



Universidade de Aveiro
2023

**Leandro José Tavares
Amaral**

**Aplicação de ferramentas Lean na melhoria de uma
linha de pintura**



Universidade de Aveiro
Ano 2023

**Leandro José Tavares
Amaral**

**Aplicação de ferramentas Lean na melhoria de uma
linha de pintura**

Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos, Professora auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Prof. Doutor José António de Vasconcelos Ferreira
professor associado da Universidade de Aveiro

vogais

Prof. Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira
professor coordenador do Instituto Politécnico do Porto

Prof.^a Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Um especial obrigado ao meu orientador, Filipe Pereira e aos membros do departamento de melhoria contínua, Engenheiro João Lopes e Vasco Silva por toda a ajuda e acompanhamento ao longo do projeto.

À *Herculano – Alfaias Agrícolas S.A.* pela oportunidade para realização do projeto, por todos os recursos disponibilizados e a todos os colaboradores que de uma forma ou outra me ajudaram e permitiram a realização deste trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais por todo o sacrifício e apoio incondicional.

À minha namorada por toda a ajuda, apoio e motivação.

palavras-chave

Lean, Production Line Balancing, Simulation, Arena, Layout, Time Study, VSM, 5S

resumo

O seguinte trabalho foi realizado na empresa *Herculano – Alfaias agrícolas S.A.* com o objetivo de reduzir o tempo de ciclo e diminuir custos numa linha de pintura com cortina automática através do uso de ferramentas *Lean*.

Com recurso à simulação no software Arena, foi modelada a linha automática de pintura e analisadas possibilidades de balanceamento de postos com base em dados de um estudo de tempo. A ferramenta CAD SolidWorks foi também usada para apoio na idealização de soluções que retirassem esforço aos operadores e análise de layout do setor.

Durante o projeto foi identificada uma melhoria de redução do tempo de ciclo de pintura de tinta de base aquosa em cerca de 5% em conjunto com uma redução do esforço do operador, obteve-se um aumento de 24% de eficiência da linha para uma gama de produtos com, simultaneamente, uma redução global do consumo de gás em 12% na estufa de secagem e aproximadamente 6% na estufa de polimerização.

A ferramenta 5S foi aplicada numa das estações da linha juntamente com um suporte desenvolvido para as ferramentas necessárias e delimitados espaços para alteração do layout. Sendo o custo um fator importante, todas as melhorias identificadas e ações tiveram um custo desprezível.

keywords

Lean, Production Line Balancing, Simulation, Arena, Layout, Time Study, VSM, 5S

abstract

The following work has been conducted at *Herculano – Alfaias agrícolas S.A.* with the main goal of reducing cycle time and cost in an automated painting line with the use of *Lean* tools.

The automated painting line was modelled in the simulation software Arena and balancing options were studied based on data acquired from the time study conducted. CAD tool SolidWorks was also used to help in visualizing and development of solutions which removed effort from workers but also to study and improve the painting sector layout.

It was possible to identify a 4,5% reduction in cycle time for water-based painting while reducing worker effort, a 24% increase in line efficiency for a given product range and a 12% reduction in propane gas consumption for the drying oven and 6,25% for the curing oven.

The 5S tool was also applied in on the workstations together with the application of a developed tool support and spaces were marked on the factory floor to mark layout changes. Being cost a very important factor, all changes and identified improvements had a negligible cost.

Conteúdo

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação.....	1
1.2	Contextualização.....	1
1.3	A Empresa.....	1
1.4	Âmbito e objetivos do projeto.....	2
1.5	Metodologia.....	2
1.6	Estrutura do documento.....	3
2	Enquadramento teórico.....	5
2.1	Lean Manufacturing.....	5
2.2	Ferramentas Lean.....	7
2.2.1	Value Stream Mapping.....	7
2.2.2	Metodologia 5S.....	8
2.2.3	Diagrama de Spaghetti.....	9
2.2.4	Standard Work.....	9
2.2.5	A3 report.....	10
2.2.6	Gestão Visual.....	11
2.3	Diagrama de Ishikawa.....	11
2.4	Estudo de tempo.....	12
2.5	Layout.....	15
2.6	Ciclo PDCA.....	15
2.7	Balanceamento de Linha de Produção.....	16
2.8	KPI.....	17
2.9	5W2H.....	17
2.10	Simulação.....	18
3	Análise do caso de estudo e diagnóstico.....	21
3.1	Área incidente.....	21
3.2	Descrição do processo atual.....	22
3.3	Abordagem realizada.....	26
3.4	Estudo de tempos.....	27
3.5	Modelo de simulação em Arena;.....	31
3.5.1	Análise de resultados em software.....	34
3.6	Etapa da decapagem.....	37
3.7	VSM do fabrico de baldes.....	46
4	Sugestões de melhoria e resultados obtidos.....	49
4.1	Balanceamento de postos de trabalho.....	49
4.2	Soluções para redução de esforço e diminuição de tempo de ciclo;.....	51
4.2.1	Suporte para ganchos.....	51

4.2.2	Botões adicionais para pintor de esmalte;	57
4.2.3	Utilização de elásticos para a lavagem.	60
4.3	Redução de defeitos de qualidade	61
4.4	Análise e redução do consumo energético;	62
4.4.1	Diminuição do consumo energético em produtos decapados.....	62
4.4.2	Diminuição do consumo energético em produtos Herculano.....	64
4.4.3	Diminuição do consumo energético da estufa de polimerização	65
4.5	Alteração do layout do setor;.....	66
4.6	Transformação de produto em curso de fabrico em produto final.....	69
4.7	Sumário de propostas de melhoria	70
5	Conclusões e trabalho futuro	73

Índice de Figuras

Figura 1 - Sede da Herculano Alfaias Agrícolas S.A.....	2
Figura 2 - Casa TPS	5
Figura 3 - Simbologia VSM	7
Figura 4 - Modelo de relatório A3	10
Figura 5 - Formas de aplicação de Gestão Visual	11
Figura 6 - Estrutura de um diagrama de Ishikawa	12
Figura 7 - Ciclo PDCA.....	16
Figura 8 - Produtos Herculano (Cisterna, HMB, reboque multifunções e fresa)	21
Figura 9 - Linha de pintura automática	22
Figura 10 - Interior da cabine de pintura de esmalte.....	24
Figura 11- Computador de Controlo da Linha Automática	25
Figura 12 - Esquema da linha automática de pintura.....	26
Figura 13 - Modelo de balde JD.....	27
Figura 14 - Balde JD em utilização.....	28
Figura 15 - Sujidade proveniente dos bastidores oxidados na peça a repintar	31
Figura 16 - Modelação da secção do elevador	32
Figura 17 - Esquema da linha de pintura com identificação de circuitos	33
Figura 18 - Representação 2D do modelo de simulação	33
Figura 19 - Comparação entre tempo produtivo vs. não produtivo por posto	35
Figura 20 - Granalha usada no processo de decapagem.....	37
Figura 21 - Caixa para proteção da câmara.....	38
Figura 22 - Distribuição de tempo necessário para decapagem de baldes	39
Figura 23 - Diagrama de Ishikawa para a etapa de decapagem	40
Figura 24 - Modelo em SolidWorks da cabine de decapagem	41
Figura 25 - Desenho e configuração dos produtos na cabine de decapagem.....	41
Figura 26 - Estrutura para operação de decapagem.....	42
Figura 27 - Plataformas para realização de teste	42
Figura 28 – Configuração usada para o teste com as estruturas	43
Figura 29 - Diagrama VSM de baldes JD.....	47
Figura 30 - Gráfico de tempo de ciclo por operação após nivelamento	49
Figura 31 - Gráficos de taxa de ocupação de recursos, no software Arena: 'as is' (acima) vs. 'to be' (abaixo).	50
Figura 32 - Contentor usado 'as is'	51
Figura 33 - Estante de ganchos modelada	52
Figura 34 - Representação 3D 'as is'	52
Figura 35 – Representação da estante no local de trabalho	52

Figura 36 - Teste de deformação á estrutura desenvolvida com uma carga total de 450kg.....	53
Figura 37 - Suporte final aplicado	53
Figura 38 - Estação do elevador antes da aplicação da estrutura e reorganização do local de trabalho	54
Figura 39 - Estrutura de suporte para ganchos aplicada.....	54
Figura 40 - Local de trabalho após aplicação do suporte e organização dos equipamentos	55
Figura 41 - Material desorganizado	55
Figura 42 - Material reorganizado.....	55
Figura 43 - Spaghetti de um ciclo de pintura de esmalte.....	57
Figura 44 - Mapeamento das atividades do pintor de esmalte durante um ciclo 'as is'	57
Figura 45 - Spaghetti idealizado para um ciclo de pintura de esmalte.....	58
Figura 46 - Mapeamento das atividades do pintor de esmalte durante um ciclo 'to be'	58
Figura 47 - Registos recolhidos para aplicação de esmalte.....	59
Figura 48 – Pesos pendurados para diminuição das oscilações	61
Figura 49 - Elásticos para substituição dos pesos usados	61
Figura 50 - Oxidação nos braços de carga John Deere.....	61
Figura 51 - Zona do casquilho do braço de carga JD com menor oxidação após secagem	62
Figura 52 - Baldes na estufa de secagem	62
Figura 53 - Braço de carga JD.....	63
Figura 54 - Distribuição de consumo de energia por tipo (% do custo total)	65
Figura 55 - Figura Layout 'as is'	66
Figura 56 - Renderização 3D do layout da linha de pintura sugerido.....	67
Figura 57 - Área delimitada para armazenamento de garfos e grifas para decapagem.....	68
Figura 58 - Área delimitada para armazenamento de baldes decapados	68
Figura 59 - Fluxos de material no setor da pintura.	69
Figura 60 - Diagrama de pareto para o volume de baldes pintados ao longo de 5 meses.....	69

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Valor de Z para nível de confiança desejado - adaptado de (Heizer & Render, 2016)	13
Tabela 2 - Tabela de Compensações adaptada de (Heizer & Render, 2016).....	14
Tabela 3 - Parâmetros de equipamentos da linha de pintura automática	24
Tabela 4 - Medidas e modelos de carregadores frontais JD.....	27
Tabela 5 - Tempos de operação para aplicação de esmalte (segundos).	28
Tabela 6 - Cálculo do número de observações necessárias.	29
Tabela 7 - Tempo médio das atividades para aplicação de esmalte.	29
Tabela 8 - Tempos de operação recolhidos para aplicação de primário	29
Tabela 9 - Número de observações necessário.....	30
Tabela 10 – Aplicação dos 5 Porquê	30
Tabela 11 - Tempo em minutos recolhido por operação de pintura de carregadores frontais John Deere	34
Tabela 12 - Percentagem de ocupação de recursos 'as is'	34
Tabela 13 – Sumário de amostras de registo manual de tempos para carregadores frontais	35
Tabela 14 - Tempos recolhidos para decapagem.....	38
Tabela 15 - Tempos de operações realizadas no teste de decapagem	45
Tabela 16 - Dificuldades identificadas em conjunto com o operador	45
Tabela 17 - Taxa de ocupação dos recursos disponíveis após nivelamento.....	50
Tabela 18 - Tempo de movimentações na cabine de esmalte	60
Tabela 19 - Consumo de gás da estufa de secagem.....	63
Tabela 20 - Resumo dos dados recolhidos para pintura de base aquosa.....	64
Tabela 21 - Dados de aquecimento da estufa de secagem	65
Tabela 22 - Priorização de melhorias identificadas	71
Tabela 23 - Diagrama 5W2H	72

Abreviaturas

JD – John Deere

TPS – Toyota Production System

TC – Tempo de ciclo

KPI – Key Performance Indicator

LM – Lean Manufacturing

1 Introdução

Neste capítulo será apresentado o intuito do projeto desenvolvido, empresa, objetivos e metodologia usada ao longo do estágio.

1.1 Motivação

O seguinte trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Dissertação/Projeto/Estágio do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial pela Universidade de Aveiro. Este foi realizado no departamento de melhoria continua da empresa *Herculano Alfaias Agrícolas, S.A.* durante um período de 8 meses.

1.2 Contextualização

O projeto teve início com a necessidade da parte da empresa em diminuir custos e aumentar a eficiência do processo de pintura. Para isso foram aplicadas várias ferramentas *lean* de forma a melhor compreender o processo, identificar desperdício, desenvolver soluções e quantificar resultados. O preço é um ponto de decisão muito forte para o cliente, a necessidade de redução de custos com a produção é assim um ponto chave não só para a globalização, mas também para a competitividade da empresa.

Todos os componentes de pequena e média dimensão pertencentes aos produtos finais passam pelo setor da pintura, o que cria um enorme fluxo de material que deve ser bem gerido com minimização de custos associados e gestão de stock intermédio que acaba por parar no setor. Este grande fluxo com grande variabilidade de produtos traz assim um grande impacto no armazenamento, transporte, tempo de ciclo inerente e cuidados adicionais nas várias etapas dos vários processos, no entanto esta pode ser vista como um ponto forte da empresa, existindo um foco nas necessidades do cliente e entrega de um produto que vai ao seu encontro.

1.3 A Empresa

A história da empresa *Herculano - Alfaias Agrícolas, S.A.*, sediada em Oliveira de Azeméis, iniciou-se em 1969 com o fabrico de utensílios agrícolas de pequena dimensão liderada pela família Lopes. Com o aumento da exigência do mercado e constante modernização, realizou em 1982 a primeira exportação sendo pouco depois reconhecida como líder nacional no fabrico e comércio de semirreboques agrícolas.

Em 1997, o grupo FERPINTA passou a deter 80% do capital da empresa, algo que trouxe á empresa uma nova vertente financeira, mas também estratégica com abertura a novos mercados e partilha de sinergias. Em 2005 o grupo “FERPINTA S.G.P.S., S.A” e a família Teixeira (detentora do Grupo) passaram a controlar 100% da *Herculano – Alfaias Agrícolas, S.A.* e, com a realização de investimentos na reestruturação e modernização de equipamentos em 2006

permitiu que a empresa fosse acompanhando as exigências do mercado e ampliando o seu leque de clientes, sendo alguns empresas como Pottinger e John Deere. Atualmente tem uma área de 48.000 m² e mais de 200 colaboradores com uma faturação anual de cerca de 16 milhões de euros.



Figura 1 - Sede da Herculano Alfaias Agrícolas S.A.

1.4 Âmbito e objetivos do projeto

O principal objetivo definido para a realização do projeto de estágio foi a redução de desperdício e melhoria da eficiência da linha automática de pintura, através da redução do tempo de ciclo e realização de um balanceamento da linha automática. Existiu também foco na redução do consumo energético e custos associados ao processo, implementação de soluções de equipamentos que reduzam o esforço físico do trabalhador e o tempo de execução das tarefas, assim como a análise e melhoria de circuitos logísticos existentes no setor.

1.5 Metodologia

A metodologia adotada baseou-se no ciclo PDCA, iniciando-se com o acompanhamento de todos os postos de trabalho da cortina de pintura, de modo a melhor perceber o trabalho de cada colaborador, as suas dificuldades e obtenção de uma boa caracterização do estado inicial para base de comparação com um estado futuro. Ao longo do acompanhamento foi realizado um estudo de tempos de diversas atividades, com descrição das ações e tempos inerentes para identificação de gargalos e fluxo de material, sendo este estudo usado para o desenvolvimento

de um modelo de simulação no software Arena. No software de simulação foram estudadas opções de nivelamento e analisados os benefícios resultantes das mesmas, sendo possível estudar alterações significativas á priori sem impactar a produção diária.

Usando ferramentas *Lean* como o diagrama de Spaghetti foi possível mapear fluxos de operadores no setor e identificar desperdícios de deslocações, sendo usado como base para estudo de possíveis alterações de layout com recurso á ferramenta SolidWorks. A recolha de medidas da secção da pintura permitiu modelar um layout em 3D como ferramenta para melhor analisar possíveis soluções a implementar assim como a sua fácil visualização e interpretação contribuiu para uma melhor discussão com todos aqueles, diretamente ou indiretamente, ligados ao projeto.

1.6 Estrutura do documento

O documento divide-se em cinco capítulos, iniciando-se com a introdução, onde é apresentada a empresa, projeto e objetivos definidos, assim como uma descrição da metodologia a aplicar e ferramentas a utilizar.

O segundo capítulo, enquadramento teórico, engloba toda a revisão de literatura realizada que suportou a realização do trabalho e apoiou a tomada de decisões.

Seguidamente no terceiro capítulo, desenvolvimento do projeto, é descrito o processo de pintura na linha automática e caracterizado o estado inicial, são aplicadas ferramentas *Lean* para identificação de desperdício e as suas causas raízes bem como a procura por oportunidades de melhoria.

No quarto capítulo, ações de melhoria propostas, são identificadas e descritas alterações e quantificação de resultados obtidos e esperados com as ações a tomar.

O quinto capítulo aborda conclusões do projeto, trabalho futuro a realizar bem como limitações ao projeto realizado e a as aprendizagens obtidas de todo o trabalho.

2 Enquadramento Teórico

2.1 Lean Manufacturing

O conceito de *Lean Manufacturing* (LM) tem as suas origens no Japão após a segunda guerra mundial, dada a falta de recursos que levou a uma redução da capacidade de investimento (Singh & Singh, 2013). A filosofia LM foca-se na melhoria do processo produtivo através da eliminação das sete formas de desperdício (*Muda*), com recurso a diversas ferramentas, tentando assim fazer mais com o mesmo, ou idealmente fazer o mesmo com ainda menos (Wagner et al., 2017). Com este ponto de vista, é possível concluir que onde existe desperdício pode ser aplicada a filosofia *Lean* (Deokar et al., 2019). Apesar da definição do conceito *Lean Manufacturing* ou *Toyota Production System* (TPS) variar amplamente conforme a perspetiva do autor, o seu objetivo é claro, ou seja, produzir mais com o mesmo e/ou consumir menos recursos para o mesmo output (Deokar et al., 2019). LM pode ser considerado como mais do que um simples conjunto de técnicas e/ou ferramentas a implementar em determinadas situações, dada a sua aplicação originar uma diferente cultura dentro da organização (Deokar et al., 2019).

No topo da Figura 2 encontram-se os objetivos do TPS ou *Lean Manufacturing*, nomeadamente qualidade alta, custo baixo e curto tempo de entrega. Para estes, deve existir um foco simultâneo nos indicadores chave (KPI) correspondentes.

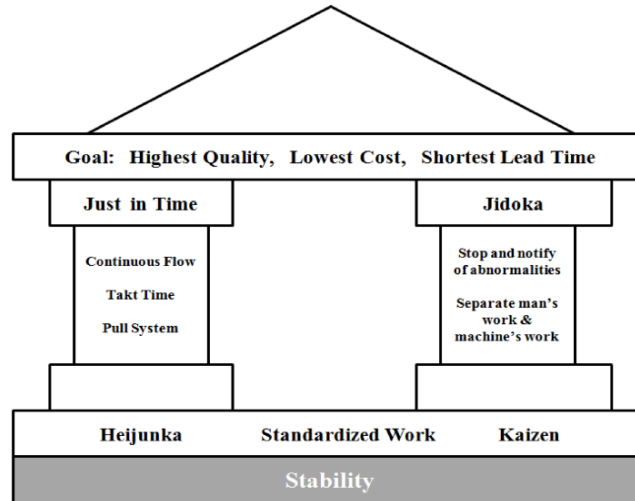


Figura 2 - Casa TPS

Os cinco princípios da filosofia são:

1. Definição de valor

O valor acrescentado a um produto ou serviço é ultimamente o que define a escolha do cliente e, como tal, deve ser uma prioridade para a organização a maximização deste valor, através da sua identificação e foco em toda a cadeia de produção.

2. Identificação da cadeia de valor e identificação de valor

A cadeia de valor consiste nos processos e ações necessários para criar no produto ou serviço características pelas quais o cliente final pagaria (Rother et al., 2003). Todas as operações podem ser categorizadas em três tipos de acordo com (Monden, n.d.; Rohac & Januska, 2015):

- Value Adding (VA) – Atividades como montagem de componentes;
- Non-Value Adding (NVA) – Atividades que representam desperdício puro e devem ser completamente eliminadas;
- Necessary but Non-Value Adding (NNVA) - Atividades que não acrescentam valor, mas são necessárias e a eliminação das mesmas requer uma reestruturação significativa como o desempacotar produtos adquiridos.

Segundo Hines & Rich (1997) e Ohno (1988), durante o processo de identificação do teor das atividades é possível encontrar sete tipos de desperdício sobreprodução, nomeadamente o tempo de espera, transporte, processamento inadequado, excesso de stock, movimentações desnecessárias e defeitos. Adicionalmente, é sugerido um oitavo desperdício de cariz humano, a não utilização de todas as capacidades dos recursos humanos (Lander & Liker, 2007).

3. Criação de fluxo

Assenta na produção e movimentação de lotes unitários ou de baixa quantidade, de uma forma contínua, com o objetivo de reduzir tempos de espera, recursos consumidos e erros de processamento, estando um sistema *Lean* no seu estado ideal quando existe um fluxo de acordo com as necessidades (Sayer & Williams, 2012).

4. Produção segundo o sistema Pull

Este sistema funciona com base em pedidos do cliente final que vão sendo transmitidos de jusante para montante em função da necessidade. A principal função é a redução de stock dado o início da produção com base num pedido efetuado.

5. Procurar a perfeição

Perfeição é definida como um procedimento constituído puramente por processos de valor acrescentado e sem desperdício (*Muda*). Este ponto ideal deve ser procurado através da melhoria incremental contínua, ou seja, *Kaizen*, onde 'Kai' significa mudança e 'Zen' significa melhor.

2.2 Ferramentas Lean

2.2.1 Value Stream Mapping

O mapeamento da cadeia de valor é um processo que tem como objetivo identificar e visualizar todas as etapas relacionadas com a obtenção de um produto ou serviço.

Esta ferramenta é constituída por quatro componentes fundamentais:

1. Fluxo de processos – uma sequência de passos realizados ao longo do processo produtivo;
2. Caixas de informação – contêm dados relevantes relativos ao processo como número de operadores, tamanho do lote, tempo de ciclo e tempo de troca de ferramenta;
3. Fluxo de informação – ilustra o percurso da informação necessária ao processo e a fonte da mesma;
4. Linha temporal – representa o percurso temporal e a sua identificação em atividade de Valor Acrescentado ou Sem Valor Acrescentado.

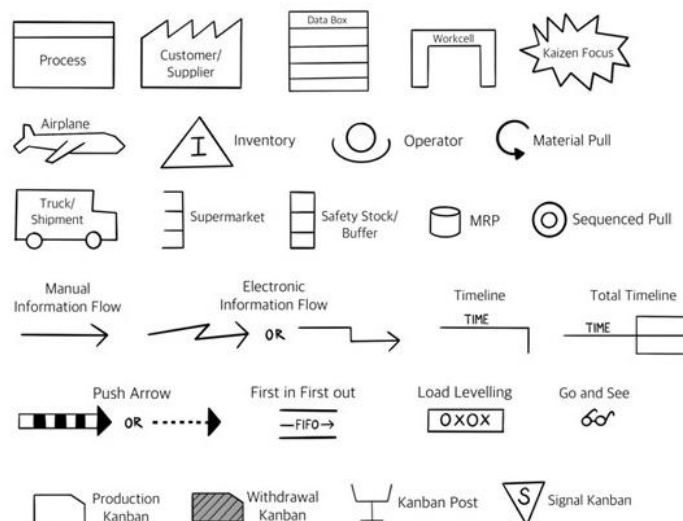


Figura 3 - Simbologia VSM

Assim, “value can be described as the ability to provide products or services at the right time and at the appropriate price in order to satisfy customer’s needs” (Lacerda et al., 2016, p.1709).

Esta ferramenta dá a possibilidade de analisar e comparar o tempo despendido entre ambos os tipos de processos, estimar o Lead Time assim como perceber as etapas onde ocorre maior acumulação de inventário e presença de gargalos no fluxo existente (Soliman et al., 2022).

De acordo com Rajesh (2015), a utilização do Value Stream Mapping (VSM) envolve a utilização de fluxograma para representar, com recurso a símbolos específicos, os fluxos de material, informações, e interações em todo o processo, desde a matéria-prima até à entrega final ao cliente. Deste modo, providencia uma visão global de todos os processos necessários, com e sem valor acrescentado, até á obtenção do produto final.

O VSM pode servir como uma ferramenta de comunicação entre administração, engenheiros de produção, fornecedores e todos os colaboradores da empresa envolvidos, com a finalidade de identificar desperdícios e as suas causas, podendo originar mudanças estratégicas (G.Rajesh, 2015; Pérez-Pucheta et al., 2019).

Alguns dos dados a recolher para a construção de um diagrama VSM são tempo de ciclo, tempo de setup, número de operadores, stock existente, tempo de espera e tamanho do lote de produção (Nallusamy & Saravanan, 2016).

Porém, existem desvantagens associadas a esta ferramenta, uma vez que apenas permitir englobar uma categoria de produtos semelhantes em cada diagrama, não representa WIP ou deslocações dentro de cada operação, verifica-se um aumento exponencial da complexidade com o aumento da linha de produção, requer elevada atenção e gasto de tempo para desenvolver e não demonstra métricas como custos nem valor acrescentado em cada etapa (Pathania et al., 2021).

2.2.2 Metodologia 5S

A metodologia 5S é extensivamente versátil podendo ser aplicada em todos os locais de trabalho com o intuito de melhorar as condições do mesmo e, conseqüentemente, aumentar a produtividade e organização. Este método é composto pelas cinco etapas seguidamente abordadas:

- *Seiri*: Significa escolher e assim separar todos os materiais e equipamentos que não são necessários à realização das tarefas;
- *Seiton*: Os materiais e equipamentos devem estar identificados e armazenados de acordo com variados parâmetros com objetivo de facilitar o seu uso e reabastecimento;
- *Seizo*: Consiste na manutenção dos equipamentos necessários garantindo o seu bom estado de funcionamento;

- *Seiketsus*: A standardização de processos leva a uma fácil separação de situações normais de situações anormais, facilitando a sua identificação e prevenindo a propagação de erros e defeitos;
- *Shitsuke*: É o conceito de manutenção de todas as etapas anteriormente definidas.

De acordo com Manzanares-Cañizares et al. (2022), é comum a metodologia 5S ser primeiramente aplicada num setor como covaia, para validação e exemplo para outros setores, sendo ideal a definição de um estado inicial para identificação de melhoria ao longo do tempo. Earley (2016) sugere um sexto “S” denominado segurança que deve estar integrado nos cinco supramencionados.

2.2.3 Diagrama de Spaghetti

O diagrama de Spaghetti é uma ferramenta de visualização de fluxos dentro de uma célula ou área de trabalho, permitindo identificar as movimentações mais frequentes, recolher informações importantes para alteração ou definição de layouts, estudar posições inadequadas de equipamentos e ferramentas, e identificar os locais mais frequentados e críticos e os menos usados (Senderská et al., 2017).

Este diagrama é elaborado a partir de uma representação do espaço fabril e representa, com recurso a cores para fácil identificação, os diversos movimentos efetuados por empilhadores, *automated guided vehicles* (AGV), *laser guided vehicles* (LGV), produtos, operadores, entre outros. Esta possibilita a deteção de ineficiências de layout através do registo de longas distâncias realizadas, e a sua aplicação resume-se em três passos, como sugerido por Luca et al. (2021):

- a. Criar de um diagrama que represente o local de trabalho;
- b. Observar e acompanhar o processo a partir do local de início;
- c. Representar com linhas as deslocções do trabalhador á medida que vai realizado a tarefa, podendo ser usadas cores diferentes para colaboradores ou etapas diferentes.

2.2.4 Standard Work

O Standard Work define a forma como o trabalho deve ser executado, sendo este a melhor forma conhecida de realizar a operação, assegurando a realização no tempo previsto e definido, reduzindo assim a variabilidade.

Cada etapa do trabalho deve estar detalhada com o auxílio de documentação própria e ser definido em conjunto com o operador. É crucial que o processo seja estável antes de realizar uma standardização, de forma que não exista uma discrepância entre o método atual já

utilizado pelo operador e o descrito no standard work. Este processo deve ter enfoque em trabalhos manualmente intensivos, complexos ou repetitivos e deve contemplar os seguintes três elementos (Ohno, 1988):

- Tempo de ciclo – refere-se ao tempo alocado ao fabrico de uma unidade;
- Sequência de operações – é a ordem pela qual as tarefas são efetuadas;
- Inventário Standard – quantidade mínima de itens necessários para a realização do processo, incluindo peças para as máquinas usadas;

Algumas das vantagens da aplicação de Standard Work é basear a formação de novos colaboradores, garantir uma maior uniformidade no processo, o que conseqüentemente reduz a variabilidade, e aumentar a segurança no trabalho através de práticas seguras (Stevenson, 2011).

2.2.5 A3 Report

Esta ferramenta é usada para apresentar problemas detetados e a resolução dos mesmos, de uma forma clara e de fácil interpretação que privilegia o uso de imagens e indicadores com pouco texto. A sua elaboração tem como objetivo facilitar a comunicação, permitindo visualizar o problema com variadas perspetivas (Luca et al., 2021). Um exemplo do uso desta ferramenta é apresentado Figura 4.

Em sumário, a finalidade desta ferramenta é criar um alinhamento correto com o resto da organização, garantindo uma compreensão clara do problema em causa e possibilita a decisão em conjunto de uma estratégia de abordagem antes de passar para a etapa de implementação (Bassuk & Washington, 2013; Pérez-Pucheta et al., 2019).

A3 Problem Solving	
Title:	Owner / Date:
1. Background / Problem	5. Proposed Counter Measures
2. Current Condition	6. Plan
3. Goal / Target Condition	7. Follow-Up & Review
4. Root Cause Analysis	

Figura 4 - Modelo de relatório

2.2.6 Gestão Visual

A Gestão Visual baseia-se na apresentação de informação de forma visual, o que permite facilitar a interpretação e minimizar o tempo perdido. Desta forma, possibilita rapidamente a leitura de indicadores, locais de ferramentas e peças pela totalidade dos colaboradores, estabelecendo-se como uma ferramenta universal na organização.

O local de trabalho deve possuir sinais ou marcações que indiquem as atividades e as ferramentas necessárias, riscos e perigos, zonas de armazenamento, estado do processo, os resultados, entre outros.

Deste modo, permite o seguimento dos standards definidos, sendo as anomalias e defeitos facilmente identificados, especialmente quando aplicada em conjunto com o 5S e o Standard Work.

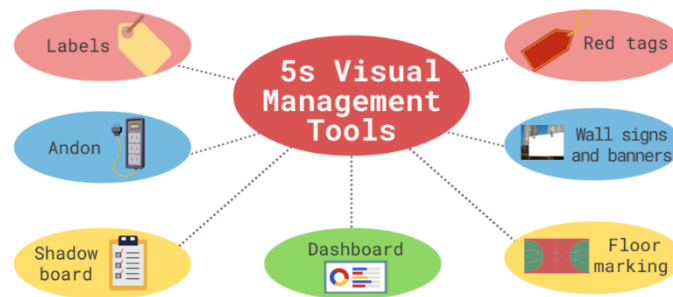


Figura 5 - Formas de aplicação de Gestão

2.3 Diagrama de Ishikawa

Esta ferramenta da qualidade tem como intuito identificar as principais causas para um efeito ocorrente em um determinado processo em estudo, sendo frequentemente desenvolvida em brainstorming com uma equipa (Russell et al., 2010). Com o nome do seu criador Kaoru Ishikawa, ilustra as causas e agrupa-as em seis categorias:

- Máquina – fatores envolvidos com os equipamentos;
- Método – fatores relacionados com a forma de realização da tarefa;
- Material – fatores resultantes da matéria-prima;
- Humano – fatores resultantes de avaliação errada;
- Medida – fatores resultantes de cálculos e recolha de dados durante o processo;

- Meio – fatores derivados do ambiente envolvente ao processo, não sendo estes dependentes do operador.

A realização e construção de um diagrama de Ishikawa deve começar com uma clara identificação do problema, seguida da identificação e categorização das suas causas. Após a sua identificação segue-se uma tarefa de priorização, consoante o impacto no problema em estudo, de forma a solucionar o problema inicial.

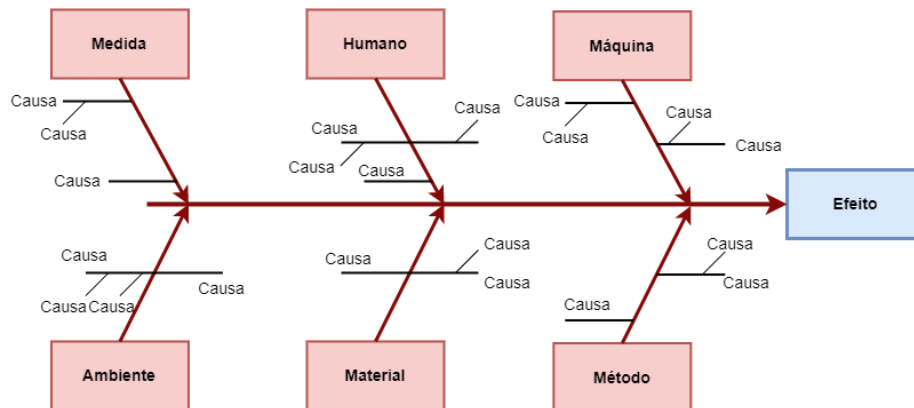


Figura 6 - Estrutura de um diagrama de Ishikawa

2.4 Estudo de tempo

Para o correto desenvolvimento de um VSM foi necessária a realização de um estudo de tempo adequado de todas as operações relativas ao processo em estudo. Segundo Seifermann et al. (2014), existem vários métodos para análise do trabalho manual, no entanto, todos concordam com o uso da unidade de medida tempo.

O tempo a determinar corresponde ao necessário para um operador treinado realizar uma tarefa em condições normais e a um ritmo adequado sem exercer esforço excessivo com a técnica definida (Permata & Hartanti, 2016).

Este processo tem diversas finalidades como gestão e planeamento, determinação de custos de produção, nivelamentos de linhas de produção, preparação de orçamentos, determinação de horários, entre outros (Permata & Hartanti, 2016). De acordo com Heizer & Render (2016), o método de estudo de tempos com recurso à cronometragem das atividades proposto divide-se em várias etapas, nomeadamente:

1. Definir a tarefa a ser estudada;
2. Dividir a tarefa definida em operações, devendo estas estar bem definidas e corresponderem a operações já realizadas com frequência;

3. Calcular o número de observações a recolher com base no nível de confiança e precisão;

$$n = \left(\frac{z \times s}{p \times \bar{t}} \right)^2$$

p – precisão;

n – número de observações;

t – tempo médio observado para cada operação;

s – desvio padrão da amostra;

z – desvio padrão normal para o nível de confiança (p) escolhido.

Tabela 1 - Valor de Z para nível de confiança desejado - adaptado de (Heizer & Render, 2016)

Confiança (%)	Valor Z
90	1.65
95	1.96
95.5	2.00
98	2.33
99	2.58

4. Registrar o tempo de realização das operações elementares definidas;
5. Calcular o tempo médio de realização das operações;
6. Avaliar o trabalhador com base num fator de desempenho, sendo este fator 1 quando a tarefa foi executada a um ritmo normal, < 1 a um ritmo inferior ao normal e > 1 a um ritmo superior ao normal;
7. Cálculo do tempo normal de realização da tarefa usando a seguinte fórmula:

$$NT = \bar{t}_i \times RF \times freq.$$

NT – Tempo normal;

RF – Desempenho;

Frequência – número de vezes em que a operação é realizada em cada ciclo.

8. Adicionar assim os tempos normais calculados anteriormente para cada tarefa elementar de forma a obter o tempo normal total da atividade;

9. Com o tempo total é seguidamente aplicado um coeficiente de descanso para compensar o esforço do colaborador assim como as condições de trabalho que poderão envolver esforço visual, fadiga entre outros:

$$ST = NT \times (1 + A)$$

ST – tempo padrão;

A – Coeficiente de descanso para fadiga.

Estas compensações estão tabeladas em valor percentual na tabela abaixo:

Tabela 2 - Tabela de Compensações adaptada de (Heizer & Render, 2016)

Percentagem		Percentagem	
A. Compensações constantes		3. Má iluminação	
1. Pessoal	5	a. Ligeiramente abaixo do recomendado	0
2. Fadiga	4	b. Abaixo do recomendado	2
B. Compensações variáveis		c. Inadequada	
1. Estar de pé	2	4. Condições atmosféricas	
2. Posição anormal		a. Calor e humidade	
a. Pouco desconfortável	0	5. Atenção	
b. Desconfortável	2	a. Normal	0
c. Muito desconfortável	7	b. Superior	2
C. Uso de força ou energia		c. Elevada	
Peso (Kg)		6. Barulho	
2,25	0	a. Contínuo	0
4,5	1	b. Intermitente - alto	2
6,75	2	c. Intermitente - muito alto	5
9	3	d. Frequência alta - alto	5
11,25	4	7. Stress Mental	
13,5	5	a. Complexo	1
15,75	7	b. Complexo e requer atenção	4
18	9	c. Muito complexo	8
20,25	11	8. Monotonia	
22,5	13	a. Baixa	0
27	17	b. Média	1
31,5	22	c. Alta	4
		9. Aborrecimento	
		a. Razoavelmente	0
		b. Aborrecido	2
		c. Muito aborrecido	5

2.5 Layout

O layout pode ser definido como a distribuição dos equipamentos físicos, departamentos, células de trabalho e conseqüentemente dos fluxos existentes. O layout, segundo Kiran (2019) é um mecanismo que envolve o conhecimento dos requisitos necessários para os equipamentos e a sua organização de forma correta permitindo uma produção constante.

A importância da forma como os espaços são definidos e os equipamentos distribuídos prende-se com o seu impacto a longo prazo, uma vez que é difícil a alteração à posteriori, que requer elevado investimento monetário e temporal e que têm um impacto forte no fluxo produtivo, quer em custo como em eficiência. “A properly designed plant layout provides an ideal synergy among raw materials, manufacturing processes, available space, and the output” (Okpala & Chukwumuanya, 2016).

Segundo Tompkins et al. (1996), como citado em Drira et al. (2007), uma boa distribuição dos equipamentos pode reduzir despesas operacionais até 50%. Alguns benefícios de um layout bem desenhado incluem a redução de custo de transporte de material, a eficiente utilização de mão de obra disponível, a segurança do trabalhador, uma manutenção facilitada, a utilização eficiente do espaço disponível, e a redução de tempos de ciclo (Hasan et al., 2012; Okpala & Chukwumuanya, 2016).

Para a realização deste trabalho foi usado o software SolidWorks para explorar potenciais alterações às localizações de equipamentos, gerando assim uma imagem e antevisão de alterações a considerar.

2.6 Ciclo PDCA

O ciclo Plan Do Check Act (PDCA) é uma ferramenta para acompanhamento de projetos, que garante um seguimento dos mesmos etapa a etapa. É constituído pelas etapas na ordem seguidamente apresentada:

- *Plan*: Primeira fase do ciclo onde é feita uma avaliação do estado atual assim como uma avaliação de possíveis pontos de melhoria e o seu impacto futuro.
- *Do*: Fase de aplicação das medidas previamente definidas na fase anterior.
- *Check*: Fase de verificação das melhorias aplicadas, dificuldades e o seu impacto versus a situação inicial.
- *Act*: Fase final do ciclo onde ocorre standardização das melhorias aplicadas assim como identificação de novos pontos de ação. Este ciclo acaba assim por nunca ficar fechado, sendo realizado o número de vezes necessárias num processo contínuo.

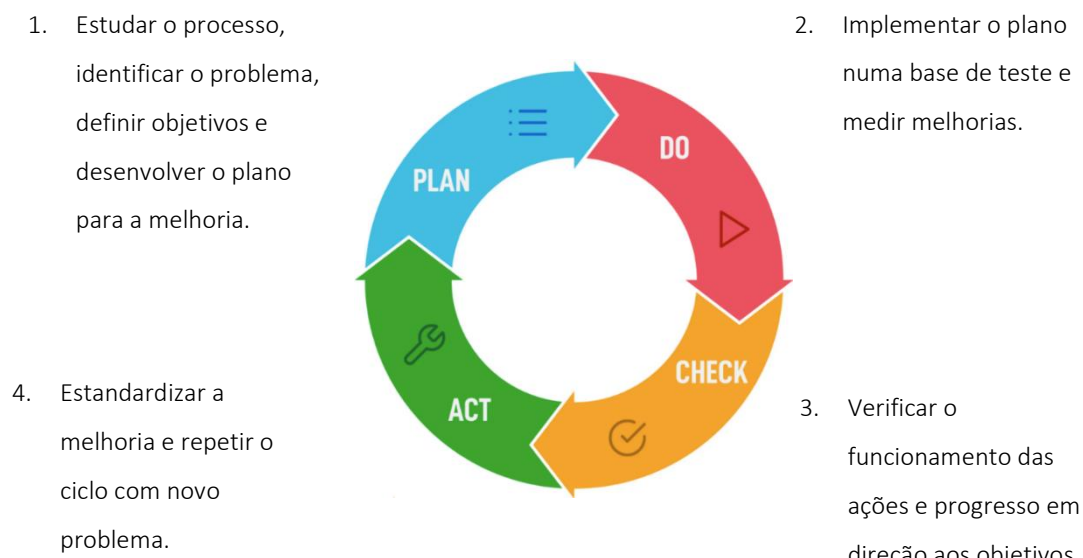


Figura 7 - Ciclo PDCA

2.7 Balanceamento de Linha de Produção

Numa linha de produção são realizadas atividades em sequência e, como tal, o funcionamento ideal requer um alinhamento do tempo de ciclo destas atividades de forma a reduzir o desperdício e aumentar a eficiência da linha (Zupan & Herakovic, 2015). Quando isto não é verificado, deve ser realizada uma reorganização das tarefas e/ou células de trabalho, com a finalidade de distribuir a carga de trabalho por todos os operadores de forma semelhante e removendo gargalos da linha (Zupan & Herakovic, 2015).

O processo de atribuição de tarefas a locais de trabalho é denominado balanceamento de linha e evita a ocorrência de trabalho contínuo excessivo pelos operadores das estações mais lentas. Para tal devem ser seguidas um conjunto de etapas para efetuar um nivelamento, sendo estas descritas por Stevenson (2011):

1. Análise do processo através de estudo de tempos;
2. Calcular TC (Tempos de Ciclo);
3. Efetuar uma comparação entre o tempo atual e o objetivo;
4. Determinar número de postos de trabalho necessários;

$$K^0 = \frac{T}{C}$$

$$T = \sum_{i=1}^N t_i$$

- K^0 – Número mínimo de postos de trabalho;
- T – Tempo total das atividades a realizar;
- C – Tempo da etapa mais lenta;
- t_i – Tempo da atividade i.

5. Redefinir a linha de produção com o número de trabalhadores adequado.

Da análise da linha de produção é possível identificar um gargalo pelo acumular de stock a montante ou pelo TC superior às restantes operações que fazem parte da linha.

2.8 KPI

Indicadores-chave (*Key Performance Indicators*) marcam a base de operação de qualquer sistema e podem ser usados para medir eficiência, custos, utilização, produtividade, entre outras métricas. Sem uma medição é impossível saber qual o estado atual e quantificar melhorias.

Deste modo, para quantificar a melhoria, é crucial existir uma performance base, para que após uma alteração ou janela temporal seja feita uma comparação e análise do progresso em direção aos objetivos (Sousa et al., 2018).

Alguns indicadores usados para a análise do estado inicial são (Lacerda et al., 2016; Rother et al., 2003):

- Lead Time: Tempo necessário para um produto percorrer toda a cadeia de valor desde o início até ao final iniciando-se com a matéria-prima.
- Tempo de Ciclo: Tempo entre repetições da mesma tarefa, sendo correspondente ao tempo do operador/posto de trabalho mais lento de uma linha de produção (gargalo).
- Takt Time: Tempo calculado para produção de forma a dar cumprimento aos requisitos da procura. Este tempo é dado pela seguinte fórmula:

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ disponível\ por\ turno}{Procura\ por\ turno}$$

2.9 5W2H

Para a secção de propostas de melhoria do Report A3 é frequente utilizar a ferramenta “5 Porquês” para chegar à raiz do problema, sendo necessário o levantamento da questão “Porquê” até que as causas raiz sejam identificadas. Esta metodologia pode ser auxiliar ao ciclo

PDCA dada a sua capacidade de responder a questões e simultaneamente as classificar (Filho & Simão, 2022).

Após a identificação das causas segue-se a análise de possíveis soluções e planos de ação com recurso ao método 5W2H (Filho & Simão, 2022):

- What – Qual ação a ser tomada?
- Where – Onde vai ser implementada?
- Why – Porque irá ser implementada?
- When – Quando será aplicada?
- Who – Quem será o responsável?
- How – Como irá ser aplicada?
- How much – Quanto custará?

Em sumário, esta ferramenta permite a identificação de ações a implementar, com claro reconhecimento do problema a solucionar, data de resolução, pessoa responsável, método adotado e custo envolvido, sendo a tabela o modo de análise mais comum.

2.10 Simulação

Segundo Heizer & Render (2016), uma simulação constitui-se como uma tentativa de duplicação de apresentação, características e particularidades de um sistema real, para estudo do mesmo a partir de um modelo matemático. Esta tentativa de duplicação tem como propósito a melhor compreensão e previsão do comportamento do sistema a determinados inputs e circunstâncias (Rodič, 2017).

Deste modo, não existe a necessidade de experimentar ou efetuar alterações em sistemas reais sem primariamente prever resultados usando um modelo de simulação (Bergeron, 2003). O uso de modelos de simulação tem sido usado na indústria na fase de conceção e desenho de forma a poupar tempo e dinheiro sendo que, nas últimas décadas, tem vindo a ser considerado cada vez mais uma ferramenta indispensável para o planeamento estratégico e operacional (Cimino et al., 2023; Rodič, 2017).

Algumas das vantagens do uso e desenvolvimento de modelos de simulação são (Heizer & Render, 2016):

- Possibilitar a análise de modelos complexos que não podem ser estudados por outros métodos convencionais;
- Usar distribuições de probabilidade definidas pelo utilizador em oposição às distribuições standard existentes;
- Permitir a simulação de um grande intervalo temporal num período muito mais curto;
- Possibilitar rapidamente a exploração de várias possibilidades, considerando que muitas delas podem ser pouco viáveis de implementar fisicamente por questões de custo ou disrupção do sistema.

São apontadas por Heizer & Render (2016) como desvantagens o tempo necessário para o desenvolvimento de um modelo complexo; a não geração de soluções ótimas, contrariamente a programação linear; a requisição de uma quantidade significativa de input de dados para a obtenção de resultados; e a impossibilidade de transferência de soluções entre cada problema, dado que cada problema requer o seu modelo.

3 Análise do caso de estudo e diagnóstico

Neste capítulo irá ser descrito o setor em foco para a realização do projeto e analisada a situação inicial para comparação com estados futuros.

3.1 Área Incidente

A *Herculano Alfaias Agrícolas S.A.* foca-se no fabrico de maquinaria e ferramentas para a agricultura, entre eles monocoques, cisternas, fresas, grades de disco, reboques multifunções, entre outros.



Figura 8 - Produtos Herculano (Cisterna, HMB, reboque multifunções e fresa)

A grande oferta e variabilidade levam a uma necessidade de ferramentas adequadas e grande capacidade de ajuste à mudança. A área em foco para a realização do estágio foi a linha automática de pintura, pertencente ao setor de acabamentos. Todos os produtos pintados de média e pequena dimensão são sujeitos a esta fase de produção e, como tal, existe a necessidade de adaptação à extensa variabilidade de produtos, como é exemplo as pequenas cavilhas, suportes, portas de monocoques e chassis de reboques pequenos.

Atualmente o processo é realizado por etapas com seis colaboradores atribuídos à linha automática de pintura, e três afetos a um túnel de pintura para produtos de grande dimensão, como chassis e caixas para monocoques.

Um empilhador está afeto em conjunto ao setor da pintura e de acabamentos para o transporte de material e alfaias entre vários pontos:

- Armazém de produto para pintar e a zona de carregamento da linha,
- Saída de linha e o setor de destino;

- Saída de linha e local de armazenamento provisório;
- Armazém de produto para decapar e decapagem
- Decapagem e zona de carregamento da linha.

3.2 Descrição do processo atual

Fundamentalmente existem nove etapas principais realizadas sequencialmente no processo de pintura, nomeadamente: carregamento, lavagem, secagem, aplicação de primário, secagem do primário, aplicação de esmalte, pré-aquecimento das peças, e polimerização para cura da tinta, voltando posteriormente à etapa inicial para efetuar o descarregamento das peças no mesmo local onde também foram carregadas.

O processo inicia-se com o carregamento de produtos para pintar na zona do elevador. A linha automática localiza-se a 4,15m do chão de fábrica, pelo que nesta estação ocorre a ascensão e descensão necessárias de parte da linha juntamente com o bastidor para a entrada e saída de material (Figura 9). O bastidor é uma peça metálica com 4,4m de comprimento que segura as peças e as transporta pela linha automática. Neste posto encontram-se afetos dois colaboradores que penduram as peças com o auxílio de uma ponte rolante para produtos mais pesados. As peças ficam seguras por ganchos de vários comprimentos e formas para se adaptarem à diversidade de produtos existente na fábrica.



Figura 9 - Linha de pintura automática

Seguidamente ao elevador existe um *buffer* na linha com capacidade para sete bastidores com uma bifurcação para dois caminhos possíveis na linha, um pela cabine de

decapagem e outro pela cabine de lavagem, não estando atualmente a decapagem a ser utilizada em conjunto com a linha de pintura automática.

A lavagem é realizada com recurso a duas plataformas elevatórias de ambos os lados do bastidor, o que permite lavar as peças penduradas em altura. O operador utiliza uma máquina de lavar à pressão com detergente adequado para a remoção de impurezas, sujidade e óleos presentes nas peças e, no final da lavagem, realiza uma passagem com água corrente de forma a remover os resíduos de detergente.

Após esta etapa, segue-se uma câmara de secagem com capacidade para dois bastidores onde as peças ficam pelo menos 10 minutos a uma temperatura de 70 graus celsius sujeitas a jatos de ar para uma secagem mais rápida e eficaz. Seguidamente, encontra-se presente na linha um segundo *buffer* com capacidade para cinco bastidores.

Na primeira cabine de pintura está um segundo operador com o auxílio de duas plataformas elevatórias para aplicação de primário. Esta cabine possui portas de correr que podem fechar e abrir automaticamente ou manualmente pelo operador consoante a necessidade, de forma a selar a cabine do exterior.

Posteriormente ocorre a secagem de primário numa cabine anexa denominada flash-off, onde o bastidor espera 20 minutos. Esta tem capacidade para dois bastidores e conecta-se diretamente à cabine de aplicação de esmalte.

A aplicação de esmalte é semelhante à etapa de aplicação de primário, sendo que não existe uma separação física entre esta cabine e as duas anexas, estando em falta portas de abertura automática para isolamento do processo de pintura.



Figura 10 - Interior da cabine de pintura de esmalte

Entre a cabine de aplicação de esmalte e a cabine de polimerização, que se encontra a 70 graus celsius, existe uma cabine flash-off-2 que tem como intuito permitir um aumento gradual de temperatura, evitando um aquecimento abrupto que causa imperfeições na pintura e consequentemente na peça.

A câmara de polimerização tem capacidade para seis bastidores, sendo o tempo total de secagem de 40 minutos. A saída da cabine conecta-se à estação do elevador, onde ocorre a descarga das peças para o chão de fábrica.

Na tabela abaixo encontram-se descritos os parâmetros usados para as diversas cabines de secagem consoante a cor a pintar:

Tabela 3 - Parâmetros de equipamentos da linha de pintura automática

	Preto - JD		Verde - JD		Tinta aquosa (Preto + Vermelho)	
	Temperatura	Tempo	Temperatura	Tempo	Temperatura	Tempo
Polimerizador	50	30	70	40	70	40
Secagem	70	10	70	10	70	10
Flash-off 1	25	-	25	-	25	20
Flash-off 2	Excedente	-	Excedente	-	Excedente	-

São pintadas três cores neste setor, nomeadamente vermelho, preto e verde. As cores verde, preto são tintas de base solvente utilizadas na pintura de produtos produzidos para a John Deere (JD), que representa uma significativa parte da faturação da empresa.

Em paralelo à linha encontra-se instalada uma cabine de decapagem, utilizada principalmente para produtos John Deere, mas também para peças e material oxidados. A operação de decapagem é realizada com abastecimento de material pelo empilhador, apesar de ter sido feita a instalação da cabine para uso em conjunto com a linha automática.

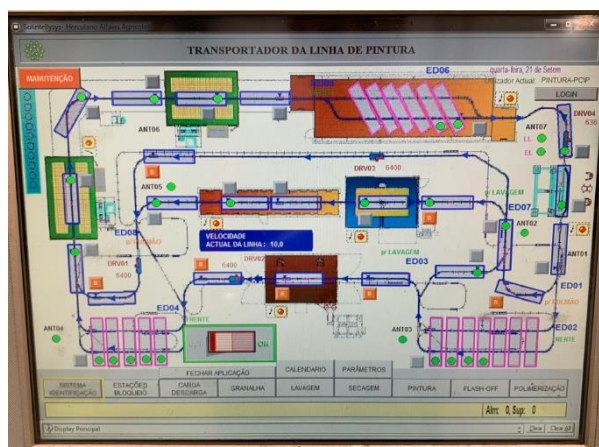


Figura 11- Computador de Controlo da Linha Automática

A linha de transporte automática funciona com recurso a sensores fotoelétricos que indicam a presença de bastidores nas posições de paragem. Nas cabines de lavagem, aplicação de primário e aplicação de esmalte, a ordem de avanço do bastidor é dada pelo operador com o pressionar de um botão, iniciando o movimento apenas se a próxima posição de paragem da linha estiver livre.

Existem três caminhos possíveis a realizar na linha automática:

- **Através da cabine de decapagem** - Este troço da linha automática não é utilizado pois a altura das peças penduradas no bastidor impossibilita a sua decapagem;
- **Pelos processos de lavagem e secagem** - Este trajeto é o mais efetuado, sendo a etapa de lavagem necessária para a maioria dos produtos, mas também a limpeza com ar comprimido para peças decapadas que é efetuada à entrada da cabine de lavagem.
- **Trajeto exterior às cabines** - Instalada a pensar na resposta a urgências ou repinturas que permite avançar parte do WIP da linha e reduzir o tempo de espera do bastidor em dez tempos de ciclo.

Consoante a situação encontrada podem ser bloqueadas e desbloqueadas posições da cortina, conforme necessário, para efetuar reparações ou alterar o trajeto. Na Figura 12 encontra-se representado o esquema da linha automática com as posições de paragem dos bastidores a verde, e as posições não utilizadas a castanho.

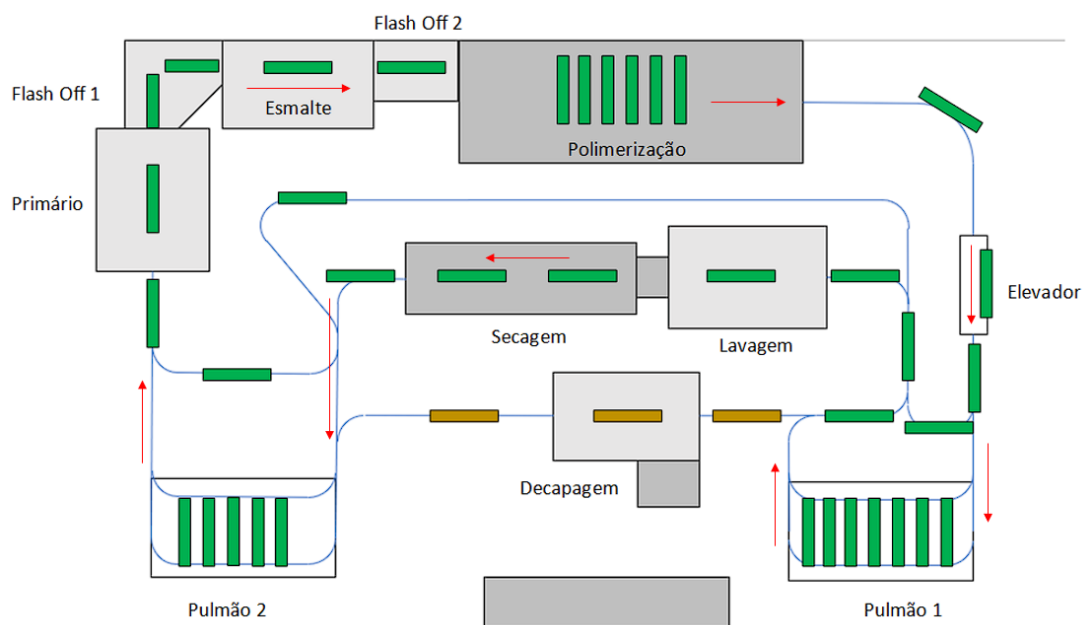


Figura 12 - Esquema da linha automática de pintura

3.3 Abordagem Realizada

Inicialmente foi realizada uma recolha de tempos dos vários processos da linha de pintura, iniciando-se com a cronometragem da aplicação de tinta de primário. Com o cronómetro e observação do exterior da cabine por uma pequena janela foram recolhidos cerca de 100 registos para ambos os tipos de primário aplicado (tinta solvente e aquosa).

Com recurso a óculos, máscara e fato de pintura, foi possível recolher dados no interior da câmara de secagem (flash-off 1), entre as cabines de pintura. Possibilitou de igual forma observar de perto a operação de pintura e identificar dificuldades apresentadas pelo pintor, com o objetivo de analisar e desenvolver possíveis soluções.

Para o desenvolvimento de um modelo de simulação, um elevado número de registos é crucial para obtenção de resultados que correspondam à realidade, tendo a utilização de uma câmara em gravação timelapse possibilitado a recolha de tempos de uma forma mais fiável e com melhor aproveitamento de tempo. Tal permitiu o registo de cerca de 93 horas de trabalho e pintura de 342 bastidores na cabine de esmalte. Isto possibilitou o cálculo de indicadores como tempo médio de pintura por tipo de tinta, desperdícios necessários, movimentações, subida e descida de plataformas elevatórias. A mesma utilização de câmara para melhor recolha de

tempos foi utilizada para a lavagem, entrada e saída de produtos no elevador, aplicação de primário, decapagem e circuitos logísticos do empilhador.

Todo o tempo despendido na secção da linha de pintura permitiu observar e compreender as operações realizadas, questionar os colaboradores sobre diversos aspetos e melhor entender as suas dificuldades e limitações do trabalho.

De forma a analisar o layout, foi desenvolvido um modelo à escala em SolidWorks o que proporcionou uma clara análise visual e conveniência em experimentar alterações que implicam uma maior dificuldade logística. Para isso, foram recolhidas medidas do setor usando o laser e fita métrica com foco nos postes de suporte da estrutura da linha.

3.4 Estudo de Tempo

O estudo de tempo focou-se nos produtos mais frequentes na linha de pintura automática e com menor variabilidade, sendo estes os baldes para a John Deere com os vários modelos na

O mesmo estudo não teve igual nível de detalhe e rigor para produtos da Herculano pela enorme variedade de peças com difícil identificação, elevado número de amostras necessárias para cada combinação e disponibilidade de produtos para pintura.

Tabela 4 - Medidas e modelos de carregadores frontais JD

Ligeiro	Profissional	Profissional p/Grifa	Grande volume	Ligeiro c/dentes
1600	1850	1850	2300	1600
1850	2200	2200		2000
2000	2450	2450		
2200				
2450				

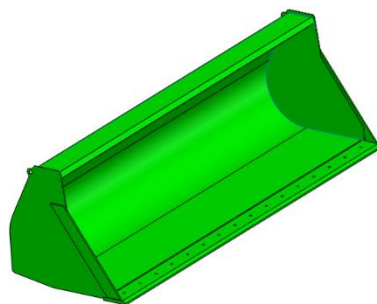


Figura 13 - Modelo de balde JD



Figura 14 - Balde JD em utilização

Durante o processo de carga, não existe uma necessidade de ordenamento dos modelos de baldes para a linha, sendo estes carregados aleatoriamente com exceção dos modelos de maior dimensão (2450 mm). Assim, não foi feita uma distinção entre cada combinação de 2 baldes no bastidor, mas sim uma análise geral deste tipo de produtos, de forma a obter um resultado global do processo. Esta generalização ocorreu também pela semelhante área de pintura que resulta na mesma quantidade de tinta consumida entre modelos.

Através do acompanhamento das operações realizadas na linha de pintura, foi observada a presença clara de um gargalo na aplicação de esmalte, evidenciado pela contante realização de pintura nesta cabine e existência de folgas significativas nos postos anteriores. Para a análise da aplicação de esmalte em carregadores frontais, esta foi dividida em 3 operações:

1. Sopragem para limpeza;
2. Deslocação e troca de pistola;
3. Aplicação de esmalte;

Seguidamente foram obtidos os seguintes dados e calculado o número de observações adicionais necessárias.

Tabela 5 - Tempos de operação para aplicação de esmalte (segundos).

Aplicação de esmalte															
Operação	Observações														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	66	65	57	44	51	41	41	41	52	58	53	43	42	47	54
B	23	19	22	27	21	27	26	20	19	20	16	14	17	21	28
C	846	728	821	753	828	725	656	641	711	745	713	601	766	840	747

Tabela 6 - Cálculo do número de observações necessárias.

Aplicação de esmalte					
UET	z	p	t	s	n
A	1,96	0,05	50,3	8,5	44,3
B	1,96	0,05	21,6	3,6	41,8
C	1,96	0,05	828,0	47,7	5,1

Da análise das restantes observações necessárias resultaram os seguintes valores para cada operação:

Tabela 7 - Tempo médio das atividades para aplicação de esmalte.

UET	Média (seg)	RF	Frequência	NT
1. Sopragem	50,4	1	1	50,4
2. Deslocação e troca de pistola	21,2	1	2	42,4
3. Aplicação de esmalte	797,6	1	1	797,6
Total				890,5

Aplicando assim um coeficiente de compensação aplicado na empresa de 14% resulta:

$$ST = 890,5 * (1 + 0,14) = 1015,17 \text{ segundos}$$

A partir do valor de standard time calculado, foi analisada a etapa anterior realizando a cronometragem da aplicação de primário e aplicada a mesma metodologia.

Tabela 8 - Tempos de operação recolhidos para aplicação de primário

Aplicação de primário															
	Observações														
UET	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
K	387	387	387	387	387	387	387	387	387	387	387	387	387	387	387

Tabela 9 - Número de observações necessário

s	p	t	z	Número de observações
26,3692	0,05	342	1,96	9,133472

Com a realização de 30 observações do processo de pintura de primário resulta assim:

$$NT = 350 * 1 * 1 = 350 \text{ segundos}$$

Sendo o standard time:

$$ST = 350 * (1 + 0,14) = 399 \text{ segundos}$$

Existindo assim uma diferença entre as duas operações de cerca de 616,17 segundos.

Ao observar o processo foi levantada a questão da necessidade de realização da atividade de limpeza antes da aplicação de esmalte. A eliminação desta etapa iria diminuir o gargalo existente e aumentar o ritmo da linha. Foi assim aplicada a ferramenta dos 5 Porquês.

Tabela 10 – Aplicação dos 5 Porquê

1º Porquê	2º Porquê	3º Porquê	4º Porquê	5º Porquê
Sujidade nas peças.	Bastidores corroídos em mau estado.	Ciclos de temperatura e desgaste resultante do produto de limpeza usado na lavagem.	É necessário produto para limpeza de oleosidades e impurezas.	
	Grande quantidade de tempo á espera no flash off. (34 min em simulação)	Processo de pintura dos baldes mais demorado.	Área e dimensão grandes e lenta aplicação de tinta.	Cuidado na aplicação para evitar escorridos de tinta.
	Sujidade no flash off que é transportada pelo alto fluxo de ar.	Ligação entre cabines aberta para o exterior.		
		Cabine de aplicação de esmalte sem portas contamina cabines anexas	Falta de espaço na instalação atual.	

Da análise dos problemas atuais, já são implementadas medidas corretivas como:

- Tratamento e pintura do corpo dos bastidores, de forma a remover a corrosão.
- Limpeza de 1 cabine por semana (total de 5 cabines).



Figura 15 - Sujidade proveniente dos bastidores oxidados na peça a repintar

Algumas medidas a tomar para ajudar a corrigir o problema são:

- **O isolamento do espaço entre as cabines e o exterior.** Evitaria a entrada de contaminantes e uma melhor circulação de ar quente para uma secagem mais eficiente, gerando também um melhor uso da energia térmica necessária no flash off.
- **O isolamento da cabine de esmalte das cabines anexas.** A instalação uma porta automática impediria contaminação de peças e do espaço em cabines anexas pelo excesso de tinta que não acaba nas peças. Esta tinta acaba por secar e criar sedimentos que podem ser transportados pelo grande fluxo de ar.

3.5 Modelo de Simulação em Arena;

As vantagens do uso de simulação são claras e incluem a possibilidade de testar hipóteses rapidamente com zero impacto no chão de fábrica, dada a não necessidade de pausar a produção e alterar equipamentos, técnicas ou funções de operadores. O software Arena foi assim usado como ferramenta de diagnóstico, mas também para exploração de hipóteses. Este foi usado na sua versão de estudante, apesar do limite do número de entidades, módulos e atributos, mas também efetuada uma comparação com a versão ilimitada do software para validação dos resultados obtidos.

O software Arena usa o método de eventos discretos consecutivos que marcam no tempo a mudança de estado, avançando de evento em evento instantaneamente.

Como a linha de pintura utiliza uma corrente para transporte dos bastidores num carril, após estudo das opções possíveis, foi usado um *conveyor* para simular o transporte das entidades entre paragens. A necessidade de definir restrições de transporte surgiu para evitar filas de espera nos processos de pintura, sendo cada paragem do modelo uma fila de espera de 1 unidade, usando para esse efeito os módulos *hold*. Sem estas condições, as entidades seriam transportadas e acumuladas a montante de cada processo. A libertação dos bastidores no software acontece com constante pesquisa pela condição verdadeira que permite avançar o bastidor. Esta condição resume-se em ter a próxima posição de paragem livre, ambos os trajetos, o que inicia e acaba nessa posição também livres e o *WIP* do próximo processo igual a zero.

Sempre que ocorre uma paragem de cada entidade, esta sai da linha de transporte *conveyor* com o módulo *exit*. Após a chegada á estação definida, segue para uma fila de espera de 1 unidade e, consoante a verificação da condição verdadeira (descrita acima) volta a entrar na linha para ser transportada para a próxima posição. Aquando da ocorrência de um processo, a entidade do modelo entra diretamente para o tal após saída do *conveyor*. Apenas depois de concluir a atividade, esta segue para a fila de espera *hold*, onde fica até se verificar a condição verdadeira. Esta sequência de módulos é repetida para representar todas as estações sem processos da linha.

O início da simulação decorre com o modelo sem entidades, o que leva á necessidade de um período de aquecimento para garantir o preenchimento da linha com bastidores. Foi definido assim um valor 8 horas e, para tal, inserida a possibilidade de entrarem entidades na linha de pintura sem requerer a saída.

Na estação do elevador da linha foi necessária a introdução de variáveis para controlar a sequência de operações, garantindo uma carga apenas seguida á descarga de material, e atributos para poder verificar estatísticas como *Lead Time*.

Foi considerada uma frequência de abastecimento de material superior á real de forma a permitir um rápido abastecimento da linha durante o período de aquecimento, mas também para garantir a inexistência de falta de material, sendo o excedente acumulado numa fila de espera.

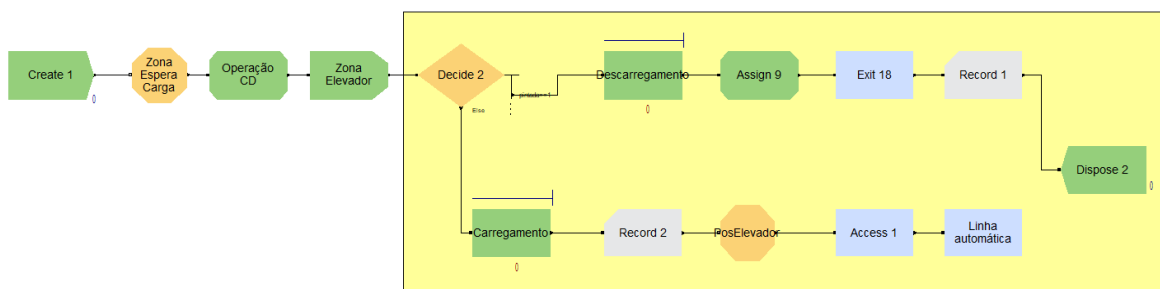


Figura 16 - Modelação da secção do elevador

Dadas as restrições da versão de estudante foi apenas considerado o percurso mais curto da linha de pintura automática, diminuindo a utilização de módulos e atributos, estando este percurso representado a amarelo na Figura 17.

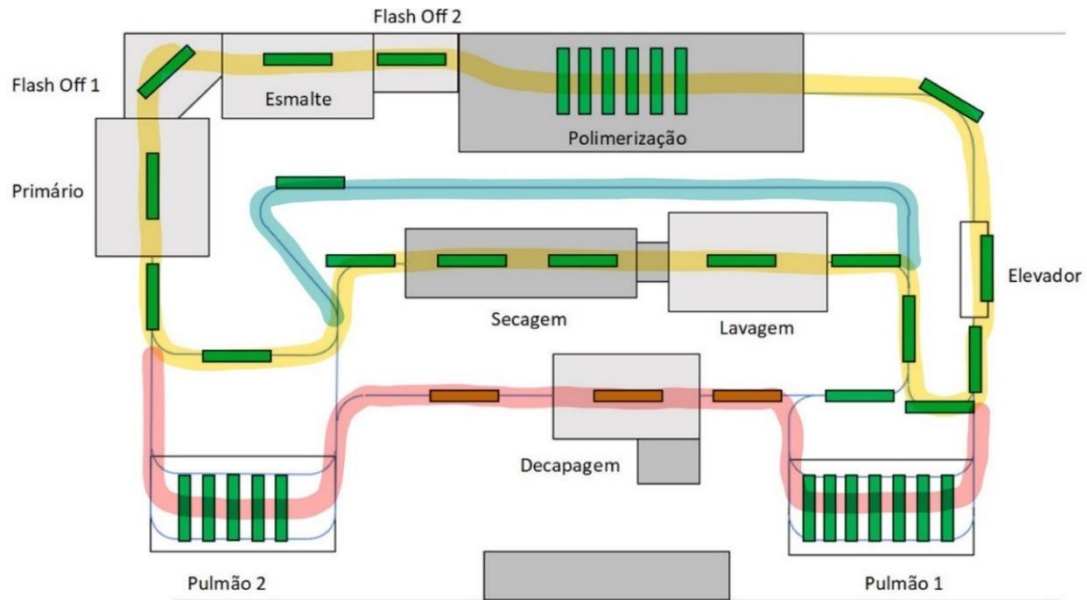


Figura 17 - Esquema da linha de pintura com identificação de circuitos

Na Figura 18 é apresentada a ilustração 2D do modelo de simulação com vários indicadores como número de entradas e saídas, WIP, tempo de espera do bastidor após aplicação de primário, tempo de espera do bastidor após secagem, entre outros. A construção da animação dos recursos permitiu a análise do modelo em câmara lenta de forma a melhor entender o seu funcionamento e prestar auxílio na busca de melhorias.

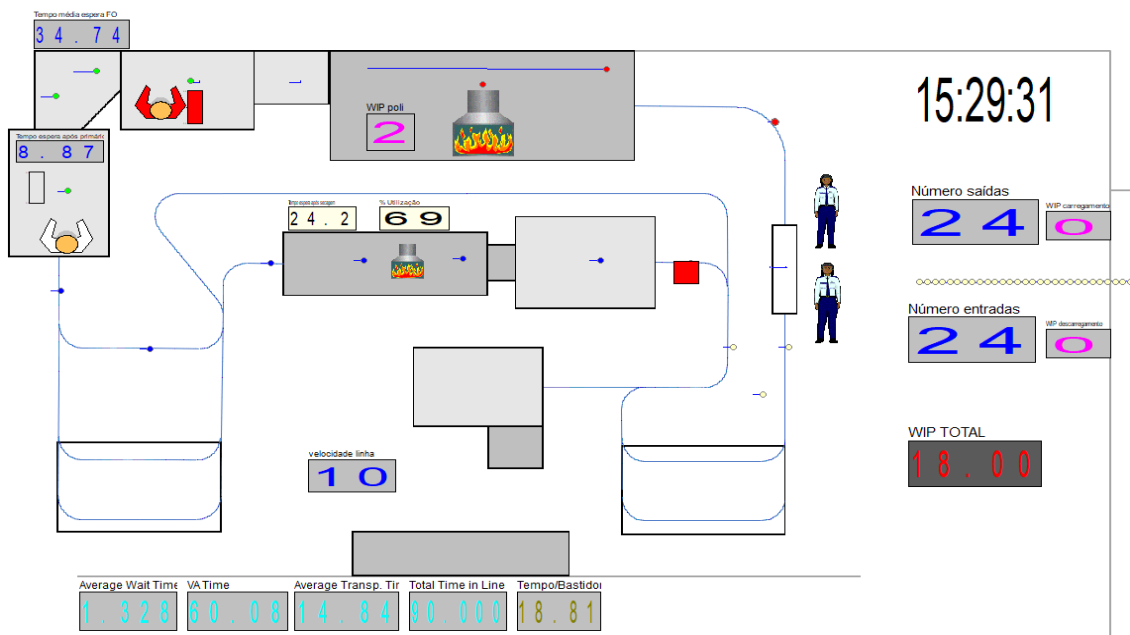


Figura 18 - Representação 2D do modelo de simulação

Para uma análise do cenário atual e realização de diagnóstico, foram considerados os seguintes dados recolhidos em chão de fábrica para a pintura de baldes. Esta recolha foi realizada uma recolha com recurso ao cronómetro e vídeos timelapse em vários postos, sendo inserida a informação no programa usando uma distribuição triangular (Tabela 11).

Tabela 11 - Tempo em minutos recolhido por operação de pintura de carregadores frontais John Deere

Tempo	Carga	Limpeza	Primário	Secagem F.O.2	Esmalte	Polimerização	Descarga
Máximo	4,6	6,1	7,0	10,0	17,0	6,7	8,2
Mínimo	1,8	3,8	4,7	-	10,8	6,7	3,5
Médio	2,8	4,8	5,8	-	14,5	6,7	5,7
Amostra	32	11	30	-	41	-	21

3.5.1 Análise de resultados em software

Os resultados obtidos são semelhantes aos observados no chão de fábrica, sendo o output cerca de 25 bastidores por dia de trabalho. Este valor reflete-se numa cadência de 3,25 bastidores/hora, o que é semelhante á amostra recolhida em chão de fábrica de 3,29 bastidores/hora.

Com o modelo de simulação obtém-se a seguinte ocupação de recursos para o estado atual:

Tabela 12 - Percentagem de ocupação de recursos 'as is'

Recurso	Função	Ocupação na tarefa
Operador do elevador	Carga e descarga	48,12 %
Operador do elevador	Carga e descarga	48,12 %
Operador da limpeza	Limpeza	26,00 %
Pintor de primário	Aplicar primário	32,15 %
Estufa Flash Off	Secar primário	96,91 %
Pintor de esmalte	Aplicar esmalte	75,99 %
Cabine de polimerização	Secar peças pintadas	36,67 %

A alta utilização da estufa de flash off resulta da presença de bastidores com peças no seu interior, o que acaba por ocupar o recurso, mas retirar rendimento ao mesmo, pelo tempo excessivo no seu interior.

O valor de ocupação de 76% do pintor de esmalte é também inferior ao real, dado que o modelo de simulação realiza as operações de forma sequencial, iniciando a atividade seguinte

apenas após a finalização da anterior. O mesmo não acontece na realidade sendo que o pintor inicia a limpeza e acaba a pintura durante os trajetos de transporte de entrada e saída da cabine, que se traduz numa ocupação de cerca de 90% segundo a análise realizada em chão de fábrica (Tabela 13). A diferença entre estes valores justifica-se pelo coeficiente de 14% atribuído para descanso, tempo de espera para transporte de bastidores e 15 minutos no início e final do dia para limpeza de equipamentos e início do trabalho que no modelo de simulação estão categorizados como pausa de trabalho.

Tabela 13 – Sumário de amostras de registo manual de tempos para carregadores frontais

Descrição	Valor
∑ Tempo de pintura c/ deslocções (segundos)	14912
∑ Tempo em espera (segundos)	0
∑ Tempo de limpeza (segundos)	1510
∑ Tempo de interrupções (segundos)	1883
∑ Tempo (segundos)	18305
∑ Bastidores	20
% de tempo em pintura	81,46%
% de tempo ocupado	89,7%

Da cronometragem das atividades necessárias para a pintura dos produtos em foco, resultou assim o seguinte gráfico de barras (Figura 19) para análise e comparação do tempo produtivo em cada posto versus as folgas existentes.

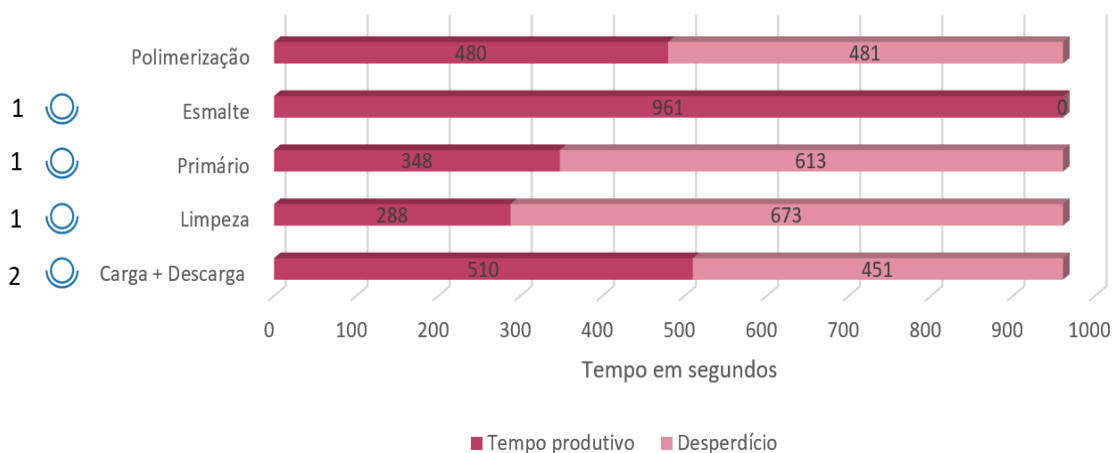


Figura 19 - Comparação entre tempo produtivo vs. não produtivo por posto

Analisando a situação atual da linha de pintura obtemos um valor de eficiência da linha de pintura de 54,4% para a pintura de produtos decapados para a John Deere.

$$\frac{961 + 348 + 288 + 510 + 510}{5 * 961} = 54,4 \%$$

Este valor é notoriamente baixo dada a presença de um gargalo, identificado da análise da Figura 19 na etapa de aplicação de esmalte. Sendo a ocupação do pintor cerca de 90%, foi feita uma análise para compreender a demora no processo tendo sido identificadas as seguintes razões para o TC elevado:

- Necessidade de aplicação de tinta de uma forma mais distribuída, de forma a evitar escorridos de tinta na peça;
- Grande área de pintura das peças no bastidor, sendo superior a 20m²;
- Volume das peças requer mais cuidado com ângulos e movimentações para deslocar em redor do bastidor.

De forma a diminuir o TC e aumentar a eficiência da linha foi considerada a realização de um nivelamento entre postos de trabalho dada a folga existente entre os vários postos.

3.6 Etapa da Decapagem

Pelo foco no processo de pintura e tratamento de superfície dos baldes para a John Deere foi também analisada a etapa de decapagem. A decapagem é um tratamento de superfície para remoção de irregularidades e detritos, sendo usada na Herculano como preparação para a pintura de forma a obter uma adesão da tinta e durabilidade superiores. O processo consiste na projeção de partículas, neste caso granalha metálica, contra a superfície da peça. Para aceleração das partículas é usado ar comprimido.



Figura 20 - Granalha usada no processo de decapagem

A linha de pintura instalada na empresa foi conceptualizada para trabalhar em conjunto com a cabine de decapagem, no entanto tal não acontece por dificuldades impostas, sendo as mais significantes:

- Altura superior dos baldes em relação ao operador quando pendurados no bastidor;
- Dificuldade em chegar a certas zonas obstruídas pelo suporte de apoio do balde;
- Maior dificuldade em decapar o topo interior e a face inferior dos baldes;
- Tempo de ciclo da decapagem significativamente superior ao de pintura.

Desde a instalação da cabine e linha automática que o processo tem sido feito com recurso ao empilhador para abastecimento. Com as peças no chão, o operador tem uma maior facilidade de projetar granalha perpendicularmente á superfície e assim decapar de uma forma mais eficiente, no entanto é-lhe implicada a necessidade de manuseamento das peças.

Tratando-se de uma indústria metalomecânica, o peso dos produtos de menor dimensão que passa por este tratamento de superfície é de 50 Kg, podendo ir até 360 Kg para um balde de maior dimensão, requerendo o uso de uma alavanca para rotação do mesmo.

De forma a tentar melhorar este processo, retirando esforço ao operador e tirar proveito do equipamento já instalado, foi feita uma análise e recolha de tempos de realização da atividade a partir do exterior da cabine, onde se obtiveram os seguintes resultados (Tabela 14):

Tabela 14 - Tempos recolhidos para decapagem

Operação	Tempo médio	Nº de op.	Tempo homem	Nº de observações
Espera	00:03:06	1	00:03:06	16
Troca de peças	00:05:54	2	00:11:48	15
Decapagem	00:18:06	1	00:18:06	14
Total	00:27:06		00:33:00	-

Segundo os dados recolhidos, do tempo necessário para a realização de um ciclo de decapagem, 45% do tempo é despendido em espera e troca de produtos da cabine. Este tempo tem origem na necessidade do operador do empilhador no processo que tem a função de retirar os baldes da cabine, armazenar os mesmos e efetuar o transporte de mais dois. O operador da decapagem tem de esperar no final de cada ciclo pelo empilhador, podendo estar noutra local da fábrica a realizar transporte de material ou alfaias.

A utilização da linha automática levaria a uma poupança de tempo de transporte e eliminação da dependência do empilhador, eliminação do tempo de espera do operário da decapagem e evitar o acumular de baldes á entrada da cabine (stock decapado pronto a pintar).

Sendo a etapa de decapagem bastante agressiva para o operador e todos os equipamentos, foi construída uma caixa de proteção para a câmara para permitir observar o processo do interior da cabine (Figura 21) e, em conjunto com os colaboradores, identificar as dificuldades no processo com recurso á elaboração de um diagrama de Ishikawa.



Figura 21 - Caixa para proteção da câmara

A utilização da câmara de vídeo permitiu também analisar e sintetizar no gráfico abaixo de que forma o tempo é despendido. No gráfico circular encontra-se representado o tempo no interior e exterior da cabine e a sua identificação conforme a tarefa a ser realizada. A fatia verde corresponde á percentagem de tempo em que a cabine se encontra de portas fechadas com o operador.

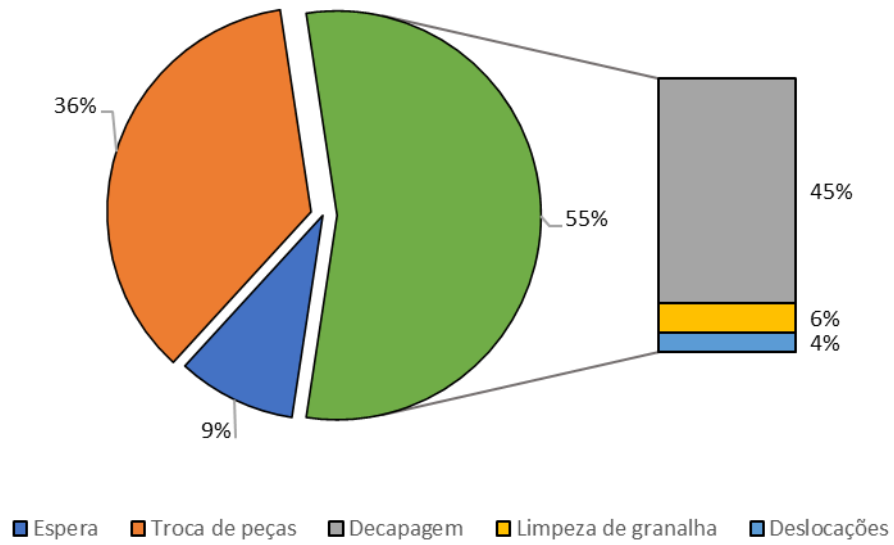


Figura 22 - Distribuição de tempo necessário para decapagem de baldes

Assim, com o auxílio do registo obtido em timelapse e com os colaboradores foram identificados os seguintes problemas na realização da tarefa no diagrama de Ishikawa apresentado.

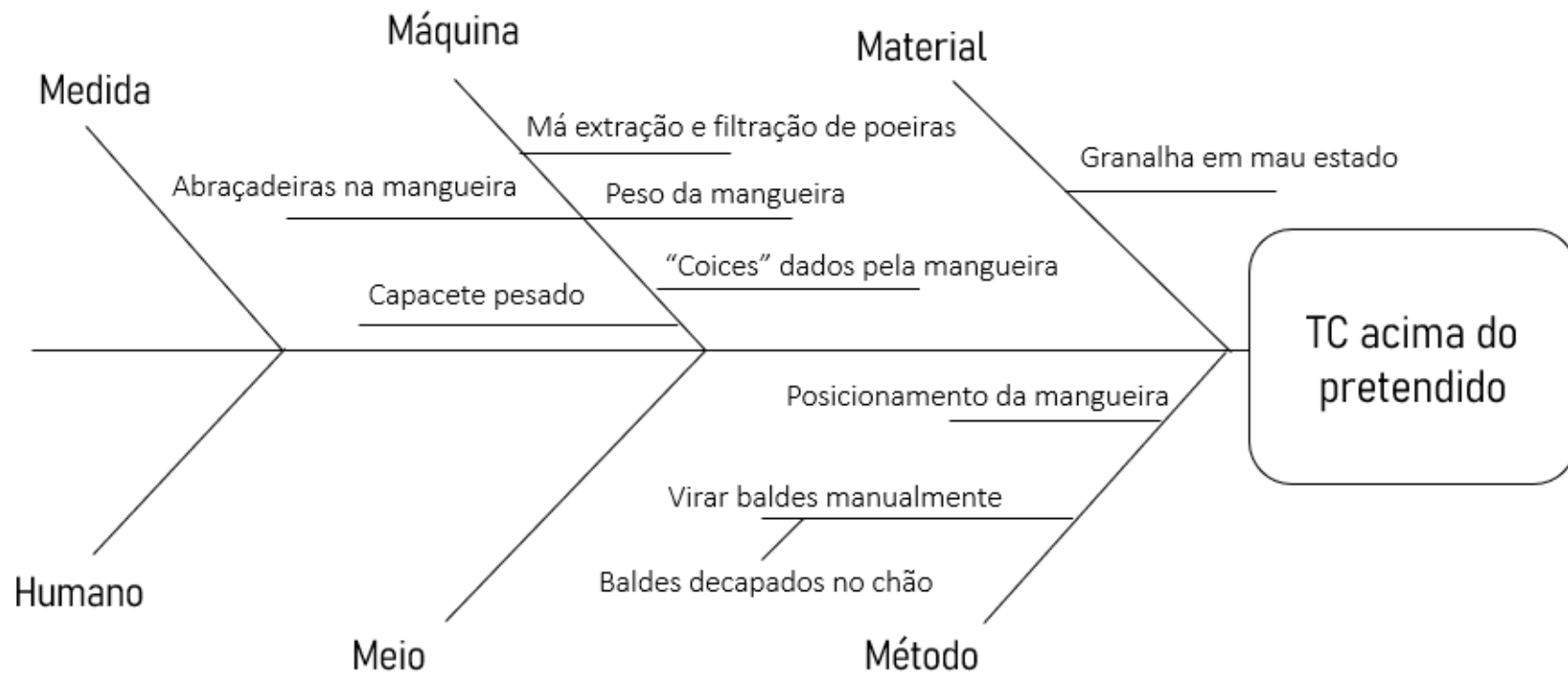


Figura 23 - Diagrama de Ishikawa para a etapa de decapagem

Segundo as causas identificadas no diagrama construído (Figura 23), existe uma forte necessidade de aposta na manutenção do equipamento, estando o potencial máximo por atingir pela presença ainda de várias dificuldades para os operadores.

Uma das opções a considerar foi a aquisição de um equipamento de decapagem automática. Este requeria apenas a necessidade do operador a ligar e desligar o mesmo e permitiria um funcionamento em contínuo da linha em conjunto com a decapagem. Foram realizadas visitas pelo fornecedor e foi feito um acompanhamento para apoio no dimensionamento da solução automática com o desenvolvimento de um esboço e modelos da cabine em SolidWorks (Figura 24 e Figura 25) para efeitos de referência e ponto de partida, assim como recolhidos e fornecidos dados dos produtos a decapar.

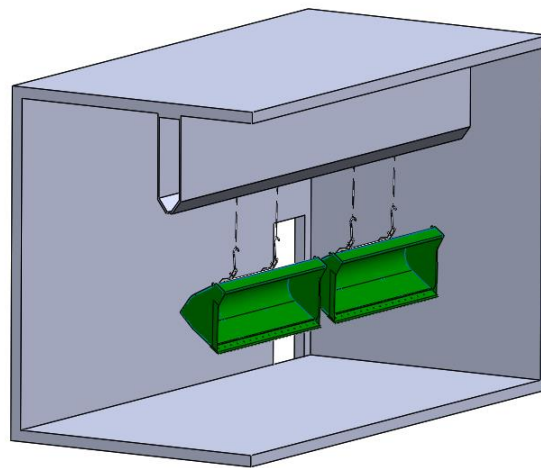


Figura 24 - Modelo em SolidWorks da cabine de decapagem

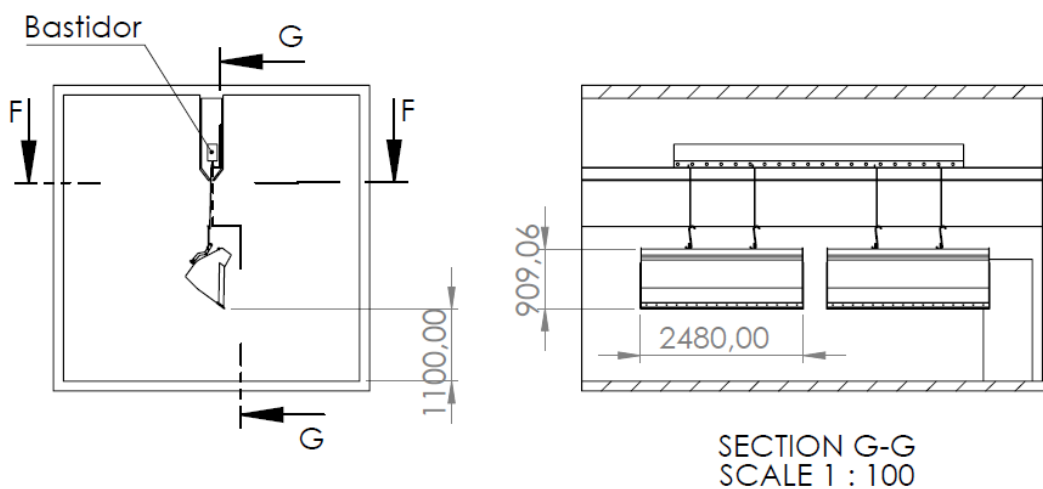


Figura 25 - Desenho e configuração dos produtos na cabine de decapagem

Como alternativa ao equipamento automático, dado o seu grande custo, foi também conceptualizada uma estrutura metálica para ser utilizada dentro da cabine de forma que o operador fique a uma altura adequada para a realização da tarefa. Este equipamento foi modelado em SolidWorks com recurso á ferramenta weldments (Figura 26). Esta estrutura seria instalada de ambos os lados da cabine em carris de forma a permitir o seu deslocamento no interior, mas também permitir retirar a mesma da cabine para decapagem de produtos de grande dimensão.

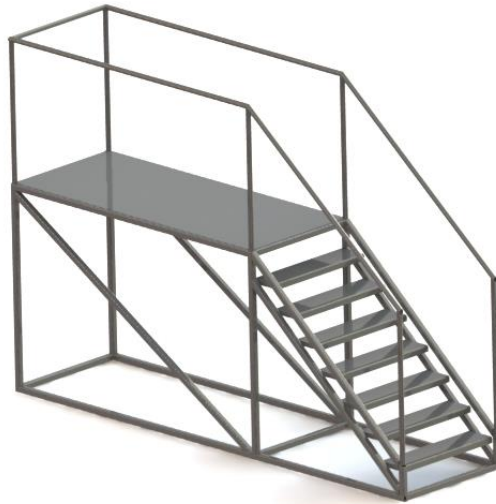


Figura 26 - Estrutura para operação de decapagem

Como forma de teste á funcionalidade do conceito, foram aproveitadas 2 estruturas pré-existentes sem utilidade e soldadas pranchas de chapa gota ao topo das mesmas, resultando assim em duas plataformas (Figura 27) para o operador poder realizar o teste e ser efetuada uma recolha de tempos para a operação.



Figura 27 - Plataformas para realização de teste

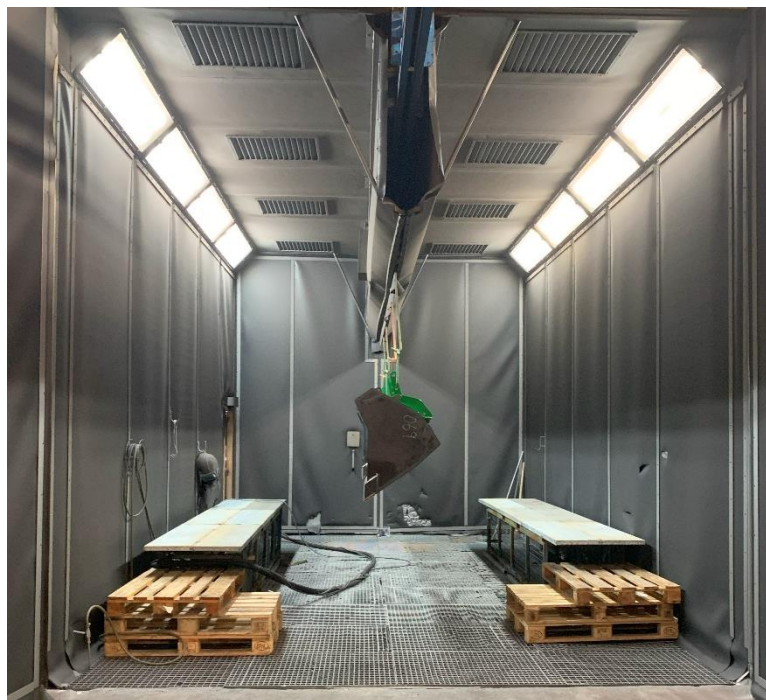


Figura 28 – Configuração usada para o teste com as estruturas

As plataformas têm uma altura de 67 cm, largura de 80 cm e comprimento aproximado de 420 cm e foram instaladas conforme a Figura 28.

O acompanhamento do projeto foi realizado num relatório A3 para rápida apresentação de resultados e análise de problemas identificados.

Problema em causa

Decapagem manual fora da linha automática;

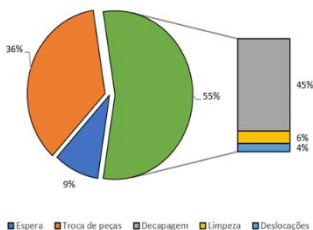
Implicações causadas:

- ⇒ Necessidade de criação de stock;
- ⇒ Dependência do empilhador;
- ⇒ Espera pelo empilhador;
- ⇒ Tempo homem de troca de produtos alto;

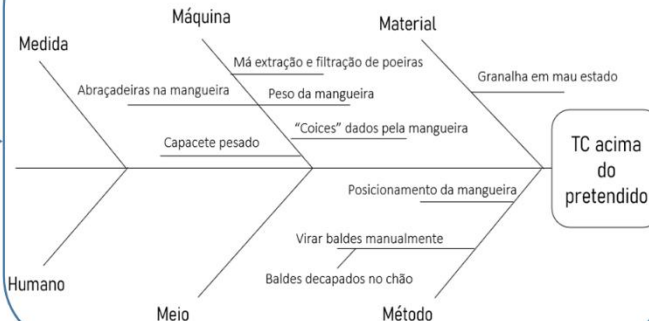
Situação Atual

- ⇒ Abastecimento pelo empilhador;
- ⇒ Decapagem com posicionamento de peças no chão;
- ⇒ Transporte e armazenamento de stock intermédio;
- ⇒ Espaço e buffer da linha sem utilização vantajosa.

Operação	Mão de obra
Espera	00:03:06
Troca de peças	00:11:48
Decapagem	00:18:06
Total	00:33:00



Levantamento de dificuldades para redução do TC



TC acima do pretendido

Ações realizadas

- Recolha de medidas e teste de passagem de bastidor pela cabine;
- Desenvolvimento de plataforma para o operador em SolidWorks.
- Orçamento para novo capacete.

Plataforma de teste



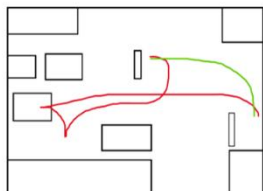
Plataforma modelada



261,30 €/un. + IVA

Objetivo futuro

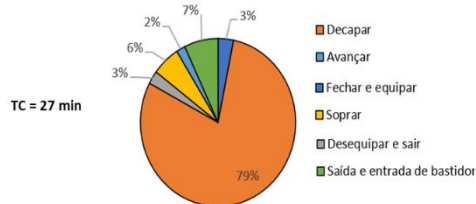
- Decapagem em conjunto com a linha automática;
- TC de 16 minutos;
- Eliminação dos percursos a vermelho do empilhador;



Dificuldades do objetivo

- Posição em altura das peças penduradas na linha;
- Dificuldade de instalação de equipamentos sensíveis à projeção de granalha;
- Zona de apoio do balde no suporte protegida da projeção de granalha;
- Tempo de ciclo >> superior às restantes etapas.

Resultados obtidos e trabalho futuro



TC semelhante mas novas dificuldades encontradas:

- Posição para decapar baldes desconfortável;
- Zona interior do balde sem iluminação e resulta em qualidade inferior;
- Secção tapada do balde pelo suporte não permite decapagem com qualidade;
- Granalha entre os pinos de fixação;
- Peças balançam com projeção de granalha;

Propostas de ação

- ⇒ Estudo da mistura de granalha;
- ⇒ Manutenção aos equipamentos;
- ⇒ Manga para a mangueira;
- ⇒ Staker para o setor da pintura;

Da experiência foram obtidos os seguintes tempos para as atividades necessárias:

Tabela 15 - Tempos de operações realizadas no teste de decapagem

Operação	Tempo médio	Nº de operadores	Nº de observações
<i>Fechar cabine e colocar equipamento</i>	00:00:52	1	4
<i>Decapar</i>	00:21:25	1	4
<i>Desequipar e sair</i>	00:00:41	1	4
<i>Limpeza com ar comprimido</i>	00:01:34	1	2
<i>Sinalizar avanço do bastidor</i>	00:00:30	1	1
<i>Saída e entrada de bastidor</i>	00:01:54	1	-
<i>Total</i>	00:26:57		-

No seguinte quadro encontram-se resumidas as dificuldades que surgiram no acompanhamento do processo com os operadores.

Tabela 16 - Dificuldades identificadas em conjunto com o operador

Dificuldades encontradas

<i>1. Posição para decapar zona inferior do balde desconfortável.</i>
<i>2. Zona interior do balde sem iluminação.</i>
<i>3. Secção do balde tapada pela barra de suporte não permite decapagem com qualidade.</i>
<i>4. Área interior superior com pouco grau de decapagem.</i>
<i>5. Granalha entra nos pinos de fixação do suporte e dificulta a sua remoção.</i>
<i>6. Balançar das peças penduradas pela projeção de granalha.</i>
<i>7. Iluminação da cabine ofusca operador</i>

Apesar do tempo de ciclo da etapa de decapagem ser semelhante ao observado com abastecimento pelo empilhador, ambos os métodos possuem oportunidades de melhoria, seja na diminuição ou eliminação da espera do empilhador, como na realização da etapa da limpeza no método testado por um outro operador com folga.

Tendo sido a experiência realizada no período final do estágio, não foi possível desenvolver e testar soluções para mitigar alguns dos problemas identificados, no entanto foi possível definir um ponto de partida para soluções futuras emergentes e melhor avaliar as mesmas.

Como resultado deste teste, foi possível escolher o método a aplicar dada a preferência dos operadores, o que levou a que o mesmo método a ser usado até agora continue em vigor e permite que o pulmão 1, necessário para o transporte de bastidores pela linha para a cabine de decapagem, possa ser utilizado para armazenamento de stock.

Assim, é possível beneficiar de uma área aproximada de 105m² (15m x 7m) para armazenamento de stock de produtos pintados.

3.7 VSM do Fabrico de Baldes

Com todos os dados obtidos e previamente inexistentes foi assim possível elaborar um VSM para esta gama de produtos, focado no balde profissional de 2200mm, para o qual foi analisado o tempo em stock. Com o auxílio dos membros do departamento foi assim possível obter dados dos restantes processos a montante para completar o diagrama. Este servirá assim de base para documentação do processo e identificação de melhorias.

A parte superior do diagrama é referente ao processo global, no entanto o foco deste projeto foi a secção de pintura, sendo esta ilustrada na parte inferior do mesmo com maior nível de detalhe.

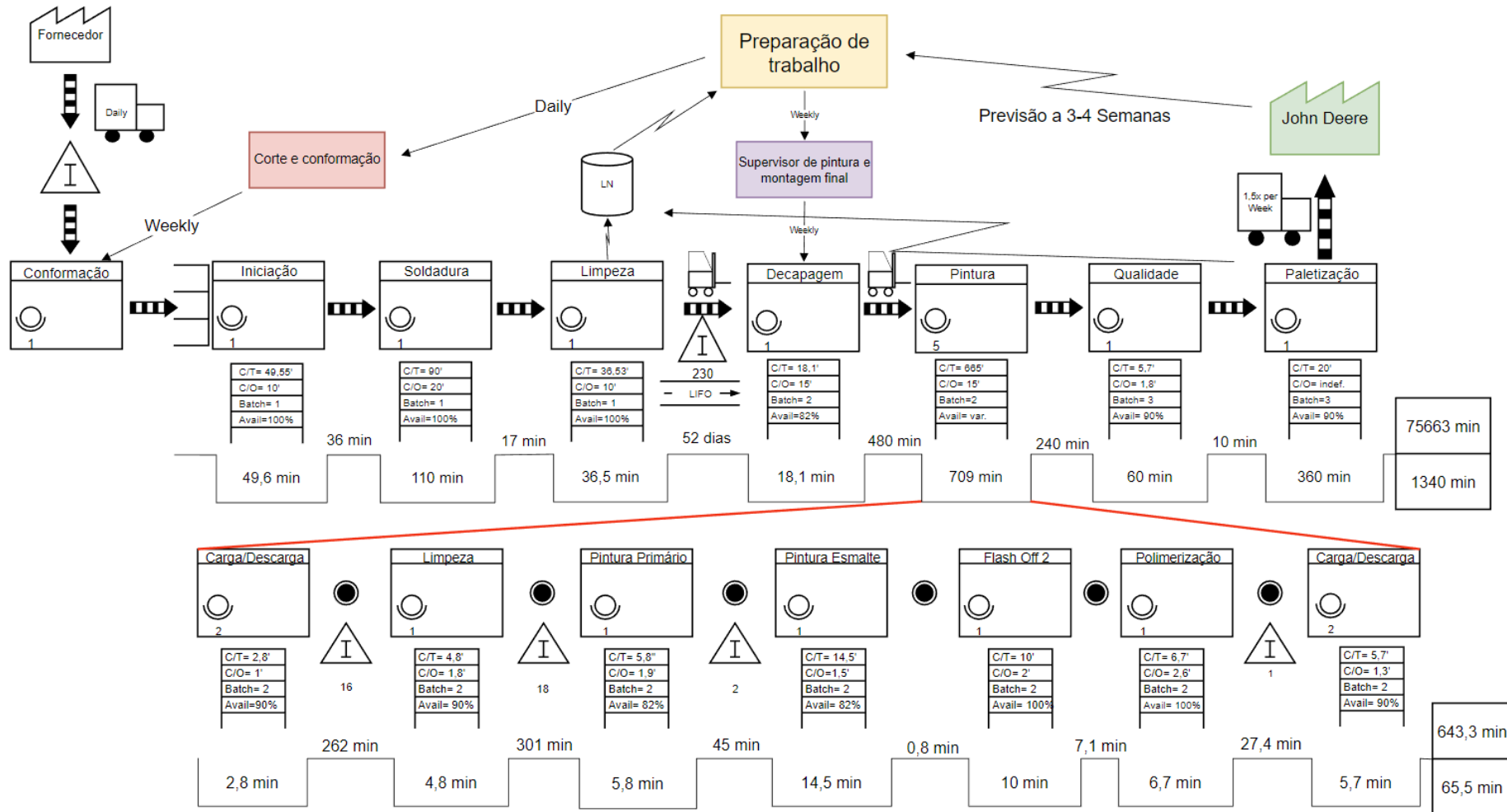


Figura 29 - Diagrama VSM de baldes JD

4 Sugestões de Melhoria e Resultados Obtidos

4.1 Balanceamento de Postos de Trabalho

De forma a tentar maximizar o output da linha automática foi analisada a possibilidade de balanceamento dos postos de trabalho para a pintura de baldes, tentando melhor aproveitar a mão de obra existente no setor. Da análise realizada no capítulo anterior é possível calcular o número mínimo de postos de trabalho a partir do posto gargalo (Figura 19).

$$\text{Número mínimo} = \frac{480+961+348+288+510+510}{961} = 3.22 \text{ operadores}$$

Para o processo de pintura de baldes JD e material decapado em conjunto, são apenas necessários 4 colaboradores, sendo a alteração de 5 colaboradores para 4 possível quando deixar de ser necessária a operação de lavagem, realizada para produtos Herculano. A limpeza efetuada na zona anterior á cabine de lavagem pode ser atribuída a um dos operários da estação do elevador, permitindo assim a libertação de um elemento.

Dada a folga existente do operador da cabine de primário, foi estudada a possibilidade de atribuir a tarefa de sopragem de baldes com ar comprimido, realizada pelo pintor de esmalte, a este operador, resultando numa poupança aproximada de 93 segundos por bastidor.

Para a realização desta operação seria necessária a instalação de iluminação apropriada no flash off e degraus que facilitassem a deslocação entre as cabines ao operador. Os tempos para o cálculo desta poupança foram obtidos usando timelapse para contabilizar as deslocações para troca de pistola e o tempo de limpeza com ar comprimido.

Destas propostas de nivelamento surgiu o seguinte gráfico de ocupação dos recursos:

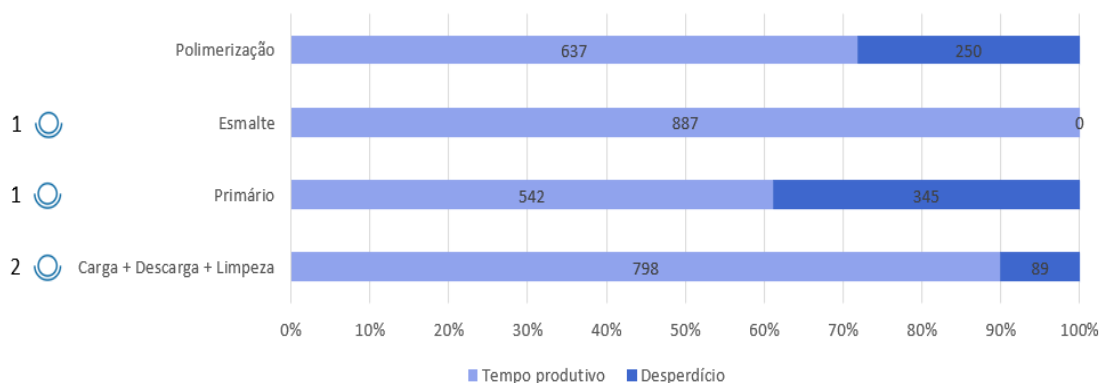


Figura 30 - Gráfico de tempo de ciclo por operação após nivelamento

O valor de eficiência da linha passaria assim de 54,4% para 78,7%.

$$Eficiência = \frac{887 + 542 + 798 + 798}{4 * 961} = 78,7 \%$$

A partir da recolha de dados efetuada, foi assim realizado o teste destas hipóteses no modelo desenvolvido no software Arena com base na Tabela 11, resultando no seguinte quadro de ocupação de recursos (Tabela 17).

Tabela 17 - Taxa de ocupação dos recursos disponíveis após nivelamento

Recurso	Função	Ocupação (as is)	Ocupação (to be)
Operador do elevador 1 (Op1)	Carga e descarga	48,12 %	79,27 %
Operador do elevador 2 (Op2)	Carga e descarga	48,12 %	49,75 %
Pintor de primário (Pint 1)	Aplicar primário	32,15 %	44,75 %
Estufa Flash Off (SecadorFO)	Secar primário	96,91 %	97,38 %
Pintor de esmalte (Pint 2)	Aplicar esmalte	75,99 %	67,98 %
Cabine de polimerização (Polimerizador)	Secar peças	36,67 %	36,26 %

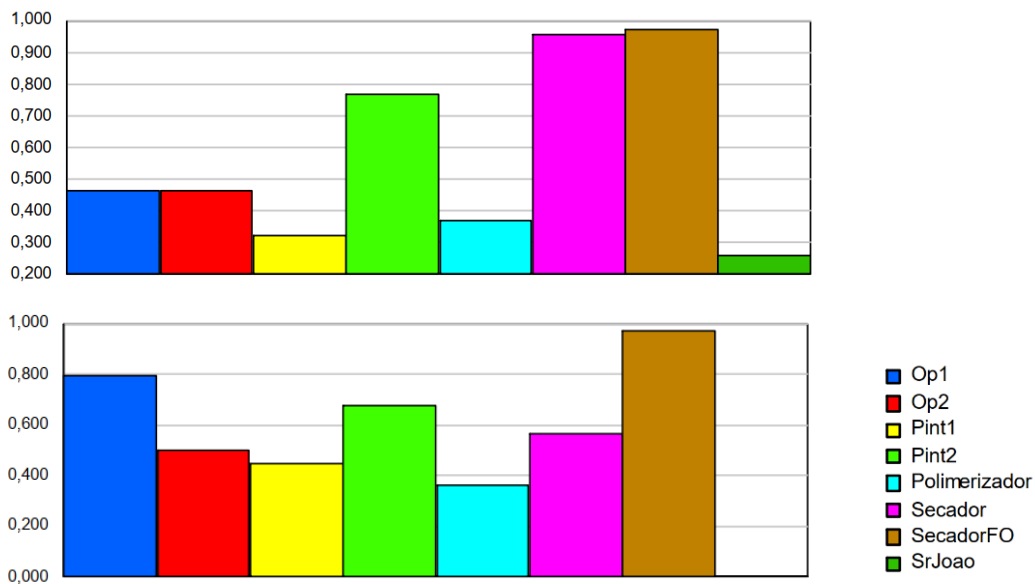


Figura 31 - Gráficos de taxa de ocupação de recursos, no software Arena: 'as is' (acima) vs. 'to be' (abaixo).

A alta utilização do recurso 'SecadorFO', correspondente á estufa anterior á aplicação de esmalte, deve-se á permanência de bastidores em espera que acabam por ocupar o recurso e influenciar a estatística de utilização. Na Figura 31 está ilustrada uma melhor distribuição da carga de trabalho e remoção de 1 pessoa da linha automática.

Com a atribuição da tarefa de limpeza ao operário do elevador obtemos:

$$Poupança 1 = 12,12 \left(\frac{€}{h}\right) * \frac{16,1}{60} (horas) * 1(operador) * \frac{2179}{2} (bastidores) = 3543,3€$$

Com a alteração da sopragem do pintor de primário para o pintor de esmalte obtemos:

$$Poupança 2 = \frac{93}{3600} (horas) * 12,12 \left(\frac{€}{h}\right) * 4 * \frac{2179}{2} (bastidores) = 1365,5€$$

A realização deste balanceamento traria uma diminuição de tempo de ciclo da etapa gargalo cuja poupança permitiria a pintura de um bastidor de baldes adicional por dia e ainda a diminuição do custo anual de pintura de em 4908,8€ para uma produção equivalente á de 2022.

Esta poupança estende-se também aos restantes produtos decapados, no entanto, não foi possível calcular um valor aproximado pela falta de um número adequado de observações e quantidade de vendas de porta paletes, espelhos e grifas.

4.2 Soluções para Redução de Esforço e Diminuição de Tempo de Ciclo;

4.2.1 Suporte para ganchos e reorganização de material

Ao analisar as operações realizadas na estação do elevador foi possível identificar dificuldade dos operadores em alcançar e escolher os ganchos necessários para pendurar a carga. O sistema usado consiste num contentor com 4 divisórias a separar os ganchos semelhante ao da Figura 32, sobre o qual os operários precisam de se debruçar e esticar-se para chegar aos ganchos no fundo. Ao chegar os ganchos pretendidos precisam de separar os demais, que vêm juntos por encaixe uns nos outros, levando a trabalho não produtivo a selecionar e separar.

Com o recurso á ferramenta CAD Solidworks, foi possível idealizar uma solução para facilitar o trabalho de setup do operador, através do correto armazenamento dos ganchos consoante a frequência de uso e dimensão (Figura 33 - Estante de ganchos modelada).

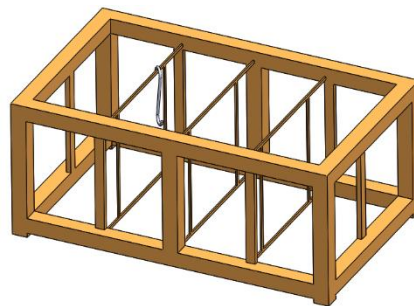


Figura 32 - Contentor usado 'as is'

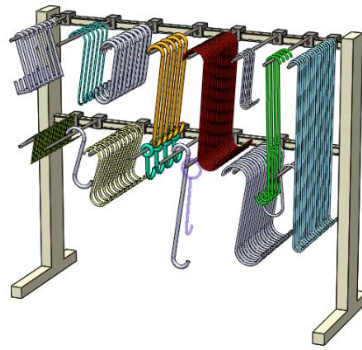


Figura 33 - Estante de ganchos modelada

Durante o movimento de alcance dos ganchos existe também o risco de lesão provocado pela presença de uma barra estrutural da instalação do elevador diretamente acima do contentor, que se encontra na trajetória do movimento realizado, como é exemplificado na Figura 34.

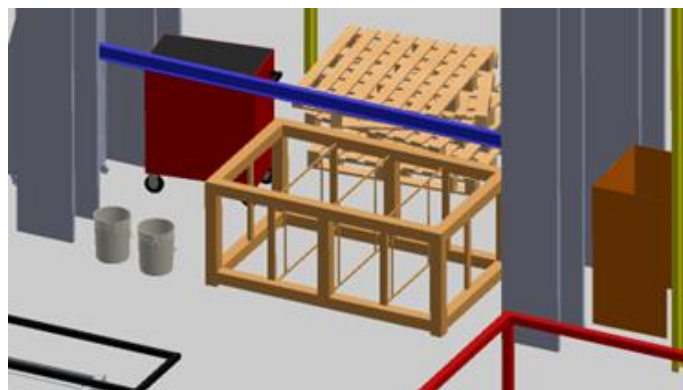


Figura 34 - Representação 3D 'as is'



Figura 35 – Representação da estante no local de trabalho

De forma a diminuir custos e testar o conceito foi desenvolvida uma segunda versão de forma a aproveitar a barra estrutural presente (ilustrada a azul na Figura 34), tendo sido contruída assim a seguinte solução (Figura 37), com a grande vantagem de baixo peso, fácil instalação e dimensionada com a possibilidade de adicionais mais níveis para armazenamento em caso de necessidade.

O uso da simulação em SolidWorks permitiu auxiliar o dimensionamento do tubo necessário para a construção, minimizando o peso da estrutura, custo e mantendo uma baixa flexão do suporte (Figura 36).

A construção implicou o gasto de 13m de tubo $\frac{3}{4}$ " com um custo por metro de 0,80€ e um custo de mão de obra necessária para a sua construção estimado em 12,12€. O custo total da estrutura foi 22,52€.

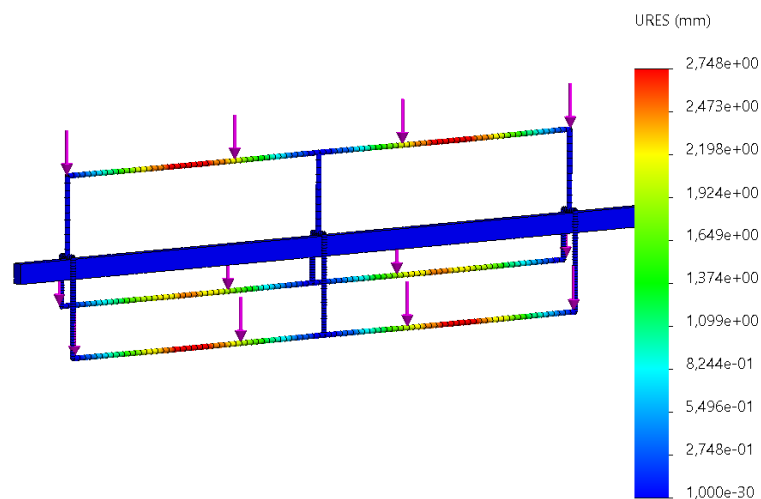


Figura 36 - Teste de deformação á estrutura desenvolvida com uma carga total de 450kg

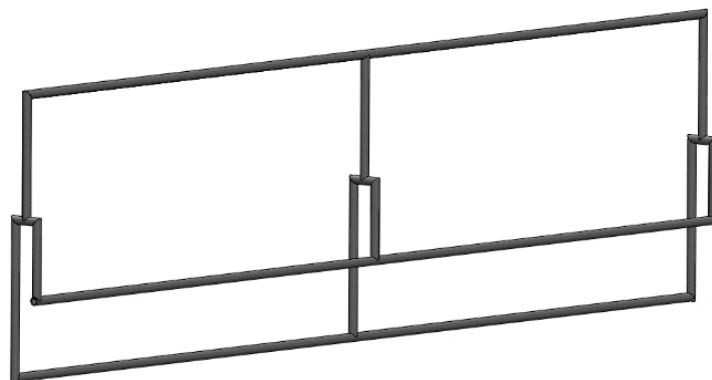


Figura 37 - Suporte final aplicado

Com um valor máximo de deformação de 2,75mm, este foi considerado aceitável para a estrutura sendo que a utilização de um tubo de maior diâmetro dificultaria o encaixe de ganchos mais pequenos no suporte.

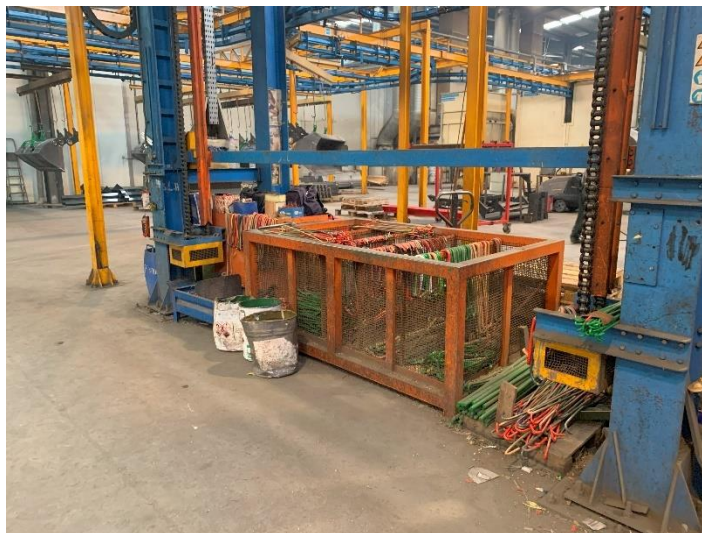


Figura 39 - Estação do elevador antes da aplicação da estrutura e reorganização do local de trabalho



Figura 38 - Estrutura de suporte para ganchos aplicada

Aliado à sessão de formação realizada com os operadores, foi possível aplicar a metodologia 5S no local de trabalho, resultando num ambiente mais limpo e organizado. A aplicação decorreu em conjunto com a alteração de layout de alguns dos produtos em curso de fabrico e reorganização de material no setor para diminuição do espaço ocupado. A remoção de bastante material excedente desnecessário permitiu melhor organizar e posicionar os equipamentos do setor, como a deslocação da estante de consumíveis para um local significativamente mais próximo do local onde estes são usados.



Figura 40 - Local de trabalho após aplicação do suporte e organização dos equipamentos



Figura 41 - Material desorganizado



Figura 42 - Material reorganizado

Adicionalmente, em conjunto com a análise e alteração de layout, foi delimitada área para armazenamento de stock de produto de média dimensão a ser decapado, como grifas e garfos da figura acima.

4.2.2 Botões adicionais para pintor de esmalte;

Da análise realizada com base em timelapse, apenas 1 bastidor de 119 registros para tinta de base aquosa não requereu a elevação de ambas as plataformas ao dispor do pintor em cada lado no interior da cabine. O seguinte diagrama de spaghetti exemplifica a deslocação do operador durante um ciclo de pintura, onde estão representadas as alavancas para acionar o elevador e o botão de sinalização ao sistema para avançar o bastidor.

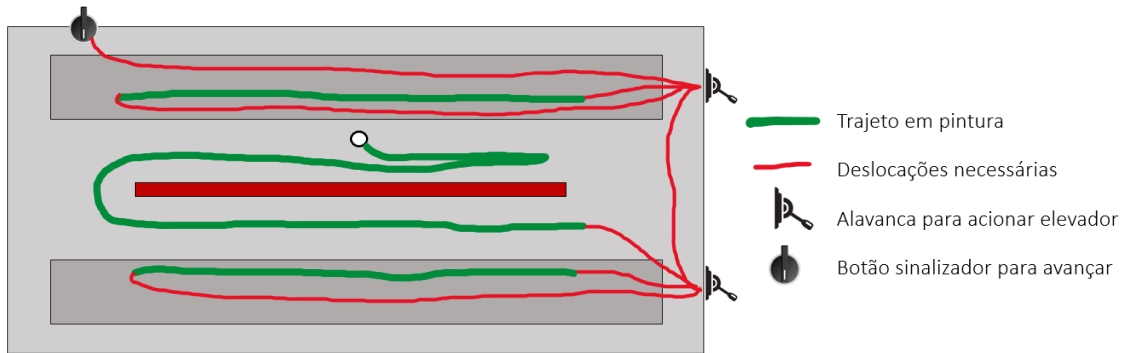


Figura 43 - Spaghetti de um ciclo de pintura de esmalte

Foi assim elaborado a sequência de atividades realizadas durante um ciclo de pintura, com o objetivo de melhor mapear e identificar desperdício pela sua classificação.

Passo	Operação	Deslocação	Inspeção	Espera	Armazenamento	Descrição
1	○	→	□	✓	▽	Espera
2	○	→	□	D	▽	Início da pintura do bastidor
3	○	→	□	D	▽	Troca de lado do bastidor
4	○	→	□	D	▽	Pintura do lado contrário
5	○	→	□	D	▽	Sobe plataforma
6	○	→	□	D	▽	Pintura da parte superior
7	○	→	□	D	▽	Desloca-se para o comando p/elevação
8	○	→	□	D	▽	Desce plataforma
9	○	→	□	D	▽	Troca de plataforma
10	○	→	□	D	▽	Sobe plataforma
11	○	→	□	D	▽	Pintura da parte superior
12	○	→	□	D	▽	Desloca-se para o comando p/elevação
13	○	→	□	D	▽	Desce plataforma
14	○	→	□	D	▽	Desloca-se para o botão P/sinalizar avanço
15	○	→	□	D	▽	Carrega no botão
Total:	5	9	0	1	0	

Figura 44 - Mapeamento das atividades do pintor de esmalte durante um ciclo 'as is'

Para combater as deslocações sem valor acrescentado, foi idealizada a instalação de dois botões na parede, á altura da plataforma, para que o pintor possa assim sinalizar ao sistema a finalização da pintura do bastidor e iniciar o movimento de troca sem ter de se deslocar até á entrada da cabine. Esta melhoria permite que o pintor tenha um menor esforço e ainda um tempo de ciclo inferior. O diagrama de spaghetti e mapeamento das atividades com esta melhoria são assim apresentados abaixo.

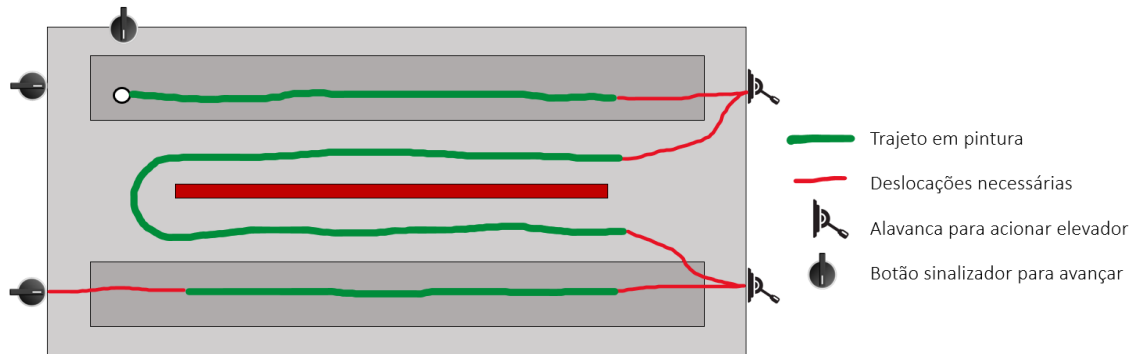


Figura 45 - Spaghetti idealizado para um ciclo de pintura de esmalte

Passo	Operação	Deslocação	Inspeção	Espera	Armazenamento	Descrição
1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Espera
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Início da pintura do bastidor na parte superior
3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Desce plataforma
4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pintura da parte inferior
5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Troca de lado
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pintura da parte inferior
7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sobe plataforma
8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pintura da parte superior
9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Carrega no botão de sinalizar avanço
Total:	5	3	0	1	0	

Figura 46 - Mapeamento das atividades do pintor de esmalte durante um ciclo 'to be'

Após comparação de ambos o diagramas, é possível observar uma diminuição do número de deslocações do operador e, subseqüentemente, uma simplificação do diagrama de spaghetti do mesmo.

No processo de pintura de tinta de base aquosa, a etapa de aplicação de esmalte nem sempre é a etapa gargalo, dada a necessidade de secagem de primário em flash off (20 min), no entanto, a diminuição do tempo perdido em deslocações permitiria eliminar casos onde existe gargalo na estação, assim como colocar mais peças em bastidores menos carregados. Sendo a etapa anterior uma secagem de primário, esta demorará o mesmo tempo independentemente da quantidade de peças, assim como o mesmo tempo no forno de polimerização.

Pela análise dos registos efetuados (Figura 47) é possível verificar que existem grandes variações nos tempos de pintura de bastidores, sendo a sua origem a enorme variedade de peças.

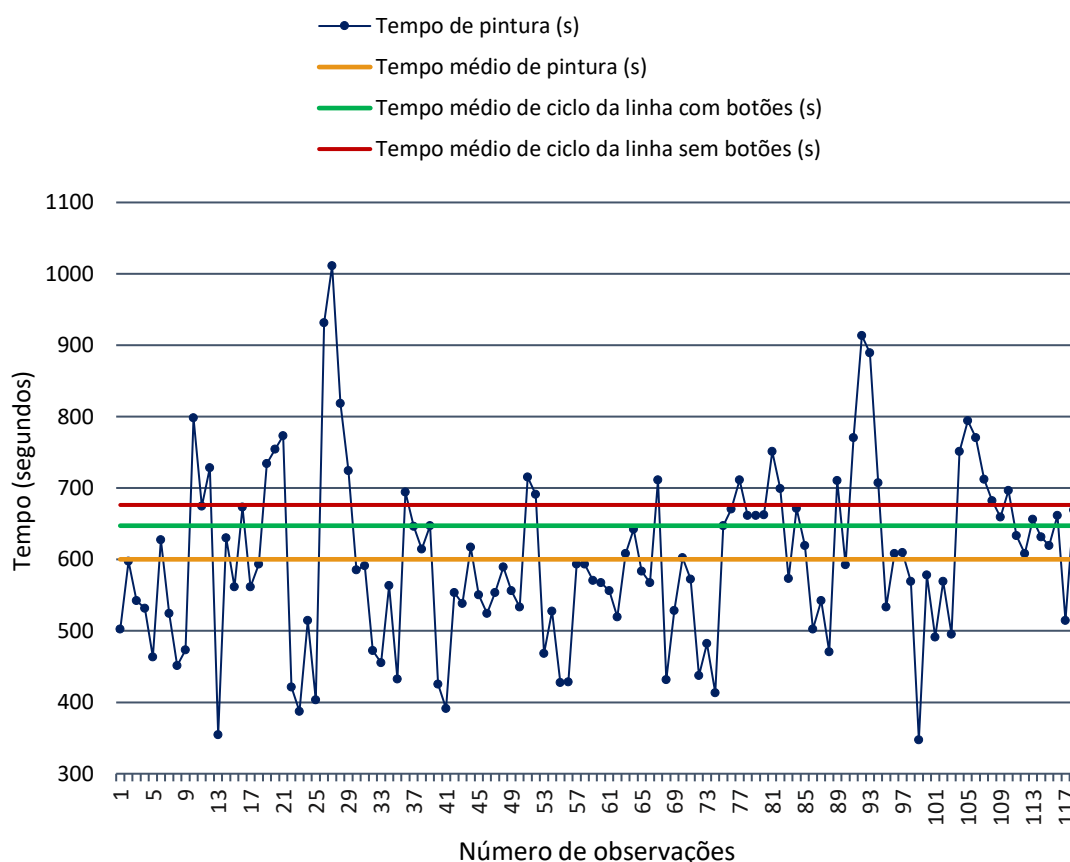


Figura 47 - Registos recolhidos para aplicação de esmalte

Recorrendo á análise em timelapse, foi possível calcular uma poupança máxima aproximada por bastidor de cerca de 51 segundos com a diminuição de operações desnecessárias do operador. Dado que as deslocações a eliminar ocorrem seguidamente, foram apenas necessários analisar 2 intervalos temporais por ciclo de pintura, tendo sido recolhidas 19 observações de cada intervalo.

Tabela 18 - Tempo de movimentações na cabine de esmalte

Descrição	Nº de observações	Tempo médio (segundos)
Deslocação até comando + descer + trocar de plataforma	19	28,4
Deslocação até comando + descer + deslocação até botão	19	22,7
Total		51,1

O tempo de ciclo da etapa anterior (secagem de primário) define o ritmo de funcionamento da linha, sendo este valor 600 segundos. Para a amostra de bastidores pintados analisada, cerca de 78% demoraram mais de 600 segundos na cabine de esmalte e 46,2% demoraram acima de 651 segundos. Assumindo uma pintura diária de 32 bastidores, cerca de 25 demorariam mais de 600 segundos com base numa produção semelhante.

Com base nos dados recolhidos foi possível assim estimar uma descida do tempo de ciclo de 676 segundos para 647 segundos, o que representa uma diminuição de 29 segundos por cada ciclo de pintura.

Para o cálculo da poupança obtida foi considerado que 2/3 do tempo de pintura semanal é dedicado á pintura de produtos Herculano, dado que a melhoria é maioritariamente benéfica na aplicação de tinta de base aquosa. Como o tempo de ciclo da linha iria diminuir, todos os operários despenderiam menos tempo na pintura da mesma quantidade de produtos, resultando assim numa poupança global de 52,07 € semanalmente.

$$Poupança = \frac{29}{(60 * 60)} \left(\frac{hora}{bast.} \right) * 32 (bast.) * 5 (op.) * 12,12 (\text{€/hora}) * \frac{2}{3} * 5 (dias)$$

$$Poupança = 52,07 \text{ €/semana}$$

4.2.3 Utilização de elásticos para a lavagem.

Durante a etapa de lavagem são utilizados apoios de para-choques como pesos para as peças penduradas. Estes são necessários pois a força exercida pela água durante a lavagem causa oscilações na carga do bastidor. Dado que as peças em utilização fazem parte de stock, seria uma vantagem disponibilizar as mesmas á produção e a sua substituição por elásticos fixos ao chão para realizar o mesmo efeito.

A troca de método traz como vantagem a poupança de tempo de deslocação e menor esforço por parte do colaborador. Esta carga representa um esforço adicional de transporte entre 50 e 100 Kg para a pintura de bastidores com peças de pequena dimensão.



Figura 48 – Pesos pendurados para diminuição das oscilações



Figura 49 - Elásticos para substituição dos pesos usados

4.3 Redução de Defeitos de Qualidade

A lavagem tem como função remoção de impurezas e oleosidades nas peças, no entanto esta gera acumulação de água em recantos de peças, sendo uma delas os braços de carga. Esta peça possui uma secção onde a acumulação causa oxidação mesmo após a etapa de secagem.



Figura 50 - Oxidação nos braços de carga John Deere

Depois da saída da linha de pintura as peças são limpas com WD-40, mas, de forma a minimizar o trabalho requerido, foi definida a realização de uma limpeza rápida com ar comprimido após a lavagem. para remoção da maioria da água acumulada. Resulta assim num retrabalho necessário inferior.

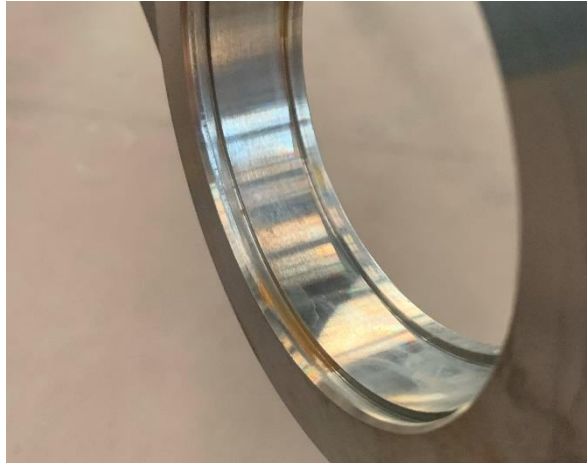


Figura 51 - Zona do casquilho do braço de carga JD com menor oxidação após secagem

4.4 Análise e redução do consumo energético;

4.4.1 Diminuição do Consumo Energético em Produtos Decapados

Um dos produtos de maior dimensão a ser pintado é o balde com 2450mm de comprimento. A sua dimensão impossibilita que sejam penduradas 2 peças deste tamanho lado a lado, pois estes tocam nas cabines ao longo do circuito da linha.



Figura 52 - Baldes na estufa de secagem

Dado que é realizada decapagem para tratamento de superfície destes produtos, a sua lavagem não é necessária, deixando assim de ser necessário o funcionamento da estufa de secagem, mas, para evitar desperdício de espaço vazio no bastidor, são carregados outros produtos mais pequenos da mesma cor.

Aquando da combinação de braços de carga (Figura 53) com baldes, é necessária a lavagem destas peças e consequentemente o funcionamento da estufa para secagem.



Figura 53 - Braço de carga JD

Tal leva a que a eficiência da etapa de secagem seja baixa, dado o consumo energético necessário para o volume total de peças secas. De forma a contabilizar o consumo de gás foram recolhidos registos dos contadores de gás ao início e durante o dia (Tabela 19).

Tabela 19 - Consumo de gás da estufa de secagem

Número de amostras	Valor médio do consumo no contador	Valor em Kg/h
10	2,47 m ³ /h	10,91

Dos dados recolhidos podemos assim estimar um consumo médio horário de 10,91Kg após aplicado o fator de conversão dado pelo fornecedor de gás. O custo por kg de gás de 1.72€ traduz-se num gasto médio de 21,07€ por hora de funcionamento da estufa de secagem.

A proposta de melhoria sugerida consiste na combinação de baldes com produtos que necessitem o mesmo tratamento de superfície, permitindo assim manter a estufa de secagem desligada. Caso todos os baldes possam ser combinados com porta-paletes, garfos, espelhos ou grades multiusos, a poupança monetária máxima, estimada pela produção do ano anterior, é dada por:

$$Poupança = \frac{\text{Quantidade de baldes } 2450\text{mm} * \text{TC (min)} * \text{Custo propano (€/hora)}}{60}$$

$$Poupança = \frac{473 * 10,6 * 21,07}{60} = 1760,67€$$

O TC corresponde ao de um bastidor composto pela combinação de baldes e braços de carga, baseado em 22 observações.

De forma a maximizar esta poupança deve ser efetuada uma alteração á ordem de decapagem dos produtos, passando a serem os espelhos e porta-paletes os primeiros produtos a decapar. Esta alteração de ordem permite que estejam prontos para serem combinados e maximizar as combinações de produtos com o mesmo tratamento de superfície.

Sempre que tal não seja possível e exista a necessidade de combinação de braços de carga com baldes, foi definida uma nova configuração, permitindo aumentar a utilização da estufa em 200% com a alteração para 6 braços de carga em cada bastidor e impacto quase negligível no tempo de ciclo.

4.4.2 Diminuição do consumo energético em produtos Herculano

Seguidamente á estufa de secagem segue-se a zona de stock denominada pulmão 2, que permite acumular 7 bastidores de peças prontas a pintar entre a cabine de secagem e a cabine de aplicação de primário. Considerando os dados recolhidos e resumidos na Tabela 20 é possível assim estimar um tempo de trabalho de 1,27h associadas a estes bastidores.

Tabela 20 - Resumo dos dados recolhidos para pintura de base aquosa

Número de registos	118
Tempo médio de pintura (seg)	569
Tempo médio de deslocação pressionar botão (seg)	17
Tempo de transporte do bastidor (seg)	71
Tempo de ciclo (seg)	651

Tendo em conta que a pintura deixa de ser realizada cerca de 10 minutos (0,16 horas) antes do final do horário de trabalho e que a cabine de secagem vai baixando a temperatura lentamente após ser desligada, contribuindo ainda para a secagem dos próximos bastidores, a mesma pode ser desligada aproximadamente 1,5 horas do final do horário de trabalho.

Esta medida aplicada diariamente traria uma poupança não só monetária, mas também ambiental pelo menor consumo de gás natural e libertação de gases poluentes para a atmosfera, reduzindo também a intensidade carbónica.

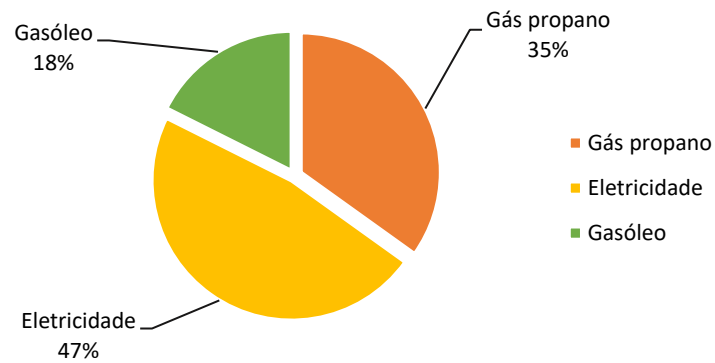


Figura 54 - Distribuição de consumo de energia por tipo (% do custo total)

O consumo de gás correspondeu a 35% do custo com energia no ano de 2022. A poupança diária de 1,5 horas de funcionamento da estufa corresponde a uma poupança anual de cerca de 6065€. Para estes cálculos foram apenas considerados 4 dias por semana, sendo o dia restante para a pintura de produtos decapados onde a estufa se deve encontrar desligada.

$$\text{Poupança} = 48 (\text{semanas}) * 4 (\text{dias/semanas}) * 1,5 (\text{h}) * 21,07 (\text{€/h}) = 6\ 068,2\text{€}$$

Tabela 21 - Dados de aquecimento da estufa de secagem

Tempo médio de aquecimento	Consumo (m ³)	Custo (€)
00:08:54	4,93	8,53

Da análise dos dados recolhidos de consumo de gás para aquecimento e custos de funcionamento da cabine, resumidos na Tabela 21, a estufa de secagem deve ser desligada sempre que o tempo de pintura de produtos decapados supere os 24 minutos. A mesma deve ser ligada de novo quando o próximo bastidor que precise de secagem chegar à primeira posição no interior da cabine de secagem.

4.4.3 Diminuição do consumo energético da estufa de polimerização

O mesmo princípio pode ser assim aplicado á cabine de polimerização. A partir do estudo de simulação é possível observar uma utilização a rondar os 40% da capacidade máxima. O TC da linha de pintura obtido pelo modelo de simulação construído é de 16,76 minutos, que comparado ao TC da estufa de polimerização de 6,6(7) minutos significa que em média encontram-se entre 2 e 3 bastidores no interior da cabine (40% da capacidade). A capacidade máxima de 6 bastidores representa assim um consumo adicional de gás dado que a temperatura da cabine será a mesma. De forma a poder diminuir este consumo foi proposto desligar o equipamento antes do final da hora de trabalho e realizar a acumulação de bastidores no seu interior para secagem até ao dia seguinte.

Com uma capacidade livre de 3 bastidores, esta corresponde a um tempo de trabalho de cerca de 32,55 minutos (0,54h). Somando assim o tempo de limpeza de equipamentos de cerca de 10 minutos (0,16 h), a estufa de polimerização pode ser desligada 40 minutos antes da hora de final de trabalho.

$$Poupança = 48 \text{ (semanas)} * 5 \text{ (dias/semanas)} * 0,7 \text{ (h)} * 17,43 \text{ (€/h)} = 2928,2 \text{ €/ano}$$

4.5 Alteração do Layout do Setor;

Com o objetivo de explorar o potencial do espaço dedicado ao setor em estudo, foi elaborado um Layout em SolidWorks á escala real da parte frontal de linha automática de pintura. Este modelo permitiu simular a alteração de posição de alguns equipamentos assim como experimentar mudanças estruturais á linha e obter uma representação fidedigna da sua possibilidade e execução, juntamente com a identificação de material mal-organizado.

Na Figura 55 está representado o modelo atual onde foram inseridas paletes como forma de representar material para decapar em espera. Paletes representadas a cor-de-rosa indicam a presença de material pintado á espera de ser consumido, estando grande parte deste com acumulação de pó.

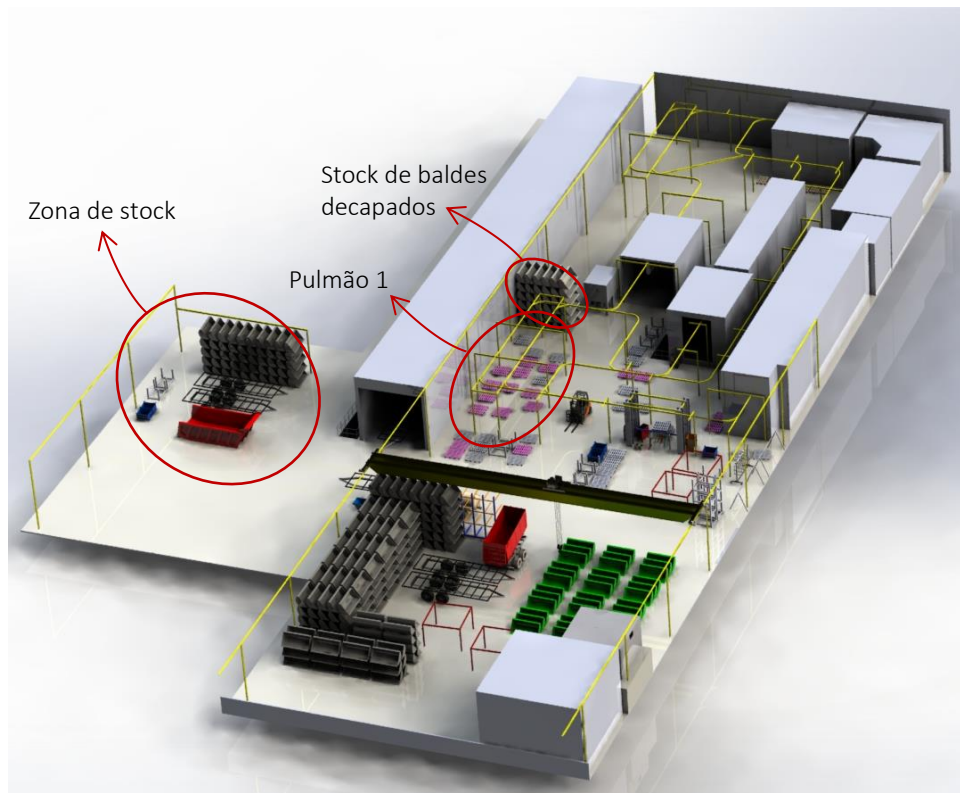


Figura 55 - Figura Layout 'as is'

Neste modelo é possível visualizar o pulmão 1, cuja função é ser um buffer da linha e permite abastecer os 3 ramos do circuito: decapagem, lavagem seguida de secagem e a linha

exterior. Dado o funcionamento atual da cabine de decapagem com abastecimento por empilhador, torna a necessidade deste pulmão inexistente, existindo assim a possibilidade de bloqueio deste circuito para armazenamento em altura de stock. Tal permitiria a alteração do local de armazenamento atual que se encontra numa área premium da fábrica (Figura 55). Esta área encontra-se anexa ao corredor principal, numa localização central que permitiria a instalação de uma linha de montagem.

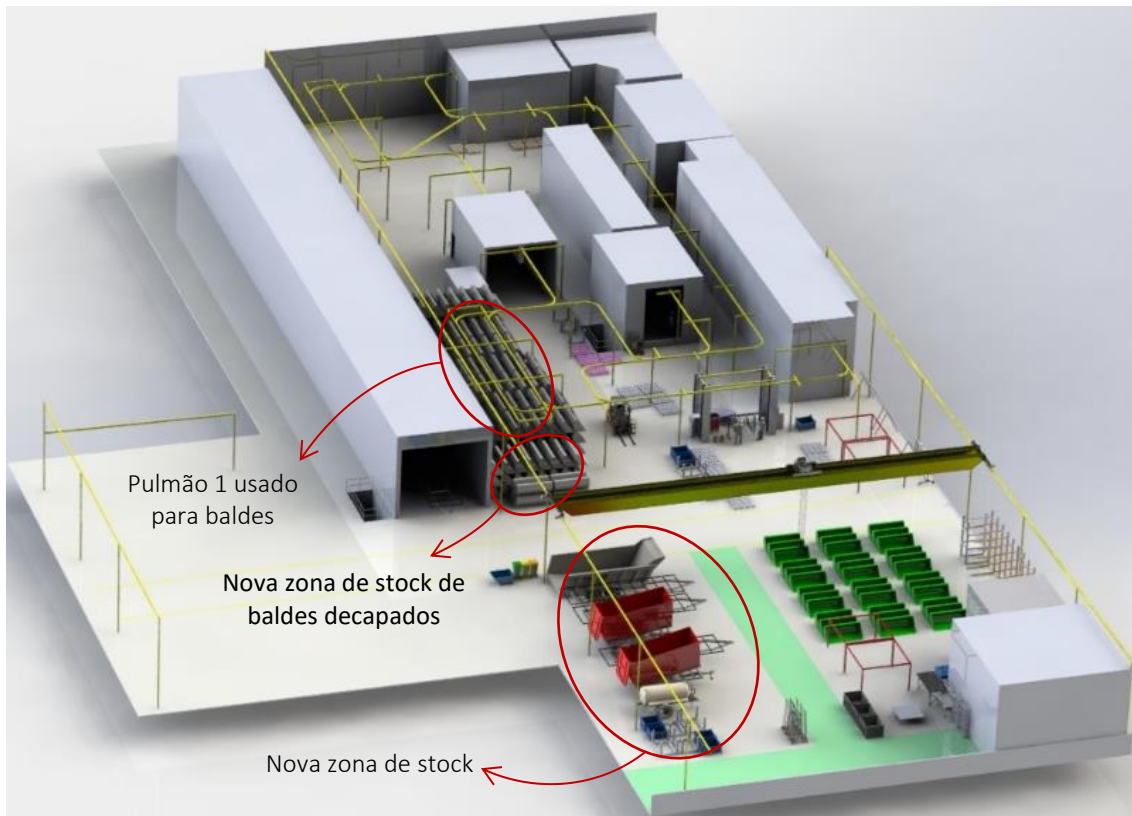


Figura 56 - Renderização 3D do layout da linha de pintura sugerido

Sem o desmantelamento da secção da linha da pintura, esta ficaria assim com um aspeto semelhante ao apresentado na Figura 56, onde o espaço ocupado para o pulmão 1 está aproveitado, permitindo um armazenamento de cerca de 230 baldes com a limitação em altura de quatro níveis. Esta alteração permitiria reduzir a distância e subsequentemente tempo de deslocamentos de material, mantendo a secção da pintura com o material menos disperso, facilitando a gestão do mesmo.

O teste da não utilização do pulmão foi realizado inicialmente no software Arena, onde foram modelados ambos os cenários de onde resultou numa produção igual com menor número de produtos em curso de fabrico.

A base para desenvolvimento dos modelos alternativos em SolidWorks foi a representação dos fluxos existentes no setor no diagrama da Figura 59.

Da proposta de alteração de alteração de layout apresentada, foi possível delimitar e identificar a área para armazenamento de garfos e grifas para decapar (Figura 57) assim como a nova área para armazenamento temporário da carga semanal da John Deere (Figura 58).

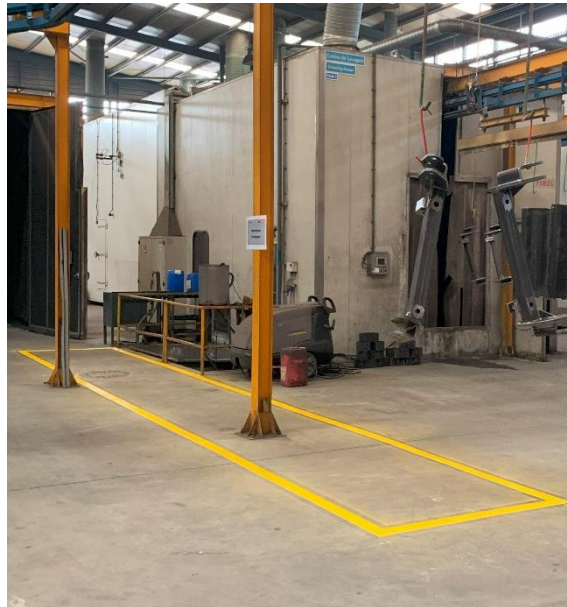


Figura 57 - Área delimitada para armazenamento de garfos e grifas para decapagem

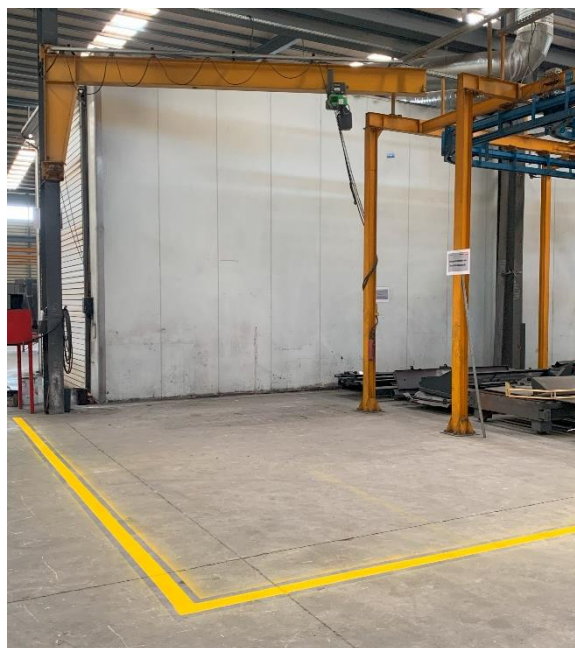


Figura 58 - Área delimitada para armazenamento de baldes decapados

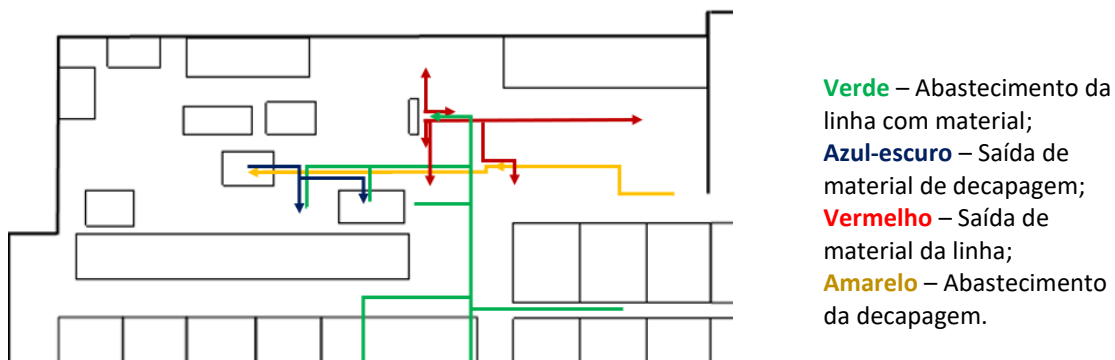


Figura 59 - Fluxos de material no setor da pintura.

4.6 Transformação de Produto em Curso de Fabrico em Produto Final

Analisando a quantidade de baldes decapados pelos operadores na cabine ao longo de cinco meses foi possível identificar os modelos que mais são vendidos com o objetivo de transformar o produto intermédio (WIP) existente em stock de produto acabado para libertação de espaço fabril. Sendo o stock médio de cerca de 210 unidades, estas ocupam uma área superior a 80 m² e um volume aproximado de 295 m³.

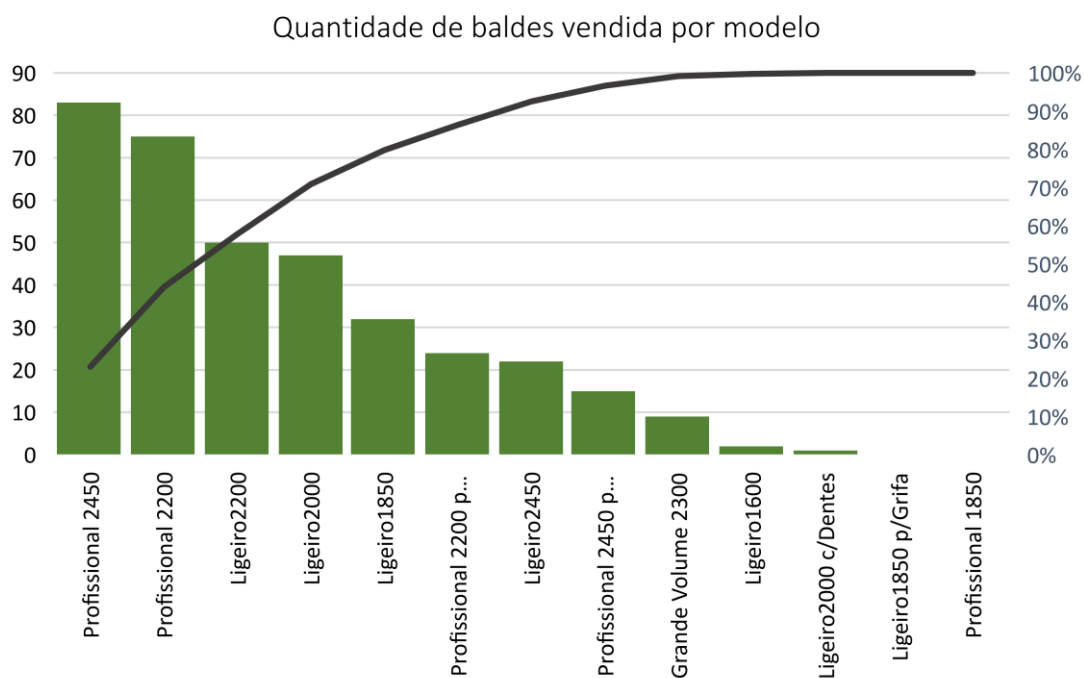


Figura 60 - Diagrama de pareto para o volume de baldes pintados ao longo de 5

Estes produtos são cintados em conjuntos de três e seguidamente colocados em pilhas de nove unidades, levando a que apenas poderá ser utilizado o stock de produto acabado caso o número de unidades do modelo na encomenda seja superior a nove, para evitar alterações ao conjunto e prevenir danos em produto acabado.

Assim, por cada investimento de 618€ na transformação de nove baldes em produto acabado, é possível libertar uma área de 5,2 m² e um volume de 11,64 m³. Além da libertação do stock existente no setor permite também uma resposta mais rápida ao cliente e melhoria na gestão de tempo da equipa.

4.7 Sumário de Propostas de Melhoria

Com vista á aplicação das propostas identificadas foi desenvolvido um plano de ação para priorização das ações com base nos requisitos necessários para a sua realização, impacto causado e facilidade de implementação das mesmas. Foi utilizada uma escala de 1 a 5 de forma a classificar consoante a sua facilidade de aplicação, custo e maiores benefícios, sendo o valor 1 o mais desejável e 5 o menor. O valor final na coluna 'Ordem de prioridade' é o produto dos 3 valores previamente atribuídos às 3 categorias.

O desenvolvimento de um diagrama 5W2H auxiliou a definir prazos para a realização das atividades, atribuir responsabilidades e acompanhar o desenvolvimento do projeto.

Tabela 22 - Priorização de melhorias identificadas

Descrição das ações identificadas	Requisitos	Escala de requisitos 1 - 5	Benefícios	Escala de benefícios 1 - 5	Custo atual	Poupança	Escala de poupança 1 - 5	Ordem de prioridade
Botões para operador esmalte sinalizar avanço do bastidor com menos deslocamentos	Instalação de botões para operador	2	Mais carga por bastidor e menor TC	2	-	12,201 €/dia	2	8
Desligar estufa 1,5h antes do final do turno	Comunicar com operadores da linha	1	Poupança energética e monetária	1	185,62 €/dia	31,605 €/dia	1	1
Layout - Remoção de estante, troca local de stock e transformação de WIP em PA	Local para produto não consumido e empilhador	4	Espaço central na fábrica livre	3	-	-	4	48
5S - Remover equipamentos desnecessários e organizar o local de trabalho	Sessão de formação com os operadores	2	Espaço organizado e diminuição de TC	2	-	-	4	16
Nivelamento - Limpeza de produtos decapados por op. do elevador	Comunicar com operadores da linha	1	Maior cadência e/ou menor custo	2	-	15,89 €/dia	2	4
Nivelamento - Sopragem de baldes pintor de primário	Iluminação e degraus	3	Maior cadência e menor custo	3	-	7,65 €/dia	3	27
Desligar estufa de polimerização 40min antes do final do turno	Comunicar com operadores da linha	1	Poupança energética e monetária	1	153,68 €/dia	11,62 €/dia	1	1
Diminuir combinação de orelhas com baldes e soprar orelhas na lavagem – desligar estufa	Troca de ordem de decapagem	1	Poupança energética e monetária	1	-	21,07 €/hora	1	1
Selar a linha do espaço exterior e entre cabines	Análise de opções e pedido de orçamentos	4	Eficiência energética e redução de defeitos	4	-	-	5	80
Estante para ganchos do elevador	Estrutura em tubo	2	TC menor, melhor organização e ergonomia	2	-	-	4	16

Tabela 23 - Diagrama 5W2H

WHAT	WHERE	WHY	WHEN	WHO	HOW	HOW MUCH	STATUS
Adicionar botões para operador	Cabine de esmalte	Diminuição das deslocações	19/05/2023	Manutenção	Equipa de manutenção instala 2 botões de pressão	< 50€	Pendente
Desligar estufa + cedo	Estufa de secagem	Poupança de gás	15/05/2023	Operador do elevador	Agendamento de hora para desligar	0€	Concluído
Alteração layout	Stock da linha + material em excesso	Libertar espaço fabril	18/05/2023	Melhoria contínua + Leandro + Op. do empilhador	Empilhador e stacker	20h mão de obra	Parcialmente concluído
Aplicação de 5S	Estação do elevador da linha automática	Estação desorganizada e sem espaço livre	15/05/2023	Equipa da linha + Leandro	Sessão de formação com os operadores	0€	Concluído
Isolar cabines	Cabines da linha de pintura automática	Melhoria da qualidade e eficiência energética	Junho 2023	Manutenção	Subcontratação	Falta orçamento	Pendente
Aplicar ações de nivelamento da linha	Linha de pintura automática	Melhor aproveitamento da mão de obra	Junho 2023	Leandro + Responsável Acabamentos	Adicionar iluminação e escadas para operador	Falta orçamento	Pendente
Estante para ganchos	Estação do elevador da linha automática	Melhor organização e menor TC	16/05/2023	Leandro + Operador de empilhador	Desenhar e construir estrutura	22,52€	Concluído
Desligar polimerização + cedo	Estufa de polimerização	Poupança de gás	15/05/2023	Operador do elevador	Agendamento de hora para desligar	0€	Concluído
Alteração de combinações no bastidor	Estação do elevador da linha automática	Poupança de gás	15/05/2023	Leandro + Operador do elevador + Resp. Acabamentos	Ordenar e planejar combinações antes do início do trabalho para a carga	0€	Concluído

5 Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo será efetuado um resumo de todo o trabalho realizado ao longo do projeto assim como uma perspectiva futura do trabalho a realizar.

No decorrer deste projeto foi possível identificar grandes poupanças no consumo energético e monetário gasto da linha de pintura automática. Para tal, o uso de ferramentas como a simulação permitiu a análise de um sistema complexo com recolha de estatísticas de utilização de recursos e teste de hipóteses de nivelamento. Todo o levantamento de dados dos processos chave foi crítico para o desenvolvimento do projeto, algo que não havia previamente e que envolveu a maior parte do período de estágio. A partir destes foi assim possível obter informação relativa a outros recursos, como o tempo dos produtos em estufas de secagem para análise e diminuição de consumo energético.

O uso de gravações em timelapse para substituição da recolha manual de tempos das operações permitiu que o processo fosse mais eficiente, reduzindo a quantidade de tempo despendido em mais de 90% e permitindo a realização de tarefas em simultâneo. Esta recolha com recurso a câmara de filmar não substituiu o acompanhamento presencial com o operador, no entanto complementou o mesmo.

Apesar de ter sido possível chegar á fase 'Do' do ciclo PDCA não foi possível obter uma comparação direta com o estado inicial relativamente ao TC da tarefa de aplicação de esmalte pois a melhoria não tinha sido ainda aplicada no final do período de estágio. A variabilidade de material carregado na linha automática, restrições impostas pelo mesmo e ausência de planeamento impediram a concretização do desenvolvimento de um método de previsão do tempo de pintura com base nas características das peças, no entanto todo o trabalho foi aproveitado para analisar o tempo de ciclo da linha de pintura assim como reduzir significativamente o consumo de gás com base nos dados obtidos.

O envolvimento e cooperação dos operadores revelou-se um papel essencial não só para a compreensão do processo, mas também para a identificação de dificuldades e consequentemente oportunidades de melhoria com um custo muito reduzido.

De forma a continuar e aproveitar todo o trabalho desenvolvido até agora devem ser analisadas as opções de registo de produtos que passam pela linha de pintura, aplicando assim o princípio da rastreabilidade e permitindo identificar quais os produtos afetados na eventualidade de aparecimento de um lote defeituoso de tinta e análise entre qualidade de pintura e parâmetros registados (temperatura, humidade e espessura de tinta). Sendo a identificação do material um dos maiores problemas encontrados durante o projeto, o registo de produtos que passa no setor permite também analisar o fluxo existente e auxiliar assim o planeamento de produção.

Deve também ser feito um estudo mais aprofundado ao consumo de gás a todas as cabines com aquecimento, de forma a melhor identificar a temperatura mínima necessária a

partir do tempo de ciclo dado pelo recurso gargalo sem trazer implicações na qualidade de pintura.

Não foi possível concluir a operação de alteração de layout dado o grande volume de baldes que necessitaria de uma grande quantidade de tempo despendida com o empilhador, um recurso valioso para o setor de pintura e acabamentos, o que leva também á análise da possibilidade de aquisição de um stacker para uma maior autonomia dos colaboradores do setor.

Durante o projeto foi possível acompanhar uma visita de um fornecedor de soluções de pintura a pó e secagem forçada com recurso painéis de radiação infravermelha alimentados por um gás catalisador (propano). O estudo realizado permite também auxiliar na quantificação da rentabilidade económica do investimento nestes equipamentos e apoiar á decisão de investimento.

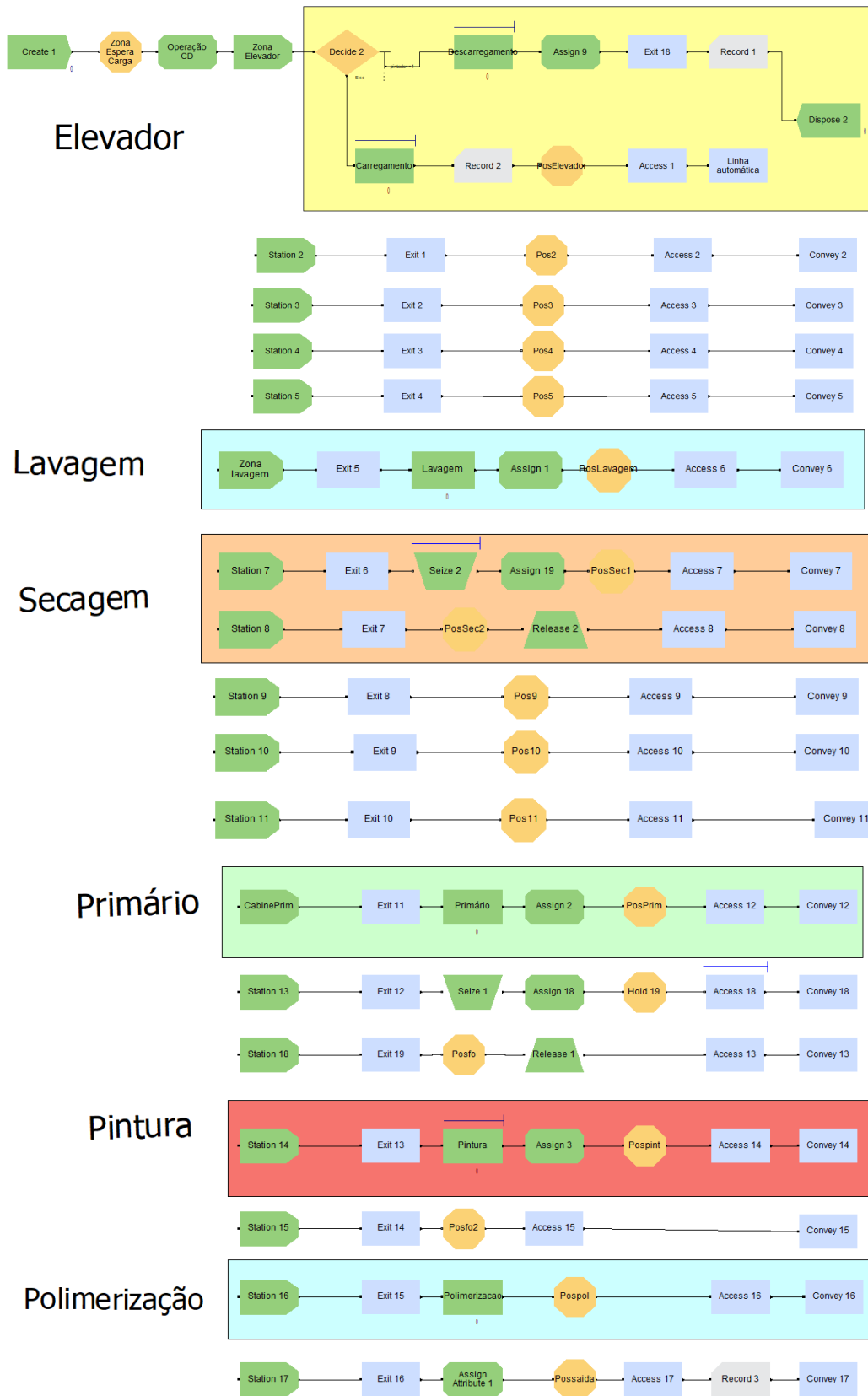
Referências Bibliográficas

- Bassuk, J. A., & Washington, I. M. (2013). *The A3 Problem Solving Report: A 10-Step Scientific Method to Execute Performance Improvements in an Academic Research Vivarium* *The A3 Problem Solving Report: A 10-Step Scientific Method to Execute Performance Improvements in an Academic*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076833>
- Bergeron, B. (2003). *Essentials of Knowledge Management (Essentials Series)*. 208. https://www.researchgate.net/publication/293001857_Knowledge_Workers_A_Typology_Framework_as_a_Theoretical_Basis_for_Knowledge_Worker_Identification_Instrument
- Deokar, A., Aravind Raj, S., Jayakrishna, K., & Abdul Zubar, H. (2019). Implementation of Lean Manufacturing to Reduce the Delivery Time of a Replacement Part to Dealers: A Case Study. In *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6374-0_17
- Drira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control*, 31(2), 255–267. <https://doi.org/10.1016/J.ARCONTROL.2007.04.001>
- Earley, J. (2016). *The lean book of lean: A concise guide to lean management for life and business*. <https://books.google.com/books?hl=pt-PT&lr=&id=XxGACgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR11&dq=lean+book+of+lean&ots=4Jzmnwt3uM&sig=qcTzHzmlfMyE3-Z-eaLTb1e33Qg>
- G.Rajesh. (2015). Implementation of a Lean Model in Manufacturing Industry. *Implementation of a Lean Model in Manufacturing Industry*, 2(1). <https://doi.org/10.14445/23499362/IJIE-V2I2P103>
- Hasan, M. A., Sarkis, J., & Shankar, R. (2012). Agility and production flow layouts: An analytical decision analysis. *Computers and Industrial Engineering*, 62(4), 898–907. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2011.12.011>
- Heizer, Jay., & Render, Barry. (2016). *Operations management : sustainability and supply chain management*.
- Hines, P., & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations and Production Management*, 17(1), 46–64. <https://doi.org/10.1108/01443579710157989/FULL/PDF>
- Kiran, D. R. (2019). Production planning and control: A comprehensive approach. *Production Planning and Control: A Comprehensive Approach*, 1–539. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-03856-6>
- Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. (2016). Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: A case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *International Journal of Production Research*, 54(6), 1708–1720. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055349>
- Lander, E., & Liker, J. K. (2007). The Toyota Production System and art: Making highly customized and creative products the Toyota way. *International Journal of Production Research*, 45(16), 3681–3698. <https://doi.org/10.1080/00207540701223519>
- Luca, B., Caterina, B., Cinzia, R., Chiara, C., Andrea, P., Massimo, F. F., Giuseppina, B., & Jacopo, G. (2021a). Lean approach to improving performance and efficiency in a nuclear medicine

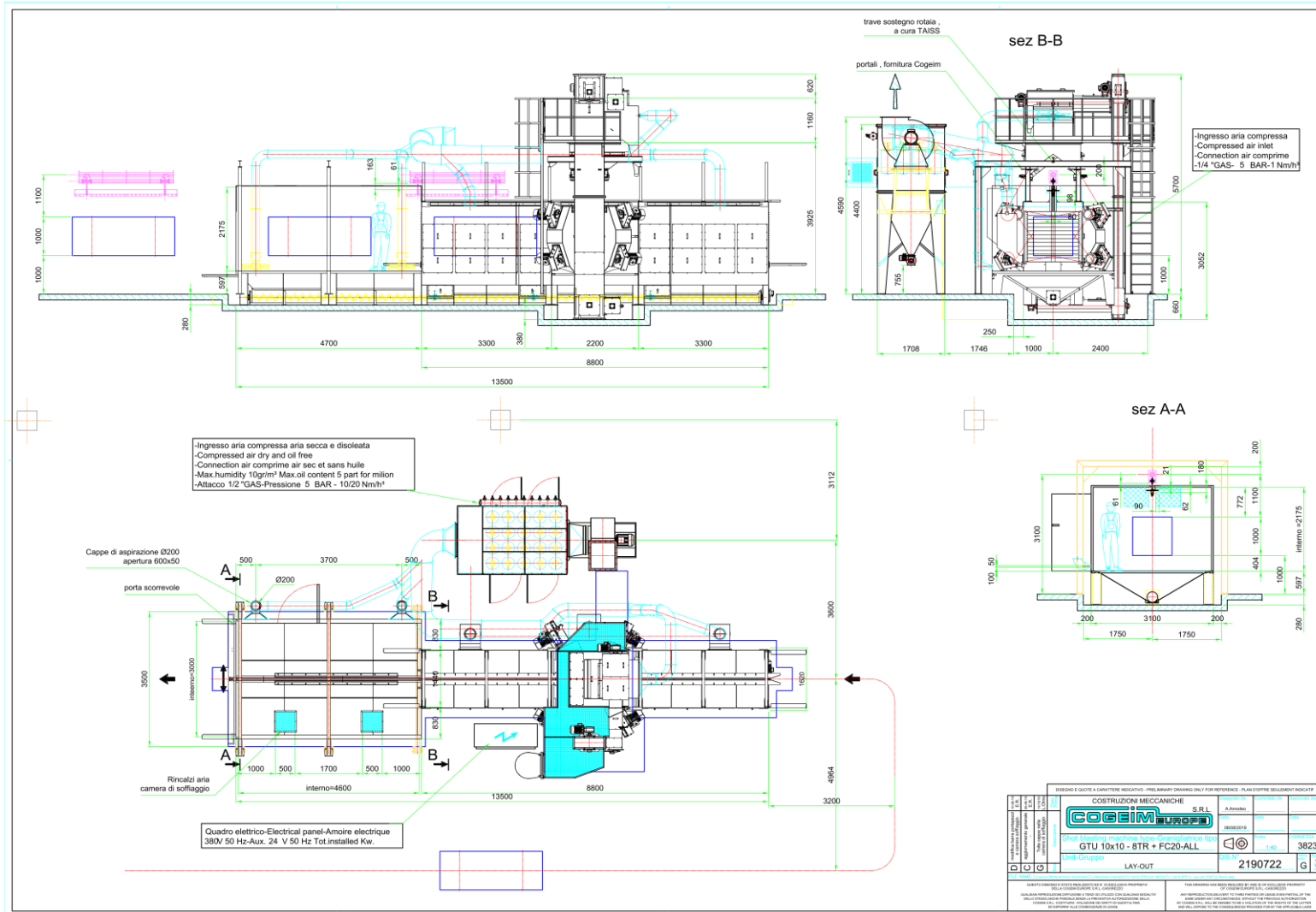
- department. *Clinical and Translational Imaging*, 9(2), 129–139. <https://doi.org/10.1007/S40336-021-00418-Z/FIGURES/5>
- Luca, B., Caterina, B., Cinzia, R., Chiara, C., Andrea, P., Massimo, F. F., Giuseppina, B., & Jacopo, G. (2021b). Lean approach to improving performance and efficiency in a nuclear medicine department. *Clinical and Translational Imaging*, 9(2), 129–139. <https://doi.org/10.1007/S40336-021-00418-Z/FIGURES/5>
- Manzanares-Cañizares, C., Sánchez-Lite, A., Rosales-Prieto, V. F., Fuentes-Bargues, J. L., & González-Gaya, C. (2022). A 5S Lean Strategy for a Sustainable Welding Process. *Sustainability (Switzerland)*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/su14116499>
- Monden, Y. (1994). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time, 4th Edition*.
- Nallusamy, S., & Saravanan, V. (2016). Enhancement of overall output in a small scale industry through VSM, line balancing and work standardization. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 26, 176–183. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.26.176>
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. https://books.google.com/books?hl=pt-PT&lr=&id=7_-67SshOy8C&oi=fnd&pg=PR9&dq=toyota+production+system+&ots=YpXzBawdD-&sig=jQbu3_MhQvrO2lCwa1OB6ut0upY
- Okpala, C. C., & Chukwumuanya, O. (2016). *Plant Layout' Analysis and Design*. *International Journal of Advanced Engineering Technology*. https://www.researchgate.net/publication/315114542_PLANT_LAYOUTS'_ANALYSIS_AND_DESIGN
- Pathania, A., Kumar, R., Rojhe, K., Goel, B., Aggarwal, S., & Mahto, D. (2021). Value stream mapping - Panacea for lead time reduction in ferrite core industry. *Materials Today: Proceedings*, 46, 2456–2461. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.01.362>
- Pérez-Pucheta, C. E., Olivares-Benitez, E., Minor-Popocatl, H., Pacheco-García, P. F., & Pérez-Pucheta, M. F. (2019). Implementation of lean manufacturing to reduce the delivery time of a replacement part to dealers: A case study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(18). <https://doi.org/10.3390/app9183932>
- Permata, L., & Hartanti, S. (2016). *Work Measurement Approach to Determine Standard Time in Assembly Line*.
- Rodič, B. (2017). Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm. *Organizacija*, 50(3), 193–207. <https://doi.org/10.1515/ORGA-2017-0017>
- Rohac, T., & Januska, M. (2015). Value stream mapping demonstration on real case study. *Procedia Engineering*, 100(January), 520–529. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2015.01.399>
- Rother, Mike., Shook, John., & Lean Enterprise Institute. (2003). *Learning to see : value stream mapping to create value and eliminate muda*. https://www.researchgate.net/publication/244433983_Learning_to_See_Value_Stream_Mapping_to_Create_Value_and_Eliminate_Muda
- Russell, R. S., Taylor, B. W., & Pamplin, I. R. B. (2010). *Operations Management: Creating Value*. <http://faculty.tamuc.edu/jdavis/tmgt/456/148/TMGT456-148-Syllabus.pdf>

- Santos Filho, G. M., & Simão, L. E. (2022). A3 methodology: going beyond process improvement. *Revista de Gestao*. <https://doi.org/10.1108/REG-03-2021-0047>
- Sayer, N. J., & Williams, Bruce. (2012). *Lean for dummies*. <https://www.scribd.com/book/100301788/Lean-For-Dummies>
- Seifermann, S., Böllhoff, J., Metternich, J., & Bellagnach, A. (2014). Evaluation of work measurement concepts for a cellular manufacturing reference line to enable low cost automation for lean machining. *Procedia CIRP*, 17, 588–593. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.065>
- Senderská, K., Mareš, A., & Václav, Š. (2017). Spaghetti diagram application for workers' movement analysis. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 79(1), 139–150.
- Singh, H., & Singh, A. (2013). Application of lean manufacturing using value stream mapping in an auto‐parts manufacturing unit. *Journal of Advances in Management Research*, 10(1), 72–84. <https://doi.org/10.1108/09727981311327776>
- Soliman, M., Oliveira Esteves, O., Trevisan, M., & Fogliarini Segatto, G. (2022). A tentative integration of value stream mapping (VSM) and BPMN for improved process mapping. *Knowledge and Process Management*, 29(4), 371–382. <https://doi.org/10.1002/kpm.1729>
- Stevenson, W. (2011). *Operations Management (Operations and Decision Sciences)*.
- Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. *Procedia CIRP*, 63, 125–131. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2017.02.041>
- Womack, J., Research, D. J.-J. of the O., & 1997, undefined. (1997). Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. *Taylor & Francis*, 48(11), 1148–1148. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600967>
- Zupan, H., & Herakovic, N. (2015). Production line balancing with discrete event simulation: A case study. *IFAC-PapersOnLine*, 28(3), 2305–2311. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2015.06.431>

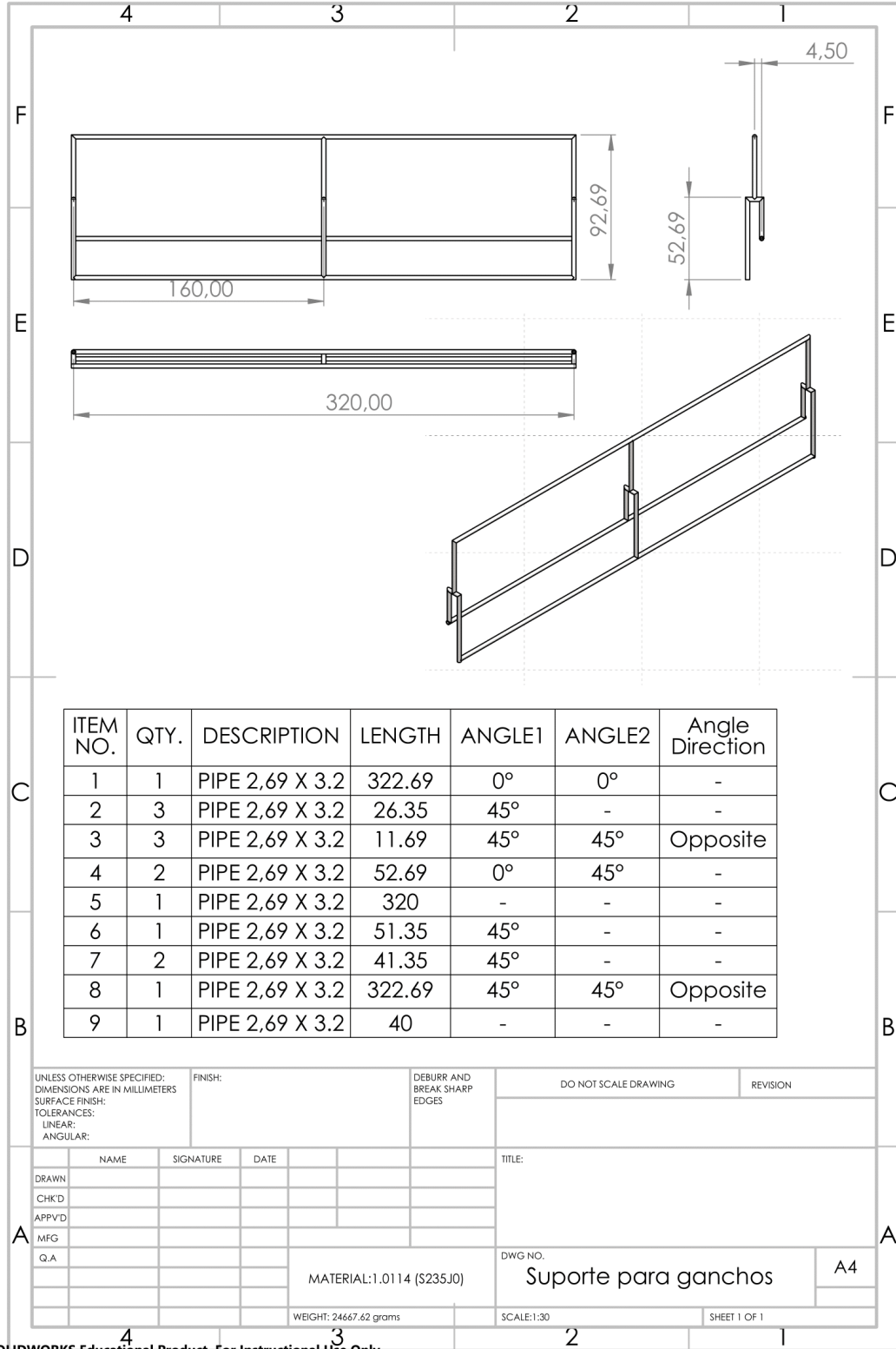
Anexo A - Esquema de módulos no software Arena



Anexo B - Desenho do sistema de decapagem automática



Anexo C – Desenho do suporte para ganchos modelado



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.