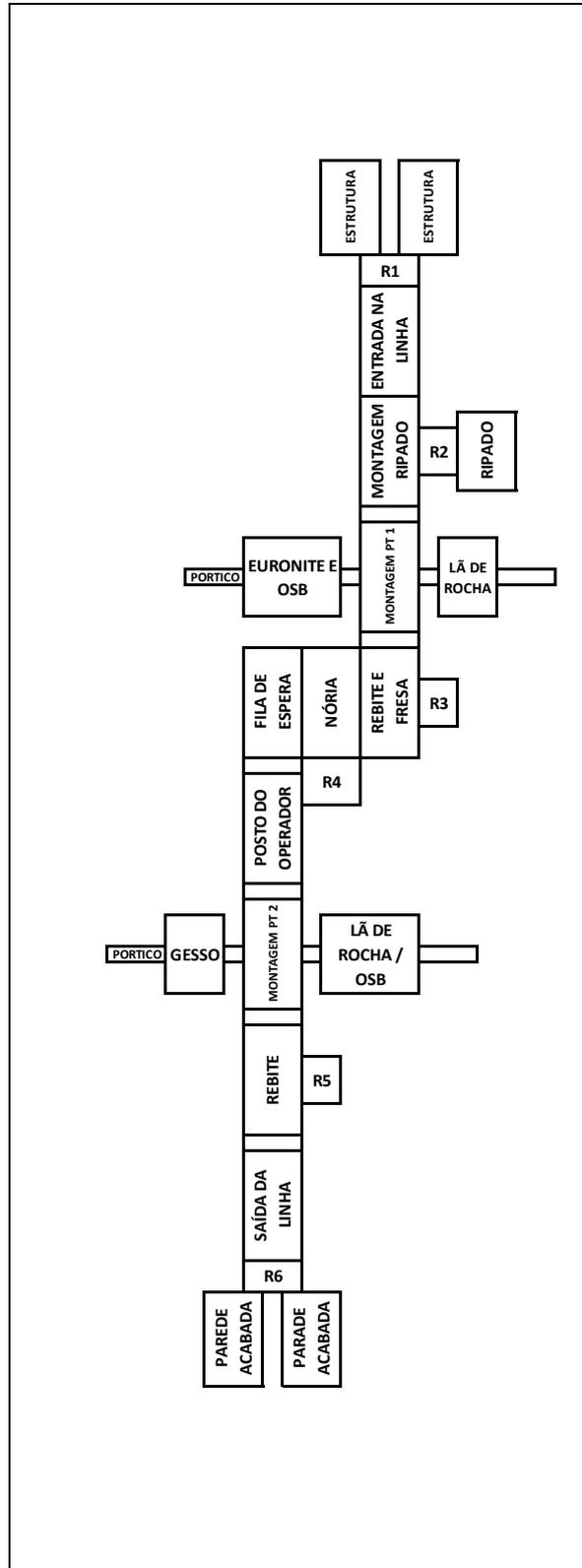
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB (2013). Acedido desde Fevereiro de 2013 em: <http://www.abb.pt/product/us/9AAC100735.aspx>
- ABB (2013), “Operating Manual: RobotStudio”. Acedido desde Janeiro de 2013 em [http://www05.abb.com/global/scot/scot352.nsf/veritydisplay/23a8401307d5d60ac1257b5000413673/\\$file/3HAC032104-en.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot352.nsf/veritydisplay/23a8401307d5d60ac1257b5000413673/$file/3HAC032104-en.pdf)
- CoolHaven (2013). Acedido desde Janeiro de 2013 em <http://www.coolhaven.pt/home.php>
- Fibrosom (2013). Acedido desde Janeiro de 2013 em <http://www.fibrosom.com/materiais.aspx?art=6>
- Fu, Gonzalez, Lee e MacGraw Hill (1987), “Robotics – Control, Sensing, Vision and Intelligence”, Robot Institute of America
- Futureng (2003). Acedido a Janeiro de 2013 em <http://www.futureng.pt/osb>
- Güdel (2012). Acedido desde Fevereiro de 2013 em: <http://www.gudel.com/>
- Hunt, V. Daniel (1983). “Industrial Robotics Handbook”, New York: Industrial Press INC.
- IPN – Instituto Pedro Nunes (2013). Acedido desde Fevereiro de 2013 em <https://www.ipn-incubadora.pt/si/initapplication.do>
- Moita, Nuno J.E.S. (2009), “Concepção e Simulação de uma Célula Robotizada para Acabamentos de Solas de Calçado”, Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Neto, Pedro M.S. (2012), slides de apoio à unidade curricular “Produção Assistida por Computador”, Universidade de Coimbra
- Oliveira, Vânia (2012), “Desenvolvimento de uma Linha de Fabrico de Módulos Parede para Casas CoolHaven”, Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade de Coimbra
- SARKKIS (2013). Acedido desde Janeiro de 2013 em <http://www.sarkkis.com/>
- Silva, Ana Rute (2013, 3 de Julho), “Construção Civil cai 15% e está à beira do colapso”. Acedido a 4 de Julho em: <http://www.publico.pt/economia/noticia/construcao-civil-cai-15-e-esta-em-risco-de-colapso-1599106>
- Silva, Cristovão (2011), slides de apoio à unidade curricular “Gestão de Operações”, Universidade de Coimbra
- Silva, Cristovão (2011), slides de apoio à unidade curricular “Simulação de Operações”, Universidade de Coimbra
- SIMUL8 (2013). Acedido desde Junho de 2013 em <http://www.simul8.com/>

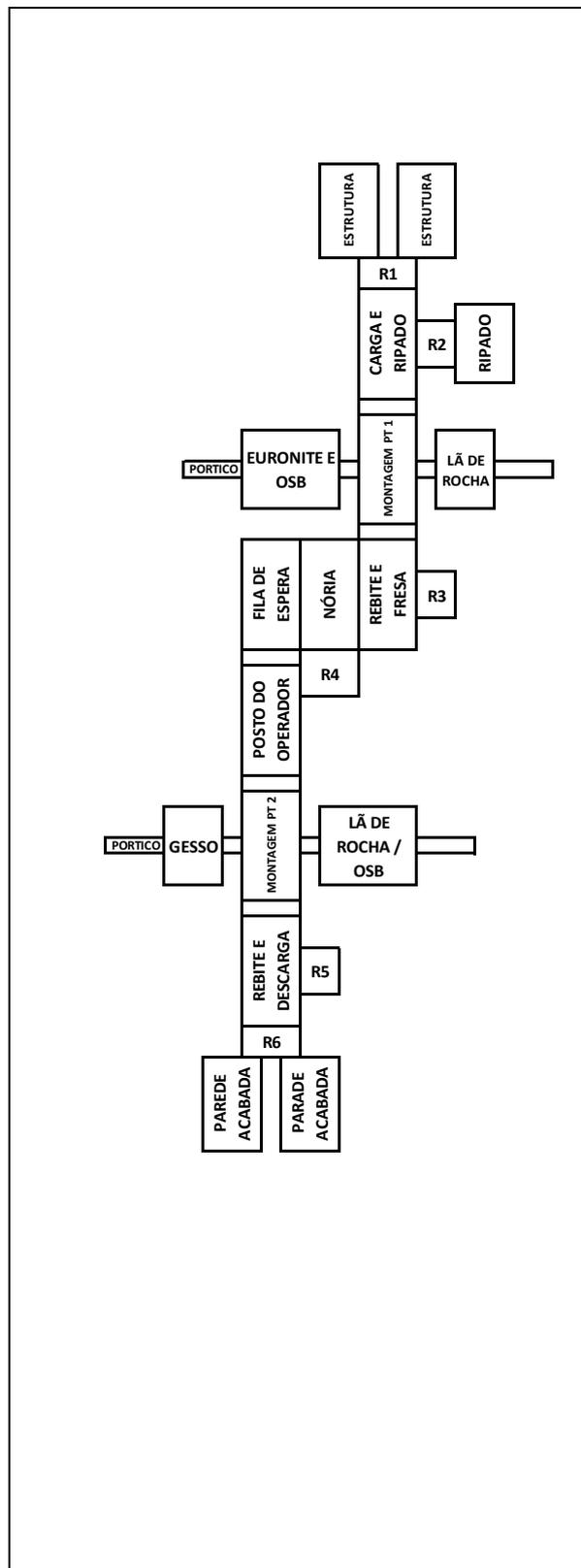
ANEXO A – LAYOUT EM LINHA



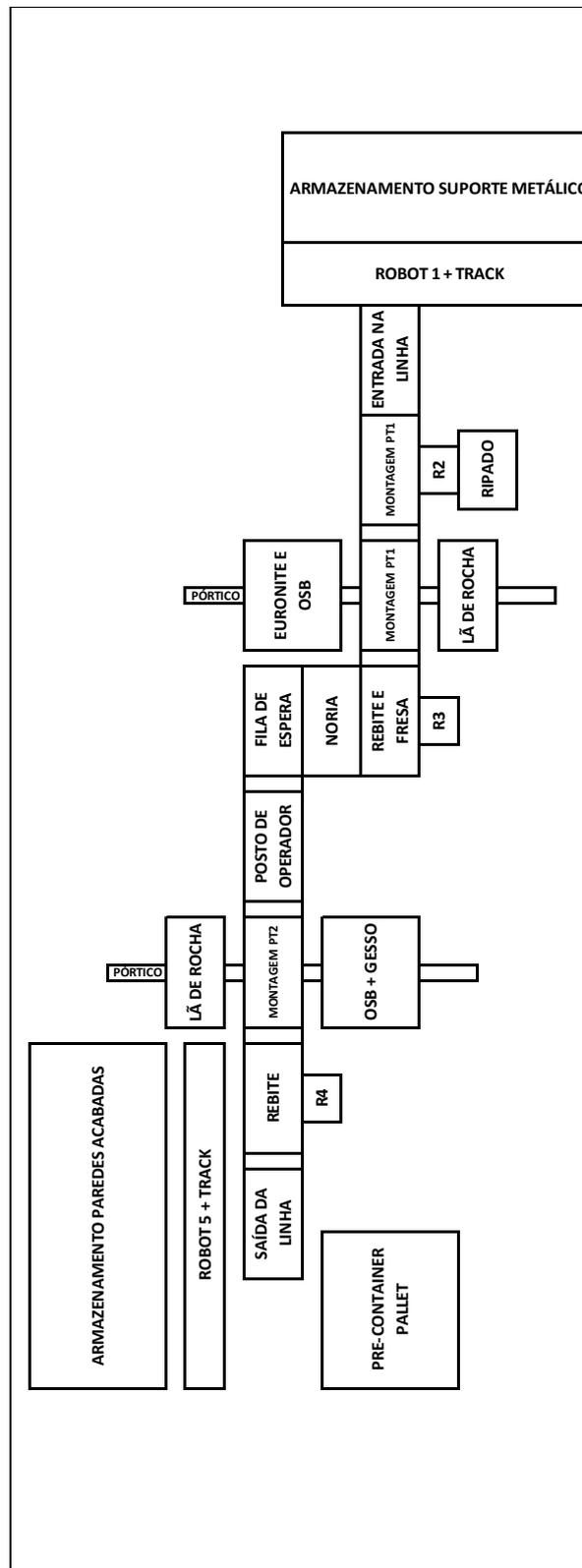
ANEXO B – LAYOUT EM S



ANEXO C – LAYOUT EM S: VERSÃO 2



ANEXO D – LAYOUT EM S COM ARMAZENAMENTO



ANEXO E – CÓDIGO RAPID PARA POSTO DE CARGA

```
1  MODULE Module1
2  ▢ PERS num est_livre_1 := 0;
3  PERS num est_livre_2 := 0;
4  PERS num z_est1 := 0;
5  PERS num z_est2 := 0;
6  CONST robtarget StartPos:=[[10410,9750,2157],[0,1,0,0],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
7  CONST robtarget Target_10:=[[11250,9750,570],[0,-0.707106781,0.707106781,0],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
8  CONST robtarget Target_20:=[[11250,9750,820],[0,-0.707106781,0.707106781,0],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
9  CONST robtarget Target_40:=[[6250,8950,1410],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-2,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
10 CONST robtarget Target_30:=[[6250,8950,1170],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-2,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
11 CONST robtarget Target_60:=[[6250,10550,1410],[0,0.707106781,0.707106781,0],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
12 CONST robtarget Target_50:=[[6250,10550,1200],[0,0.707106781,0.707106781,0],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
13
14 ▢PROC main()
15   WaitDI diPickEstrutura, 1;
16   SetDO doStartWatch, 1;
17   z_est1 := - est_livre_1 * 210;
18   z_est2 := - est_livre_2 * 210;
19   ▢ IF z_est1 >= - 840 THEN
20     PickEst_P1;
21   ▢ ELSEIF z_est2 >= - 840 THEN
22     PickEst_P2;
23   ▢ ENDIF
24 ▢ ENDPROC
25
26
27 ▢PROC PickEst_P1()
28   ConFL\Off;
29   MoveJ StartPos, v1000, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
30   MoveJ Target_40, v1000, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
31   z_est1 := - est_livre_1 * 210;
32   MoveJ Offs (Target_30,0,0,z_est1), v1000, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
33   SetDO doAttach, 1;
34   WaitDO doAttach, 1;
35   est_livre_1 := est_livre_1 + 1;
36   MoveJ Target_40, v600, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
37   MoveJ Target_20, v600, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
38   MoveJ Target_10, v600, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
39   Reset doAttach;
40   SetDO doDetach, 1;
41   WaitDO doDetach, 1;
42   MoveJ Target_20, v1000, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
43   Reset doDetach;
44   Reset doStartWatch;
45   MoveJ StartPos, v1000, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
46 ▢ ENDPROC
47
48 ▢PROC PickEst_P2()
49   ConFL\Off;
50   MoveJ StartPos, v1000, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
51   MoveJ Target_60, v1000, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
52   z_est2 := - est_livre_2 * 210;
53   MoveJ Offs (Target_50,0,0,z_est2), v1000, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
54   SetDO doAttach, 1;
55   WaitDO doAttach, 1;
56   est_livre_2 := est_livre_2 + 1;
57   MoveJ Target_60, v1000, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
58   MoveJ Target_20, v1000, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
59   MoveJ Target_10, v1000, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
60   Reset doAttach;
61   SetDO doDetach, 1;
62   WaitDO doDetach, 1;
63   MoveJ Target_20, v1000, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
64   Reset doDetach;
65   Reset doStartWatch;
66   MoveJ StartPos, v1000, fine, Gripper_carga\WObj:=wobj_carga;
67 ▢ ENDPROC
68
69
70
71 ▢ ENDMODULE
```

ANEXO F – CÓDIGO RAPID PARA POSTO DE MONTAGEM DE RIPADO

```

1  MODULE Module1
2  ▢ CONST robtarget StartPos:=[[14750,9325.5,1632.5],[0.35,0.61,0.61,-0.35],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
3  CONST robtarget Target_10:=[[14770,9800,675],[0,1,0,0],[0,-1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
4  CONST robtarget Target_20:=[[14770,9800,885],[0,1,0,0],[0,-1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
5  CONST robtarget Target_40:=[[14800,12250,1250],[0,0,1,0],[1,-1,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
6  CONST robtarget Target_30:=[[14800,12250,605],[0,0,1,0],[1,-1,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
7  CONST robtarget Target_50:=[[14800,12300,535],[0,0,1,0],[1,-1,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
8  PERS num rip_pilha := 0;
9  PERS num z_rip := 0;
10
11
12 ▢PROC main()
13   Pick_Ripado;
14 ▢ENDPROC
15
16 ▢PROC Pick_Ripado()
17   Confl\Off;
18   WaitDI diStartRipado,1;
19   SetDO doStartWatchRip, 1;
20   MoveJ StartPos,v1000,fine,Gripper_Ripado_1\WObj:=Wobj_ripado;
21   MoveJ Target_40,v1000,fine,tool0\WObj:=Wobj_ripado;
22   z_rip := - rip_pilha * 35;
23   MoveJ Offs(Target_30,0,0,z_rip),v1000,fine,tool0\WObj:=Wobj_ripado;
24   rip_pilha := rip_pilha + 1;
25   SetDO doAttachRip,1;
26   WaitDO doAttachRip,1;
27   MoveJ Target_40,v1000,fine,tool0\WObj:=Wobj_ripado;
28   MoveJ Target_20,v1000,fine,tool0\WObj:=Wobj_ripado;
29   MoveJ Target_10,v1000,fine,tool0\WObj:=Wobj_ripado;
30   Reset doAttachRip;
31   SetDO doDetachRip,1;
32   WaitDO doDetachRip,1;
33   MoveJ Target_20,v1000,fine,Gripper_Ripado_1\WObj:=Wobj_ripado;
34   Reset doDetachRip;
35   MoveJ StartPos,v1000,fine,Gripper_Ripado_1\WObj:=Wobj_ripado;
36   SetDO doRipadoDone,1;
37   Reset doRipadoDone;
38   Reset doStartWatchRip;
39 ▢ENDPROC
40
41
42
43 ENDMODULE

```

ANEXO G – CÓDIGO RAPID PARA POSTO DE REBITE E FRESA

```
1  MODULE Module1
2  ▢ CONST robtarget StartPos:=[[22750,9505.10,1555.14],[0.13,0.69,0.69,-0.13],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
3  CONST robtarget Target_10:=[[21550,10350,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-1,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
4  CONST robtarget Target_20:=[[21550,9750,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
5  CONST robtarget Target_30:=[[21550,9150,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
6  CONST robtarget Target_40:=[[22750,10350,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
7  CONST robtarget Target_50:=[[22750,9750,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
8  CONST robtarget Target_90:=[[23950,9150,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,-1,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
9  CONST robtarget Target_70:=[[23950,10350,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,-1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
10 CONST robtarget Target_60:=[[22750,9150,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
11 CONST robtarget Target_80:=[[23950,9750,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,-1,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
12
13 ▢PROC Rebite_Fresa()
14   ConfL\Off;
15   WaitDI diStartReb1,1;
16   SetDO doStartWatchReb1, 1;
17   MoveJ StartPos,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
18   MoveJ Target_10,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
19   WaitTime 1;
20   MoveJ Target_20,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
21   WaitTime 1;
22   MoveJ Target_30,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
23   WaitTime 1;
24   MoveJ Target_40,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
25   WaitTime 1;
26   MoveJ Target_50,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
27   WaitTime 1;
28   MoveJ Target_60,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
29   WaitTime 1;
30   MoveJ Target_70,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
31   WaitTime 1;
32   MoveJ Target_80,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
33   WaitTime 1;
34   MoveJ Target_90,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
35   WaitTime 1;
36   MoveJ StartPos,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
37   WaitTime 3;
38   MoveJ Target_10,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
39   WaitTime 1;
40   MoveJ Target_30,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
41   WaitTime 1;
42   MoveJ Target_90,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
43   WaitTime 1;
44   MoveJ Target_70,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
45   WaitTime 1;
46   MoveJ StartPos,v1000,fine,MyTool\WObj:=wobj_reb1;
47   SetDO doReb1Done,1;
48   Reset doReb1Done;
49   Reset doStartWatchReb1;
50 ENDPROC
51 ▢PROC main()
52   Rebite_Fresa;
53 ENDPROC
54
55
56 ENDMODULE
```

ANEXO H – CÓDIGO RAPID PARA POSTO DE VIRAGEM

```

1  MODULE Module1
2  ▢ CONST robtarget StartPos:=[[22646.453208943,8250,2296.249755859],[0,0.866025404,0,-0.5],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
3  ▢ CONST robtarget Target_40:=[[22750,9750,820],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-1,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
4  ▢ CONST robtarget Target_50:=[[22750,9750,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-1,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
5  ▢ CONST robtarget Target_30:=[[22750,8250,1750],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-1,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
6  ▢ CONST robtarget Target_20:=[[22750,8250,1050],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-1,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
7  ▢ CONST robtarget Target_70:=[[22750,6675,820],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,-1,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
8  ▢ CONST robtarget Target_60:=[[22750,6675,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,-1,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
9
10
11 ▢PROC Path_Virador()
12     ConflOff;
13     WaitDI diStartVirador, 1;
14     SetDO doStartWatchVira, 1;
15     MoveJ StartPos,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_vira;
16     MoveJ Target_40,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_vira;
17     MoveJ Target_50,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_vira;
18     SetDO doAttachPassadeira, 1;
19     WaitDO doAttachPassadeira, 1;
20     MoveJ Target_40,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_vira;
21     MoveJ Target_30,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_vira;
22     MoveJ Target_20,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_vira;
23     Reset doAttachPassadeira;
24     SetDO doDetachV, 1;
25     WaitDO doDetachV, 1;
26     MoveJ Target_30,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_vira;
27     SetDO doMoveNoria, 1;
28     WaitDI diContinueVirador, 1;
29     MoveJ Target_20,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_vira;
30     Reset doDetachV;
31     SetDO doAttachNoria, 1;
32     WaitDO doAttachNoria, 1;
33     MoveJ Target_30,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_vira;
34     SetDO doResetNoria, 1;
35     MoveJ Target_70,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_vira;
36     MoveJ Target_60,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_vira;
37     Reset doAttachNoria;
38     SetDO doDetachV, 1;
39     WaitDO doDetachV, 1;
40     MoveJ Target_70,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_vira;
41     Reset doDetachV;
42     Reset doResetNoria;
43     SetDO doMovePass2, 1;
44     MoveJ StartPos,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_vira;
45     Reset doMovePass2;
46     Reset doStartWatchVira;
47 ENDPROC
48
49 ▢PROC main()
50     Path_Virador;
51 ENDPROC
52
53
54 ENDMODULE

```

ANEXO I – CÓDIGO RAPID PARA POSTO DE REBITE

```
1 MODULE Module1
2   □ CONST robtarget StartPos:=[[34750,7255.10,1555.14],[0.13,0.69,0.69,-0.13],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
3   CONST robtarget Target_10:=[[33550,8275,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-1,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
4   CONST robtarget Target_20:=[[33550,7675,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
5   CONST robtarget Target_30:=[[33550,7075,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
6   CONST robtarget Target_40:=[[34750,8275,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
7   CONST robtarget Target_50:=[[34750,7675,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
8   CONST robtarget Target_60:=[[34750,7075,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
9   CONST robtarget Target_70:=[[35950,8275,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,-1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
10  CONST robtarget Target_80:=[[35950,7675,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,-1,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
11  CONST robtarget Target_90:=[[35950,7075,610],[0,0.707106781,0.707106781,0],[0,-1,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
12
13 □ PROC Rebite2()
14   Confl\Off;
15   WaitDI diStartReb2,1;
16   SetDO doStartWatchReb2, 1;
17   MoveJ StartPos,v1000,fine,MyTool\WObj:=wob_reb2;
18   MoveJ Target_10,v1000,fine,MyTool\WObj:=wob_reb2;
19   WaitTime 1;
20   MoveJ Target_20,v1000,fine,MyTool\WObj:=wob_reb2;
21   WaitTime 1;
22   MoveJ Target_30,v1000,fine,MyTool\WObj:=wob_reb2;
23   WaitTime 1;
24   MoveJ Target_40,v1000,fine,MyTool\WObj:=wob_reb2;
25   WaitTime 1;
26   MoveJ Target_50,v1000,fine,MyTool\WObj:=wob_reb2;
27   WaitTime 1;
28   MoveJ Target_60,v1000,fine,MyTool\WObj:=wob_reb2;
29   WaitTime 1;
30   MoveJ Target_70,v1000,fine,MyTool\WObj:=wob_reb2;
31   WaitTime 1;
32   MoveJ Target_80,v1000,fine,MyTool\WObj:=wob_reb2;
33   WaitTime 1;
34   MoveJ Target_90,v1000,fine,MyTool\WObj:=wob_reb2;
35   WaitTime 1;
36   MoveJ StartPos,v1000,fine,MyTool\WObj:=wob_reb2;
37   SetDO doReb2Done,1;
38   Reset doReb2Done;
39   Reset doStartWatchReb2;
40   ENDPROC
41 □ PROC main()
42   Rebite2;
43   ENDPROC
44
45
46   ENDMODULE
```

ANEXO J – CÓDIGO RAPID PARA POSTO DE DESCARGA

```

1  MODULE Module1
2  ▢ PERS num par_livre_1 := 5;
3  PERS num par_livre_2 := 5;
4  PERS num z_par1 := 0;
5  PERS num z_par2 := 0;
6  CONST robtarget StartPos:=[[39310,7675,1626.999511719],[0,1,0,0],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
7  CONST robtarget Target_20:=[[38750,7675,810],[0,-0.707106781,0.707106781,0],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
8  CONST robtarget Target_10:=[[38750,7675,610],[0,-0.707106781,0.707106781,0],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
9  CONST robtarget Target_40:=[[43450,6975,1400],[0,0.707106781,0.707106781,0],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
10 CONST robtarget Target_30:=[[43450,6975,1200],[0,0.707106781,0.707106781,0],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
11 CONST robtarget Target_60:=[[43450,8375,1400],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-2,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
12 CONST robtarget Target_50:=[[43450,8375,1200],[0,0.707106781,0.707106781,0],[-2,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
13
14
15 ▢PROC main()
16     WaitDI diStartDescarga, 1;
17     SetDO doStartWatchDesc, 1;
18     ▢ IF par_livre_1 >= 1 THEN
19         Drop_P1;
20     ELSEIF par_livre_2 >= 1 THEN
21         Drop_P2;
22     ENDIF
23 ENDPROC
24
25 ▢PROC Drop_P1()
26     ConFL\Off;
27     WaitDI diStartDescarga,1;
28     MoveJ StartPos,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
29     MoveJ Target_20,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
30     MoveJ Target_10,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
31     SetDO doAttachD,1;
32     WaitDO doAttachD,1;
33     par_livre_1 := par_livre_1 - 1;
34     MoveJ Target_20,v500,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
35     MoveJ Target_40,v500,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
36     z_par1 := - par_livre_1 * 210;
37     MoveJ Offs(Target_30,0,0,z_par1),v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
38     Reset doAttachD;
39     SetDO doDetachD,1;
40     WaitDO doDetachD,1;
41     MoveJ Target_40,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
42     Reset doDetachD;
43     Reset doStartWatchDesc;
44     MoveJ StartPos,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
45 ENDPROC
46
47 ▢PROC Drop_P2()
48     ConFL\Off;
49     MoveJ StartPos,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
50     MoveJ Target_20,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
51     MoveJ Target_10,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
52     SetDO doAttachD,1;
53     WaitDO doAttachD,1;
54     par_livre_2 := par_livre_2 - 1;
55     MoveJ Target_20,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
56     MoveJ Target_60,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
57     z_par2 := - par_livre_2 * 210;
58     MoveJ Offs(Target_50,0,0,z_par2),v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
59     Reset doAttachD;
60     SetDO doDetachD, 1;
61     WaitDO doDetachD, 1;
62     MoveJ Target_60,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
63     Reset doDetachD;
64     Reset doStartWatchDesc;
65     MoveJ StartPos,v1000,fine,tGripper\WObj:=wobj_desc;
66 ENDPROC
67
68

```

ANEXO K – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA PÓRTICO GÜDEL ZP-4

Stroke and drive data ZP-4							
Axis		Y			Z		
Stroke in steps of 100	[mm]	$s_y \leq 50000^1$					
Payload	[N]	630	1000	1600	630	1000	1600
Speed	[m min ⁻¹]	168,75	112,5	67,5	112,5	67,5	42,187
Acceleration	[ms ⁻²]	5	4	2	7,5	2,5	1
Gearbox ratio	[-]	4	6	10	6	10	16
Size of GÜDEL gearbox type AE	[-]	060	060	060	060	060	060
Stroke of axis per motor revolution	[mm]	37,5	25	15	25	15	9,38
Acceleration time	[s]	0,563	0,469	0,563	0,25	0,45	0,703
Stroke of axis while accelerating	[m]	0,791	0,439	0,316	0,234	0,253	0,247
Motor speed	[min ⁻¹]	4500	4500	4500	4500	4500	4500
Stall torque of motor	[Nm]	1,2	1	0,8	5,2	4,5	4,3
Max. torque of motor	[Nm]	7,8	5,3	2,6	9,1	5,6	4,8
Red. Inertia of axis	[kgm ²]	7,00E-03	3,70E-03	1,80E-03	1,80E-03	9,40E-04	5,70E-04

High dynamic
 Optimal
 High load

ANEXO L – TABELA DE TEMPOS DE MOVIMENTAÇÃO PARA PÓRTICO DE MONTAGEM 1

Posição de Destino	Eixo de Movimento	Tempo Base (seg)	Tempos Acoplagem (seg)	Tempo Total (seg)
Topo Lã	y	0,89		1,78
Pick Lã	z	0,72	1	2,44
Topo Lã	z	0,35		0,7
Topo Passadeira	y	0,59		1,18
Drop Lã	z	0,35	1	1,7
Topo Passadeira	z	0,35		0,7
Topo Lã	y	0,38		0,76
Pick Lã	z	0,35	1	1,7
Topo Lã	z	0,35		0,7
Topo Passadeira	y	0,59		1,18
Drop Lã	z	0,35	1	1,7
Topo Passadeira	z	0,35		0,7
Topo OSB	y	0,48		0,98
Pick OSB	z	0,35	1	1,7
Topo OSB	z	0,35		0,7
Topo Passadeira	y	0,58		1,18
Drop OSB	z	0,35	1	1,7
Topo Passadeira	z	0,35		0,7
Topo Euronite	y	1,09		2,18
Pick Euronite	z	0,35	1	1,7
Topo Euronite	z	0,35		0,7
Topo Passadeira	y	1,09		2,18
Drop Euronite	z	0,35	1	1,7
Topo Passadeira	z	0,72		1,44
Posicao Inicial	y	1,38		2,76
Tempo de Operação:				32,1

ANEXO M – TABELA DE TEMPOS DE MOVIMENTAÇÃO PARA PÓRTICO DE MONTAGEM 2

Posição de Destino	Eixo de Movimento	Tempo Base (seg)	Tempos Acoplagem (seg)	Tempo Total (seg)
Topo Lã	y	0,68		1,36
Pick Lã	z	0,72	1	2,44
Topo Lã	z	0,35		0,7
Topo Passadeira	y	1,11		2,22
Drop Lã	z	0,35	1	1,7
Topo Passadeira	z	0,35		0,7
Topo Lã	y	0,93		1,86
Pick Lã	z	0,35	1	1,7
Topo Lã	z	0,35		0,7
Topo Passadeira	y	1,11		2,22
Drop Lã	z	0,35	1	1,7
Topo Passadeira	z	0,35		0,7
Topo OSB	y	0,68		1,36
Pick OSB	z	0,35	1	1,7
Topo OSB	z	0,35		0,7
Topo Passadeira	y	0,58		1,16
Drop OSB	z	0,35	1	1,7
Topo Passadeira	z	0,35		0,7
Topo Gesso	y	0,49		0,98
Pick Gesso	z	0,35	1	1,7
Topo Gesso	z	0,35		0,7
Topo Passadeira	y	0,49		0,98
Drop Gesso	z	0,35	1	1,7
Topo Passadeira	z	0,72		1,44
Posicao Inicial	y	1,9		3,8
Tempo de Operação:				32,82