

Deteção e eliminação das perdas de eficiência numa linha de produção de enchimento de aerossóis

João dos Santos Barbosa

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Luís Guimarães

Orientador na COLEP: Dr^a Fernanda Tavares



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

2016-01-28

“You may delay, but time will not”

Benjamin Franklin

Resumo

Com a atual conjuntura económica, é uma obrigação para os gestores em ambiente de fabrico apostarem na eficiência e melhoria contínua. É neste contexto que é desenvolvida esta dissertação. A linha de produção de enchimento de aerossóis A6 tem um grande percentual de perdas de eficiência que são difíceis de decifrar.

Primeiramente, será efetuado um levantamento de dados que permitirá perceber quais os focos das perdas de eficiências e será estabelecido o estado atual da linha. Depois, será feita uma divisão por tipo de embalagem dos produtos, o que altera o layout da linha de produção, para proceder à implementação de melhorias, recorrendo ao ciclo PDCA. Finalmente, será feito um levantamento dos indicadores de desempenho da linha de produção para avaliar o sucesso das melhorias implementadas.

Detection and elimination of efficiency losses in a filling aerosol production line

Abstract

With the current economic climate, it is a must for managers in the manufacturing environment to bet on efficiency and continuous improvement. It is in this context that this thesis is developed. The A6 aerosol filling production line has a large percentage of efficiency losses that are difficult to detect.

First, we will make a survey of data that will allow us to understand which points of efficiency losses and will set the current state of the production line. Then, a division is made by sorting the packaging of the products, which changes the layout of the production line, to proceed to the implementation of improvements using the PDCA cycle. Finally, there will be a survey of the production line performance indicators to evaluate the success of the implemented improvement.

Agradecimentos

Quero agradecer a todas os Colaboradores da COLEP, destacando a Dr^a Fernanda Tavares, com quem tive o prazer de trocar ideias e experiências durante os últimos meses e que muito contribuíram para o meu enriquecimento profissional.

Agradeço igualmente ao Prof. Luís Guimarães que me orientou nesta Dissertação, bem como o restante corpo docente da Faculdade por me ter despertado o gosto pela área industrial e me terem transmitido os conhecimentos teóricos técnicos e práticos indispensáveis para o meu futuro profissional.

Finalmente um agradecimento especial à minha Mãe.

Índice de Conteúdos

1	Introdução.....	1
1.1	Apresentação da COLEP.....	1
1.2	Descrição do problema.....	2
1.3	Configuração da Investigação.....	3
1.4	Método de investigação.....	4
1.5	Estrutura da dissertação.....	5
2	Revisão de literatura	6
2.1	Medição da performance	6
2.2	Teoria do estudo do tempo	7
2.3	Teoria das Restrições – Theory of Constraint (ToC)	9
2.4	Mean Efficiency Rate (MER).....	10
2.5	Ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA)	11
2.6	Simulação de eventos discretos (DES)	12
3	Processo produtivo	14
3.1	Composição de um aerossol.....	14
3.2	Maquinaria no processo produtivo	15
3.3	Controlo da produção	17
3.4	Mudanças e cadência das máquinas	17
3.5	Sensores e transportadores.....	17
4	Linha de produção A6	19
4.1	Micro paragens e perdas de velocidade	19
4.2	Baixa velocidade de operação	21
5	Embalamento manual para caixas.....	24
5.1	Análise da situação atual.....	24
5.2	Melhorias implementadas.....	30
5.3	Resultados obtidos.....	33
6	Embalamento em tabuleiro e filme de polipropileno	35
6.1	Análise da situação atual.....	35
6.2	Ensaios.....	39
6.3	Resultados obtidos.....	42
7	Acompanhamento e implementação de melhorias na linha de produção	43
	Aumentar disponibilidade da linha - Eliminação da variabilidade	43
	Redução de sucatas desnecessárias	44
	Balanceamento da linha	44
	Alteração dos procedimentos para preenchimento dos mapas de produção	45
8	Resultados globais.....	46
9	Conclusões e perspetivas de trabalhos futuros.....	48
	Referências.....	49
	Anexo B: Mapa de acompanhamento de paragens.....	51
	Anexo C: Cálculo da eficiência para embalamento para caixas	52
	Anexo D: Fluxograma do Modelo Conceptual	53

Siglas

DES – *Discrete Event Simulation*: Simulação de Eventos Discretos

KPI – *Key Performance Indicator*: Indicador-chave de desempenho.

MER- *Mean Efficiency Rate*: Indicador de eficiência de equipamentos.

MTBF – *Mean Time Between Failures*: Tempo médio entre falhas.

MTTR- *Mean Time to Repair*: Tempo médio para a reparação de uma falha.

OEE – *Overall Equipment Efficiency*: ferramenta para monitorizar a eficiência de processos de fabrico.

PDCA – Ciclo *Plan–Do–Check–Act*. Uma abordagem sistemática para a melhoria contínua.

PM – *Performance Measure*: Medições de desempenho.

TOC – *Theory of Constraints*: Teoria das restrições – metodologia de resolução de problemas.

Índice de Figuras

Figura 1 – Presença da COLEP no mundo.....	2
Figura 2 - Método de Investigação	5
Figura 3 – Seis grandes perdas	7
Figura 4 - Explosão do MTBF.....	8
Figura 5 - Passos para implementação da TOC.....	9
Figura 6 - Ciclo PDCA.....	11
Figura 7 - Componentes de um aerossol.....	14
Figura 8 - <i>Layout</i> da linha de produção A6.....	16
Figura 9 - Cascata OEE de Janeiro a Setembro de 2015.....	19
Figura 10 - Folha de registo de paragem.....	20
Figura 11 - Folha de registo de cadências	22
Figura 13 - Final de linha no embalamento para caixas	24
Figura 12 - Caixa de doze latas e divisor	24
Figura 14 - V-graph do embalamento para caixas	25
Figura 15 - Performance no embalamento para caixas	27
Figura 16 - Esquema do final de linha no embalamento para caixas	28
Figura 17 - Máquina das tampas.....	29
Figura 18 - Transportador das tampas.....	29
Figura 19 - Sensor do transportador.....	29
Figura 21 - Aumento do <i>buffer</i> no final de linha	31
Figura 20 - Final de linha com 3 operadores.....	31
Figura 22 - Novo posicionamento dos sensores da máquina das tampas	32
Figura 23 - Perno metálico	33
Figura 24 - V-graph para situação final	33
Figura 25 - Performance após implementação de melhorias	34
Figura 26 - Diferença da Produtividade com 4 e 5 colaboradores	34
Figura 27 - Embalamento em tabuleiro e filme.....	35
Figura 28 - V-Graph no embalamento com filme	36
Figura 29 - <i>Layout</i> da linha de produção no <i>software</i> “Plant Simulation”	38
Figura 30 - Estado das máquinas	39
Figura 31 - Transportadores à saída da <i>Benzine House</i>	40
Figura 32 - Performance após melhorias	42
Figura 33- Folha de informação e registo de cadências.....	43
Figura 34 - Válvulas reguladoras de caudal na máquina de produto.....	44

Figura 35 - Visualização de cadências na consola da linha A6.....	45
Figura 36 - Resultados globais do projeto.....	46

Índice de Tabelas

Tabela 1- Disponibilidade das máquinas	20
Tabela 2 - Limitações à cadência da linha	22
Tabela 3 - Análise ao embalamento para caixas.....	25
Tabela 4 - Dados recolhidos no embalamento para caixas.	26
Tabela 5 - Perda de eficiência no embalamento para caixas	26
Tabela 6 - Evolução dos indicadores após alteração na posição dos sensores	32
Tabela 7 – Perdas de eficiência no embalamento para caixas após implementação de melhorias	34
Tabela 8 – Indicadores das máquina no embalamento com filme.....	36
Tabela 9 - Quantidade produzida no embalamento com filme.....	37
Tabela 10 – Perdas de eficiência no embalamento com filme	37
Tabela 11 - Quantidade produzida por hora.....	39
Tabela 12 – Resultados do ensaio 1	40
Tabela 13 – Ensaio 2.....	40
Tabela 14 - Resultados do ensaio 2	41
Tabela 15 - Ensaio 3	41
Tabela 16 - Resultados do ensaio 3	42
Tabela 17 - Resultados globais da simulação.....	42
Tabela 18 - Evolução dos indicadores durante o projeto	46

1 Introdução

No âmbito da Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, foi desenvolvido um projeto de investigação na COLEP, SA – Vale de Cambra, para estudar, identificar e reduzir as elevadas perdas de eficiência da linha de enchimento de aerossóis denominada A6. Nesta dissertação, analisamos a linha de produção e máquinas correspondentes, com o objetivo de melhorar o estado atual. O restante capítulo tem em vista a motivação para o problema. A Secção 1.1 contém informação geral sobre a COLEP e na Secção 1.2 descrevemos o contexto do presente relatório e definimos o problema, seguido das perguntas de investigação a que nos propusemos responder na secção 1.3. Na secção 1.4 definimos o foco da investigação, elencando de seguida os métodos utilizados na secção 1.5. Terminamos este capítulo na secção 1.6 com a estrutura do relatório.

1.1 Apresentação da COLEP

Fundada em 1965, a COLEP, uma empresa do grupo RAR, ocupa uma posição de liderança no mercado mundial de produtos de higiene pessoal, cosmética, higiene do lar e de parafarmácia de venda livre. Na Europa, para além da liderança no desenvolvimento, formulação e enchimento de produtos (*contract manufacturing*) dos segmentos acima mencionados, a empresa tem também uma relevante atividade no fabrico de embalagens metálicas, sendo líder ibérico na produção de embalagens industriais e um dos maiores fornecedores europeus de embalagens aerossol.

Desde 2010 que a COLEP, em parceria com a brasileira ZM Participação, S.A., é também líder do mercado brasileiro de *contract manufacturing* de produtos de higiene pessoal e doméstica.

Em 2013, a empresa alargou a sua atividade à América do Norte, através da aquisição de uma unidade industrial em Querétaro, México, e ao Médio Oriente, ao efetuar uma *joint venture*, em Sharjah, Emirados Árabes Unidos, com o grupo local Albatha, para a fabricação de produtos de base aerossol.

Também em 2013, a COLEP estabeleceu uma Aliança Estratégica com a One Asia Network, uma associação composta pela Daizo Corporation, do Japão, a Pax Australia e a Asian Aerosols, da Índia. Esta Aliança, denominada “ACOA – the Alliance of Colep and One Asia”, que se traduz na partilha das melhores práticas e na transferência de conhecimento nas áreas da Inovação, *Manufacturing* e *Supply-Chain*, permite à COLEP oferecer aos seus clientes uma plataforma mundial para a implementação dos seus projetos e a produção dos seus produtos.

A COLEP dispõe de três unidades industriais no Brasil e oito na Europa, às quais se juntaram as unidades do México e Sharjah. Em conjunto com a One Asia Network, a empresa faz parte de uma rede de dezanove unidades industriais (Figura 1), situadas na Alemanha, Espanha, Polónia, Portugal, Brasil, México, EAU, Índia, Japão, China, Tailândia e Austrália, que lhe permitem apoiar os seus clientes à escala global. Em Vale de Cambra a fábrica cobre uma

área de 77.200 m² e emprega 832 pessoas. No ano de 2014, o volume de negócios consolidado da COLEP foi de € 514 milhões.



Figura 1 – Presença da COLEP no mundo.

A área de negócio de *Contract Filling Operations*, inserida atualmente no *Product Supply Group* (PSG), coopera no mercado maioritariamente com as grandes multinacionais da área cosmética. Esta área de negócio tem vindo a expandir-se dentro da empresa, fruto do largo investimento na aquisição ou parceria com empresas concorrentes, designadamente a divisão europeia de *custom manufacturing* da CCL Industries, a CZEWO (Alemanha) ou, mais recentemente, a Provider e Total Pack (Brasil). Esta área de negócio está presente com diversas fábricas na Europa e Brasil e o caso de estudo que motivou o trabalho desta dissertação decorreu na fábrica da COLEP – *Product Supply Group* – Enchimento, em Vale de Cambra.

Esta fábrica é constituída por duas áreas distintas. A área dedicada a produtos cosméticos (desodorizantes, anti-transpirantes, espumas e gel de barba, entre outros) que integra cinco linhas de enchimento de aerossóis, enquanto a área dedicada a produtos de não cosmética (shoe-care, inseticidas e outros produtos de limpeza ou lubrificação) incorpora uma linha de enchimento de líquido e uma linha de enchimento de aerossóis (linha de produção A6). A linha de produção A6 corresponde a 12% do total de produção da fábrica de enchimento.

1.2 Descrição do problema

Para gestores em ambientes de processo de fabrico, a promoção de melhorias operacionais sustentáveis já não é uma opção – é um requisito para a sobrevivência. No atual mercado global, altamente competitivo, a COLEP tem de se manter à frente dos seus concorrentes. Para isso, e devido à localização pouco estratégica da fábrica em Vale de Cambra, em comparação com os seus concorrentes a nível europeu, devido à distância entre os principais fornecedores e clientes a empresa aposta na eficiência e melhoria contínua como forma de se manter competitiva. Os principais objetivos desta aposta são: o aumento performance das linhas de produção e o aumento da produtividade para que se consiga alcançar um preço de custo mais baixo, mantendo a qualidade nos níveis requeridos.

O objetivo de aumentar a *performance* depende de uma medição clara da mesma. Atualmente, em grande parte dos negócios, todo o desempenho é medido por diversos tipos de indicadores (KPI's). Em literatura este é um tópico muito discutido. De acordo com Neely (2002), a definição de medição de *performance* é: “O processo de quantificar o desempenho das ações”.

Medir a *performance* é importante para sermos capazes de desenvolver atividades de melhoria baseadas nessas medições e acompanhar os resultados anteriores (De Ron, Rooda 2006). Além disso, apenas aspetos que foram alvo de medição são ativamente implementados pelas partes interessadas (Ridgway 1956, De Ron, Rooda 2006). Sendo assim, é importante para as empresas encontrar a medição correta do desempenho e correspondentes KPI's para cada processo. Com uma medição da performance incorreta, o problema não será corretamente identificado e avaliado e, assim sendo, torna-se impossível detetar se o erro foi solucionado ou não.

A COLEP necessita reduzir as suas perdas de eficiência com o objetivo de aumentar a sua *performance*. Para tal, é necessário clarificar a definição de “perdas de eficiência”. O sistema de medição de perdas de eficiência utilizado atualmente na empresa apenas identifica as perdas superiores a 5 minutos, o que significa que as perdas na linha A6 não estão a ser corretamente medidas, pois não estão a ser registadas. É complexo reduzir as perdas se elas são difíceis de identificar.

É difícil melhorar a performance da linha de produção A6 dada a variedade de especificidades nas ordens de produção e porque as perdas não são visíveis. No entanto, o desempenho da linha não vai melhorar quando apenas as perdas são descodificadas. Ações e alterações em linha têm de ser estudadas, planeadas, implementadas e monitorizadas. Descodificar estas perdas é apenas um primeiro passo para aumentar a performance da linha. Quando as perdas estão “transparentes”, as relações e eficiências das máquinas podem ser determinadas e apenas depois se pode avançar com o processo de melhoria.

1.3 Configuração da Investigação

Baseado na situação identificada na secção 1.2, formulamos a seguinte pergunta de investigação para chegar ao problema:

Como aumentar a performance da linha A6 de enchimento de aerossóis na COLEP Vale de Cambra?

Para responder a esta questão colocamos cinco sub-questões que darão uma visão mais profunda da investigação. Cada sub-questão contém uma breve descrição sobre o que será discutido.

1ª Como é organizada a produção na linha A6 ?

- i) *Que tipo de maquinaria está disponível?*
- ii) *Como está organizado o balanceamento da linha?*
- iii) *Que KPI's são atualmente utilizados?*
- iv) *Como a performance é atualmente medida?*

Primeiro, o *layout* da linha A6 será estudado para delinear a situação do problema. É necessário perceber o funcionamento da linha, quais os processos produtivos e como opera a regulação da linha. Neste contexto, os KPIs necessitam ser claros para ser possível medir a performance.

2ª Qual é a atual performance da linha A6?

- i) *Que perdas estão identificadas?*

ii) *Quais são os bottleneck¹?*

A segunda questão foca-se no atual desempenho da linha e que tipo de perdas a COLEP enfrenta. Muitas das perdas estão identificadas e medidas, embora outras não sejam visíveis com os atuais KPIs. Portanto, todas as perdas deverão ser clarificadas para serem comparadas e se poder determinar o seu impacto na melhoria da performance. Também será alvo do estudo a definição clara de perdas e que tipo de cálculo de *performance* deve ser utilizado. Adicionalmente, a ferramenta para determinar as perdas de eficiência nos processos bottleneck é introduzida (*Mean Efficiency Rate*).

3ª Que abordagens alternativas estão descritas na literatura para o aumento da performance de linhas de enchimento?

Será feito um estudo de literatura com o objetivo de perceber as diferentes abordagens para aumentar o desempenho da linha A6. Diferentes métodos serão comparados, para que o melhor método seja aplicado ao problema. Procuraremos artigos científicos na área da *performance* de linhas de produção

4ª Como podem as abordagens identificadas na pergunta 3, ser adaptadas na linha A6 para aumentar o seu desempenho?

Na sub-questão três, vamos comparar diferentes métodos para aumentar a performance da linha e propor melhorias/intervenções para COLEP. Diferentes cenários irão ser experimentados e testados e a melhor alternativa será comparada com a situação atual. Se melhorar a situação atual, a implementação poderá então ser considerada.

5ª Quais os resultados obtidos com a implementação?

Na sub-questão cinco analisaremos se os resultados obtidos na questão anterior vão ter um impacto positivo na situação atual. Com base nestes resultados, descreveremos recomendações para futuras melhorias e projetos de investigação.

1.4 Método de investigação

Para responder às perguntas, daremos uso a vários métodos de investigação. Relativamente à primeira e segunda sub-questões, utilizaremos o *know-how* da COLEP. Para descrever o *layout* atual e maquinaria presente na linha é útil observar a linha em funcionamento com o uso de dados empíricos. Realizaremos também várias entrevistas com os supervisores da linha, *cell-leaders* e operadores para obter mais informação sobre a linha de produção. A natureza da entrevista dependerá também do tipo de informação que se pretende obter. A informação do sistema de informação utilizado, bem como os dados recolhidos serão usados para descrever o funcionamento da linha A6. Todos os dados relevantes das linhas são armazenados num ficheiro Excel, esta será a principal fonte de informação para responder à sub-questão dois. Aplicaremos a análise dos dados para determinar o processo/máquina *bottleneck*. Será igualmente apresentada a ferramenta para determinar as perdas de eficiência (*Mean Efficiency Ratio*).

Para respondermos à sub-questão três recorreremos à revisão da literatura, analisando publicações académicas, livros, relatórios, internet, bases de dados e atas de conferências.

¹ Gargalos de produção

Em relação à sub-questão quatro, várias hipóteses serão testadas utilizando métodos analíticos e, posteriormente, se necessário, um modelo conceptual para desenhar outras soluções. Utilizaremos métodos de verificação e validação para os dados que serão usados. É apropriado utilizar a simulação para reproduzir o ambiente real, permitindo o estudo de alternativas à configuração atual, sem o custo elevado que resultaria de testes experimentais na prática. Um modelo de simulação é um modelo simplificado da realidade, mas que pode ser utilizado para testar diferentes regras de produção. (Wein & Chevalier, 1992).

Na sub-questão cinco, serão analisados os resultados das melhorias e algumas recomendações serão propostas. Algumas melhorias serão implementadas em linha e, com recurso ao modelo, várias potenciais perdas serão identificadas e algumas melhorias poderão ser recomendadas. Na Figura 2 está representado um sumário que retrata as diferenças e importâncias entre o conhecimento académico e o *know-how* da COLEP.

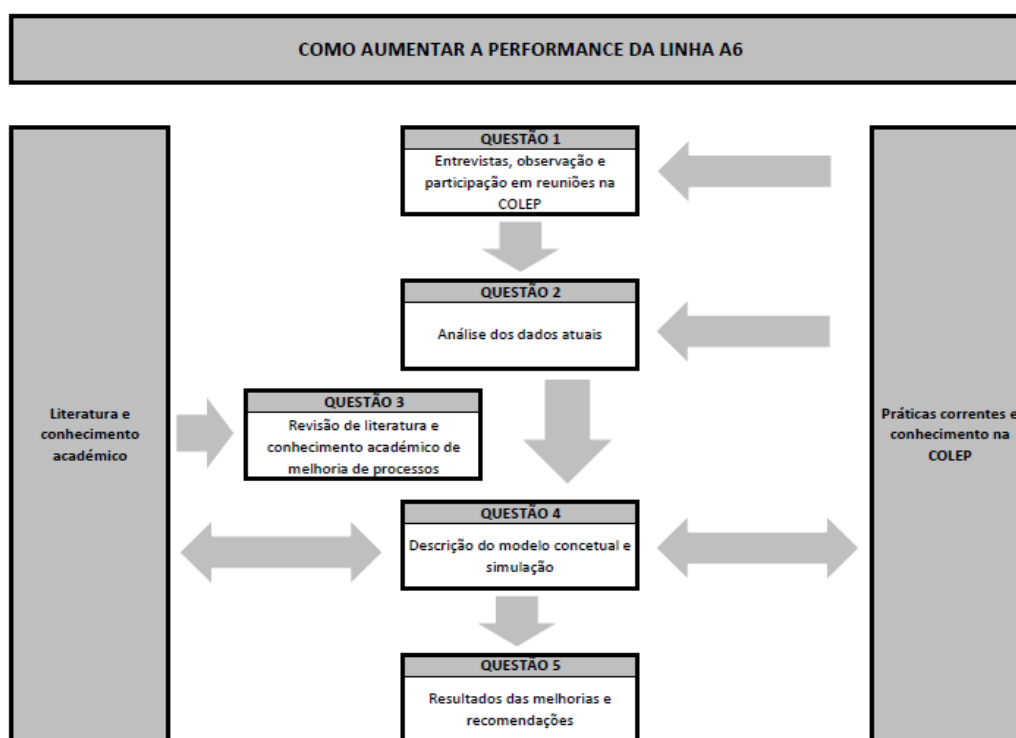


Figura 2 - Método de Investigação

1.5 Estrutura da dissertação

Iniciamos esta dissertação com a introdução da empresa, a identificação o problema e estruturação do método para o resolver (Capítulo 1). No Capítulo 2 irá ser feita uma revisão de literatura. No Capítulo 3 vai ser explicado o processo produtivo e a linha de produção em estudo, que nos permitiu fazer o levantamento de dados para a definição do estado atual da linha (Capítulo 4). Nos Capítulos 5 e 6, utilizando os métodos do ciclo PDCA, serão solucionadas as perdas de eficiência no embalamento manual para caixas e no embalamento em filme de polipropileno. No primeiro caso recorreremos à análise dos dados para a resolução dos problemas, enquanto que no segundo caso recorreremos a um modelo conceptual. No Capítulo 7 explicaremos as implementações que foram efetuadas na linha de produção, durante o projeto, para posteriormente se proceder análise dos resultados dos indicadores de performance da linha A6 e avaliar o sucesso do projeto (Capítulo 8). Finalmente no Capítulo 9 iremos apresentar conclusões e recomendações para projetos futuros.

2 Revisão de literatura

A revisão literária realizada focou-se no campo da melhoria do desempenho de uma linha de produção. No final, os processos utilizados pela COLEP na melhoria contínua do seu desempenho serão confrontados com as alternativas descritas na literatura.

2.1 Medição da performance

A análise da eficiência dos sistemas produtivos é considerada um tema de grande relevância para as empresas industriais. Pelo cálculo e monitorização da eficiência produtiva dos recursos, pode-se conhecer as reais eficiências dos processos produtivos, tendo como objetivo elaborar planos de ação e soluções para os principais motivos de ineficiência da produção. Como as informações para o cálculo correto da eficiência dos recursos nem sempre estão disponíveis nos sistemas corporativos das empresas, torna-se necessário reunir e analisar os dados dos recursos produtivos. A adoção de um sistema de medição correto e a gestão de parâmetros chave contribuem para o aumento da produtividade, tanto nas áreas multifuncionais, como no chão de fábrica.

Neely *et al* (1995) definiram as medições de *performance* (PMs) e métricas, como o processo de quantificar a eficiência e eficácia de uma ação. O termo métrica refere-se à definição de medição, como será calculada, quem fará o cálculo e de onde é que os dados serão obtidos. De acordo com Fitzgerald *et al* (1991), há dois tipos básicos de PMs em qualquer organização: o que relaciona resultados (competitividade e desempenho financeiro) e o que se foca nas determinantes do resultado (qualidade, flexibilidade, utilização de recursos e inovação).

De acordo com Neely (2002), duas características são necessárias para um sistema de medição do desempenho de um negócio: medição de performance e uma infraestrutura de suporte. Apesar da existência de medições ser algo muitas vezes dado como adquirido, não há tanta concordância na natureza dessas medições. Uma estrutura de suporte pode variar desde métodos manuais muito simples ou gravação de dados até sofisticados sistemas de informação e procedimentos de suporte que podem incluir aquisição de dados, validação, ordenação, análise, interpretação e disseminação (Neely, 2002).

Seis grandes perdas

Nakajima (1991) afirmou que a perda de uma indústria é a diferença entre um *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) de 100% e o OEE atual. Reduzindo as perdas, o OEE atual aumenta. Nakajima categorizou as perdas nas “*six big losses*”: falhas e avarias no equipamento, mudanças e afinações, micro paragens, perda de velocidade, defeitos e retrabalho, perdas no arranque (Figura 3).

ÍNDICES	TEMPO PLANEADO DE OPERAÇÃO	
Disponibilidade	TEMPO DISPONÍVEL	
Performance	TEMPO DE OPERAÇÃO	Micro-paragens Perda de velocidade
Qualidade	TEMPO ÚTIL	Defeitos e re-trabalho Perdas no arranque

Figura 3 – Seis grandes perdas

Overall Equipment Effectiveness

O OEE é determinado como o produto da disponibilidade, *performance* e qualidade. Como afirmado por Nakajima (1991) identifica as perdas relacionadas com o decréscimo de *performance* ao avaliar cada componente. A eliminação destas perdas resulta num maior desempenho onde, de acordo com Nakajima (1991), zero perdas resultará num OEE de 100%.

O *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) é calculado da seguinte forma:

$$OEE = Disponibilidade * Performance * Qualidade$$

Onde os três indicadores têm as suas equações que estão estabelecidas abaixo:

$$Disponibilidade = \frac{Tempo\ disponível}{Tempo\ planeado}$$

$$Performance = \frac{Tempo\ de\ operação}{Tempo\ disponível}$$

$$Qualidade = \frac{Tempo\ útil}{Tempo\ de\ operação}$$

Estes indicadores são calculados com o objetivo de medir o desempenho da linha de produção. Como afirmado, estes indicadores são multiplicados, o que significa que o peso deles é o mesmo. A qualidade mede o rácio de produtos conformes, isto é os produtos que saem da linha de produção e estão aptos a ir para o mercado. A performance mede o tempo eficiente de produção. A disponibilidade é o tempo de disponível dividido pelo planeado.

Para um melhor estudo da performance recorreremos à revisão bibliográfica da Teoria do Estudo do Tempo.

2.2 Teoria do estudo do tempo

O estudo do tempo é uma teoria, bem como uma prática, para determinar o tempo de um processo produtivo, com o objetivo de melhorar, controlar e acompanhar as operações. Uma abordagem fundamental na teoria é que o tempo é um recurso, como as máquinas e os humanos e, por isso, é usada para calcular o índice de produtividade para um determinado processo produtivo. A produtividade é definida como o número de produtos que saem do

sistema a dividir pelo total de recursos de entrar (incluindo o tempo despendido) nesses produtos . Assim, o tempo é um fator altamente influente quando calculamos a produtividade e, conseqüentemente, influente também no custo.

O estudo do tempo é uma das práticas mais comuns na logística de fabrico. A prática é baseada em vários conceitos de tempos padronizados, o que facilita o trabalho com o estudo do tempo. Um conceito central é o *lead time*, que se refere à média de tempo que demora todo o processo. Dois outros conceitos comuns são “tempo de ciclo” (*cycle time*) e “tempo de processo” (*throughput time*). Estes dois são definidos como:

- **Tempo de ciclo:** o tempo médio entre unidades completas num processo. O tempo de ciclo mede o “ciclo” inteiro, por exemplo, o tempo que uma máquina leva a agarrar uma peça, até agarrar a peça seguinte.
- **Tempo de processo:** a taxa em que o produto completo precisa de estar terminado de modo a responder às necessidades do cliente. A unidade mais comum é produtos por hora.

Há também alguns conceitos importantes relacionados com quebras de produção. Três deles, são *Mean Time Between Failures* (MTBF), o *Mean Time To Repair* (MTTR) e o *Mean Time To Failure* (MTTF). A soma do MTTR e do MTTF é igual ao MTBF. A figura 4 define os três conceitos e mostra a relação entre eles.

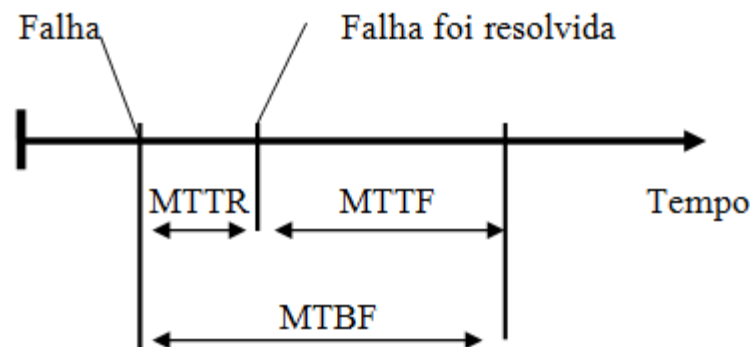


Figura 4 - Explosão do MTBF

A *Availability* da máquina é definida como a percentagem do tempo em que uma máquina está disponível para operar. A disponibilidade é o tempo que a máquina produziu versus o tempo que a máquina deveria ter produzido. É calculado da seguinte forma:

$$Availability = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100\%$$

No caso de máquinas a trabalhar em paralelo, o cálculo da disponibilidade para o conjunto faz-se da seguinte forma:

$$Availability = 1 - \left(1 - \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}\right)^2 * 100\%$$

Segundo Freivalds and Niebel (2009) o estudo do tempo de ciclo depende da sua dimensão. Se o tempo de ciclo estudado é inferior a alguns segundos (ex. inferior a cinco segundos) é apropriado utilizar algum tipo de gravador de vídeo. O uso desses equipamentos torna

possível abrandar o vídeo, bem como retroceder (*rewind*) o tempo real muito facilmente. Contudo, se o tempo de ciclo de estudo é relativamente longo, um cronómetro é suficiente para obter um resultado exato.

Para perceber de que forma tratamos os dados dos equipamentos, recorreremos à Teoria das Restrições.

2.3 Teoria das Restrições - Theory of Constraint (ToC)

A teoria das restrições é uma metodologia de resolução de problemas que procura determinar as causas subjacentes de um problema com o propósito de encontrar as melhores soluções. A teoria foi desenvolvida pelo físico israelita Eliyahu Goldratt nos finais dos anos 70 e desde aí que têm sido produzidos resultados importantes nas unidades industriais.

O princípio da teoria das restrições pode ser formulado em duas afirmações de acordo com Rahman (1998):

- Qualquer sistema tem de ter pelo menos uma restrição (nenhuma restrição significa lucro ilimitado). A restrição é conhecida também por gargalo (*bottleneck*) ou elo mais fraco (*weakest link*), que domina todo o sistema.
- A existência de restrições representa oportunidade de melhoria (restrições positivas determinam a *performance* de um sistema).

Uma técnica fundamental da teoria das restrições é a desenvolvida por Goldratt. A técnica melhora o tempo de processo (*throughput time*) e consiste em cinco passos sequenciais. Primeiramente, a restrição (ou *bottleneck*) é identificada.

Goldratt (1997) estabelece 5 passos para a implementação do conceito TOC, cujo objetivo principal é identificar, controlar e gerir da melhor maneira a restrição.

1. Identificar a(s) restrições do sistema;
2. Decidir como explorar as restrições do sistema;
3. Subordinar o resto à decisão anterior (garantir que tudo caminhe de acordo com as restrições);
4. Elevar as restrições do sistema;
5. Se, num passo anterior, uma restrição for eliminada, volte ao primeiro passo, mas não permita que a inércia gere uma restrição no sistema.

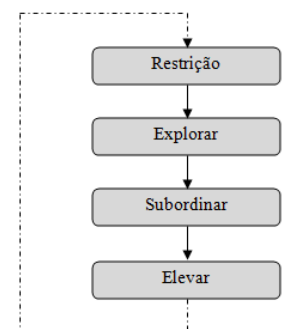


Figura 5 - Passos para implementação da TOC

Para implementar esta sistemática, principalmente no que diz respeito ao passo 4 acima, é fundamental dominar os conceitos de *bottleneck*, corda e pulmão:

Bottleneck

Trata-se do posto gargalo. O conceito é que o ritmo de produção será determinado pelo posto gargalo. Dado que este é o posto de menor capacidade e que, por isto, deve trabalhar em período o processo produtivo será determinado por este posto.

Para os postos de trabalho anteriores ao posto gargalo (a montante), trabalhar em ritmo mais intenso irá gerar apenas *stocks* intermediários desnecessários, dado que o posto gargalo não terá capacidade de processar os itens nesta mesma velocidade.

Por outro lado, para os postos de trabalho posteriores ao posto gargalo (a jusante), trabalhar num ritmo menor que o gargalo significará reduzir a taxa de produção em relação ao posto gargalo e, conseqüentemente, reduzir a taxa de produção do sistema como um todo.

Pulmão

A falta de abastecimento de material no posto gargalo irá gerar uma paralisação no posto gargalo gerando consequentemente uma redução da produção. Para evitar que isto ocorra, é admitido que o posto gargalo trabalhe com um nível de *stock* intermediário para ser processado maior do que nos demais postos.

O custo a mais no *stock* de materiais é admitido para haver um máximo aproveitamento do posto gargalo. A este *stock* “extra” é dado o nome de pulmão. Ele é fundamental por dar a segurança do gargalo não parar caso haja um imprevisto nas etapas anteriores.

Corda

A corda é o procedimento pelo qual o *bottleneck*, definido acima como o posto gargalo, dita o ritmo da produção, conectando o pulmão às operações anteriores no fluxo de operações.

Uma vez que o pulmão esteja desabastecido, as operações anteriores devem fabricar para reabastecer este *stock*. Quando o *stock* estiver preenchido, as operações anteriores são interrompidas, de forma que não haja produção em excesso, acima do que o posto gargalo seria capaz de processar. Portanto, a corda irá puxar a produção para abastecer o pulmão, ao ritmo do gargalo.

Durante o tempo de operação, quando uma máquina não está a produzir, vários estados que indicam a condição da máquina podem ser identificados:

Producing: A máquina está a produzir produtos. Pode ser com diferentes níveis de velocidade.

Planned production stop: A máquina não está a produzir devido a manutenção planeada.

Starvation: A máquina não está a produzir devido a uma falta na alimentação. Principalmente causada por falhas de máquinas precedentes.

Blockage: A máquina não está a produzir devido à linha de produção estar cheia, devido principalmente a falhas nas máquinas sucessoras.

Short failure: A máquina tem uma falha interna ou externa com uma duração inferior a cinco minutos.

Portanto, estas restrições formam o foco de melhoria dos processos produtivos numa empresa. O principal foco recai sobre o aumento das quantidades produzidas. As críticas a esta teoria estão relacionadas com a falta de envolvimento dos operadores. A TOC foca em todo o processo e, por isso, os colaboradores que trabalham em parte deste processo contribuem de forma muito limitada.

Para calcular a eficiência dos equipamentos da linha fizemos uma revisão de literatura do Indicador *Mean Efficiency Rate*.

2.4 Mean Efficiency Rate (MER)

Uma abordagem essencial para aumentar a *performance* da linha é que os *buffers*² devem ser esvaziados com o objetivo de prevenir bloqueios, e devem ser cheios com o objetivo de prevenir *starvation*. Para completar esta condição, as máquinas devem reagir entre elas e os níveis de velocidade devem realçar o fluxo contínuo, com a ajuda de sensores.

² Pulmão da linha de produção

Harte (1997) estabeleceu que o *V-Graph* é uma teoria baseada na máquina *bottleneck*, que contém o fundo do V. Harte (1997) afirmou que: “as máquinas de ambos os lados da máquina *core* têm capacidade extra para recuperar a acumulação após a ocorrência de uma falha”. Perdas feitas pela máquina *bottleneck* não podem ser corrigidas por outras máquinas. Assim sendo, uma perda na máquina *bottleneck* é uma perda direta na performance total da linha.

Com o objetivo de determinar a máquina *bottleneck* é utilizado o *Mean Efficiency Rate* (MER). A taxa média de eficiência é calculada da seguinte forma:

$$MER = \frac{\text{Tempo de produção}}{\text{Tempo de produção} + \text{Tempo de falha interna}} * \text{Capacidade Máquina}$$

O tempo de produção mais o tempo de falha é o tempo em que a máquina pode produzir, ou seja a disponibilidade da máquina. Isto prova que a máquina *core* não é a mesma que a máquina *bottleneck*.

Qualquer máquina pode ser a máquina *bottleneck*, dependendo do tempo de falha. A máquina com o MER mais baixo é chamada máquina *bottleneck*.

2.5 Ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA)

A abordagem de resolução de problemas Plan-Do-Check-Act (PDCA) é um ponto central na melhoria contínua dentro de uma produção *Lean*. As ideias em que se baseia um ciclo PDCA foram difundidas pelo engenheiro de qualidade W. Edward Deming para a indústria Japonesa e foram posteriormente adotadas pela Toyota e incorporadas no seu sistema produtivo (*Toyota Production System*).

O ciclo PDCA consiste em quatro fases que se referem aos passos na melhoria sistemática do trabalho. Ao seguir os passos uma e outra vez repetidamente, o nível de *performance* numa organização irá melhorar continuamente (Figura 6). Cada melhoria deve ser padronizada, de maneira a que o conhecimento e os níveis de *performance* sejam sustentados (Liker, 2004).

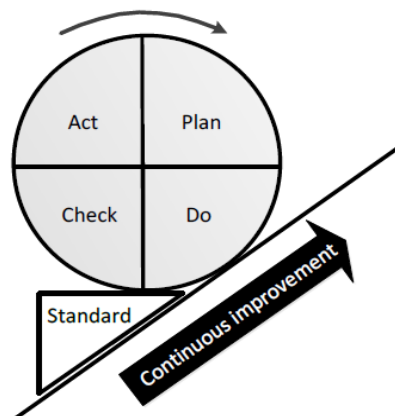


Figura 6 - Ciclo PDCA

As fases do ciclo PDCA são:

Plan – Esta fase incorpora a definição do problema. Uma análise minuciosa do estado atual é feita com o objetivo de identificar a raiz do problema. Soluções são então formuladas e avaliadas para identificar as soluções mais rentáveis existentes.

Do – As soluções decididas são implementadas uma por uma. Nesta fase, terá de se garantir que as soluções são corretamente entendidas e seguidas pelas pessoas que as irão implementar.

Check – A fase alcançada depois da implementação das melhorias é então analisada, com o objetivo de verificar as soluções. Se os resultados são negativos, o trabalho de melhoria terá de começar de novo na fase *Plan*. Caso contrário, as soluções testadas continuarão para a fase *Act*.

Act – Quando o ciclo de melhoria atinge esta fase, as soluções são preparadas para implementação final pela padronização e possível propagação a outras partes da organização. Para manter o trabalho de melhoria contínua, a chave para o sucesso é repetir infinitamente o ciclo para obter um nível superior.

Tal como Liker (2004) afirmou, demorou décadas para a Toyota se transformar na empresa de aprendizagem que se tornou hoje em dia. Provavelmente demorará anos para as outras empresas se envolverem nesta cultura e se tornarem organizações de aprendizagem contínua.

2.6 Simulação de eventos discretos (DES)

“A simulação é ciência e arte”

(Shannon, 1975)

A simulação de eventos discretos não é apenas ciência, é também uma arte. Os investigadores afirmam que a simulação não requer apenas conhecimentos de programação e estatística, mas também várias horas de treino prático especializado.

Mais especificamente, a modelação DES é um método popular para prever a performance de sistemas complexos. De acordo com Shannon (1975), o método inclui a construção de um modelo e o uso experimental deste com o objetivo de descrever o comportamento do sistema, tanto no presente como no futuro.

O termo “simulação de eventos discretos” refere-se a um tipo de simulação. A palavra principal do termo é simulação e, geralmente, é definida como o uso de um modelo para representar ao longo do tempo as características essenciais do sistema em estudo. Uma definição mais abrangente e adequada é dada por Shannon (1975):

“O processo de desenhar um modelo de um sistema real e conduzir experiências com esse modelo com o objetivo de perceber o comportamento do sistema e/ou avaliar várias estratégias para o funcionamento do sistema”

As duas palavras centrais nesta definição são modelo e sistema. “Modelo” é definido como “a representação de um grupo de objetos e ideias de uma forma que não seja a sua própria entidade”, enquanto “sistema” é definido como “um grupo ou coleção de elementos inter-relacionados que cooperam para atingir o mesmo objetivo estabelecido” (Shannon, 1975). Um exemplo de um sistema pode ser o sistema produtivo de fabrico de automóveis.

Um sistema real, muitas vezes referido, para simplificar, como sistema, pode ser caracterizado como contínuo ou discreto. (Banks, 1998). Em contraste com um sistema contínuo, um sistema discreto consiste em variáveis de estado que variam num conjunto discreto de pontos no tempo. Quando este conjunto de pontos no tempo corresponde a eventos específicos do sistema, a aplicação é chamada de simulação de eventos discretos (DES). Muitos

investigadores descrevem o significado da DES. Por exemplo Shannon (1995) explica que DES é “...o tipo de simulação em que o estado do modelo muda apenas no conjunto discreto, ou possivelmente ao acaso, de pontos simulados no tempo”. Uma definição ligeiramente mais descritiva, por isso mais apropriada para o caso em estudo, foi dada por Banks (1998):

“...aquela em que o estado das variáveis altera apenas nos pontos discretos do tempo em que os eventos ocorrem”.

De acordo com Harte (1997) o processo de criação de um modelo de simulação envolve os seguintes passos:

1. Formulação do problema: definição do objetivo da resolução do problema.
2. Construção do modelo: abstração do sistema em relações matemática/lógicas em concordância com a formulação do problema e preparação do modelo computadorizado.
3. Aquisição de dados: identificar, especificar e reunir dados.
4. Verificação: estabelecer que o modelo computadorizado executa como pretendido.
5. Validação: estabelecer que a precisão desejada ou correspondência existe entre o modelo de simulação e o sistema real.
6. Experimentação: executar o modelo de simulação para obter os valores de saída (*output*).
7. Análise de resultados: analisar os *outputs* da simulação para desenhar conclusões e fazer recomendações para a resolução do problema.
8. Documentação: descrição detalhada do modelo e da sua utilização.

Conclusão

A medição da performance das linhas de produção na fábrica de enchimento da COLEP – Vale de Cambra é feita com recurso à análise do OEE. Além disso, este será o nosso indicador para avaliar a eficiência das melhorias realizadas durante do projeto.

A teoria do estudo do tempo será utilizada para obter uma melhor compreensão do funcionamento da linha de produção e da maquinaria presente nesta.

A teoria das restrições e o *Mean Efficiency Rate* serão essenciais para identificar o gargalo da linha de produção para, posteriormente, proceder a melhorias neste.

O ciclo PDCA será a metodologia abordada para a identificação dos problemas e implementação das melhorias.

Finalmente, iremos recorrer a um modelo de simulação com recurso ao *software* “Siemens – Plant Simulation”, para identificar as perdas na eficiência da linha que não foi possível identificar com recurso a métodos analíticos.

3 Processo produtivo

Neste capítulo daremos ênfase à descrição da linha de produção A6 e dos seus processos produtivos. Trata-se de uma linha de produção de enchimento de aerossóis de produtos de não-cosmética (inseticidas, *shoe-care*, óleo de limpeza). Em seguida serão apresentados os componentes de um aerossol, a descrição da linha de produção (maquinaria, sensores e transportadores) e, de que forma é feito o acompanhamento e controlo da produção.

3.1 Composição de um aerossol

De acordo com a *Costumer Specialty Products Association Aerosol Guide 9th Ed.*, um aerossol é uma embalagem pressurizada, consistindo numa lata de metal, vidro ou plástico, com uma válvula acoplada e desenhado para dispensar produtos como *sprays*, gel, espumas, loções ou gases. Os tamanhos variam entre 2,8 mL até 1L. Quimicamente falando, é uma suspensão de partículas sólidas ou líquidas num gás. Tecnicamente falando, um aerossol é um dispensador ou lata usado para mudar o ingrediente dentro da lata no aerossol.

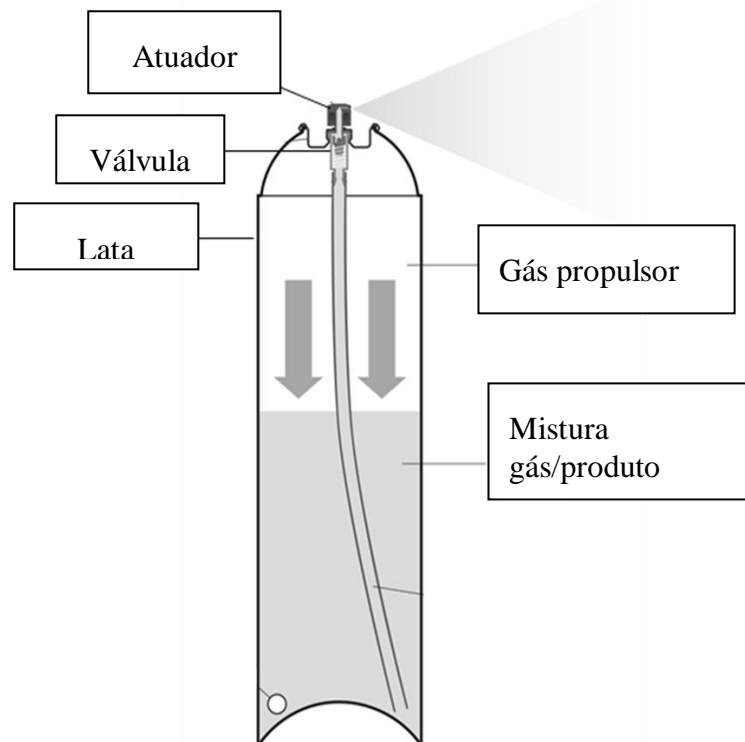


Figura 7 - Componentes de um aerossol

Tal como se verifica na figura 7, o sistema pressurizado é composto por:

- Lata (metal, plástico, vidro);
- Válvula;
- Atuador;
- Produto;
- Propulsor.

A pressão dentro do aerossol é superior à pressão externa, devido ao gás, e, por isso, o conteúdo do aerossol sai da lata quando o atuador é pressionado. Quando o botão é pressionado, ocorrem os seguintes processos no aerossol:

1. A válvula abre;
2. O produto é puxado para baixo pela pressão exercida no topo;
3. Entra no *dip tube*;
4. Sai para fora através da lata.

No exterior do aerossol, com a pressão baixa:

- a) O propulsor líquido volta ao estado gasoso, levando o produto consigo numa mistura.
- b) No caso de uma *mousse* ou espuma, o propulsor cria bolhas que farão o produto expandir.

3.2 Maquinaria no processo produtivo

A linha A6 é uma linha de produção com *layout* linear, ou seja, os equipamentos são dispostos de acordo com uma determinada sequência de operações, ficando fixos, enquanto os materiais se movem pelos vários equipamentos (Camarotto, 1998).

É de notar que esta linha tem dois *layouts* diferentes, que dependem do tipo de embalagem que o cliente pretende:

- Embalamento com tabuleiro e filme de polipropileno;
- Embalamento para caixas de cartão.

No caso de embalamento com tabuleiro e filme de polipropileno (figura 8), apenas são necessários três colaboradores para abastecer a máquina das tampas, atuadores, latas e por fim paletizar. No caso de embalamento das latas para caixas, é colocada uma mesa perpendicular ao tapete de entrada da máquina dos tabuleiros, e dois colaboradores retiram as latas da linha e colocam-nas em caixas, sendo que depois são colocadas numa máquina que coloca a fita-cola nas caixas. Neste caso, são utilizados quatro colaboradores.

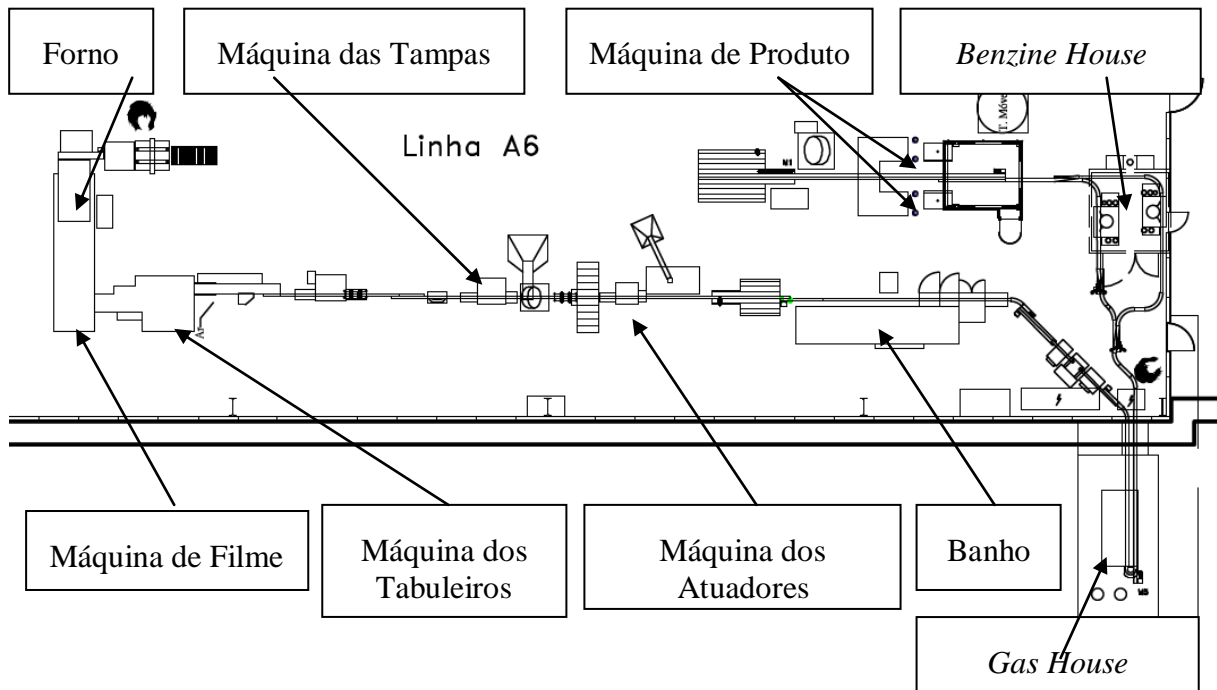


Figura 8 - *Layout* da linha de produção A6

Máquina de Produto: Duas máquinas dispostas paralelamente, sendo que cada uma delas dispõe de uma micro-doseadora de produto, três bombas volumétricas de enchimento de produto, uma cabeça para colocar a válvula na lata, uma cabeça para posicionar a válvula e uma cabeça de cravação e vácuo.

Benzine House: Duas máquinas paralelas para encher benzina nos aerossóis. Por razões de segurança, as duas máquinas estão num compartimento fechado.

Gas House: Duas máquinas em série para encher gás nos aerossóis, possibilitando encher dois tipos de gás diferentes. Por razões de segurança, a *gás house* está localizada fora do pavilhão.

Banho: Por lei, todos aerossóis devem testados a parâmetros de segurança e fugas. Este banho dura cerca de cinco minutos e a temperatura interior dos aerossóis sobe aos 50°C.

Máquina dos atuadores: Máquina para introduzir o atuador ao longo da haste da válvula. Este pode ser normal ou tipo “bico de pato”.

Máquina das tampas: Máquina para colocar as tampas no aerossol. Nesta linha de produção podem ser usadas tampas do tipo normal ou tampa atuadora.

Máquina dos Tabuleiros: Máquina para colocar os tabuleiros.

Máquina de Filme: Máquina para colocar o filme retrátil em polipropileno de embalagem nos aerossóis.

Forno: Forno para retrainer o filme.

3.3 Controlo da produção

O controlo da produção da linha A6 é feito diariamente, no chão de fábrica, pelo *cell-leader*, e numa reunião diária pelo Gestor de Operações da fábrica, onde a partir da análise do OEE, examina o desempenho e eficiência da linha de produção. A recolha de dados é feita diariamente pelo supervisor de cada turno. Compete-lhe apontar o número de latas produzidas a cada hora do tempo de operação no mapa de acompanhamento de produção (Anexo A) e, no mapa de acompanhamento de paragens (Anexo B) fazer uma descrição das paragens, bem como escrever a hora de início e fim destas.

No preenchimento destes dois mapas, verificaram-se imprecisões que têm influência direta no cálculo da eficiência da linha de produção. Relativamente ao mapa de acompanhamento da produção, verificou-se que a sucata não é contabilizada de forma exata, ou seja, é feita uma estimativa pelo supervisor. Além disso, aquando do aumento ou diminuição do número de operadores durante o turno, não é identificada a hora exata desse evento, sendo feito o cálculo da produtividade por colaborador baseado no número máximo de colaboradores que esteve em linha.

No caso do mapa de acompanhamento de paragens, o facto do processo de recolha de dados das paragens em linha ser inteiramente manual, torna estes dados bastante imprecisos. Como se observa no mapa de acompanhamento de paragens do dia 21/09/2015 (Anexo B), todas as paragens aconteceram em múltiplos de cinco minutos. Além disso, verifica-se que apenas paragens superiores a dez minutos são apontadas no mapa. Isto leva a que muitas paragens e perdas de velocidade e eficiência de linha sejam “invisíveis” ao Gestor de Operações.

3.4 Mudanças e cadência das máquinas

O facto de a linha de produção A6 ser a única linha na fábrica de enchimento da COLEP em Vale de Cambra, destinada exclusivamente a produtos não cosméticos, leva a que seja uma linha de produção com uma sobrecarga grande de ordens de produção e com grande variabilidade nas características dos aerossóis a serem produzidos (altura, diâmetro, tipo de produto, gás e embalagem). Sendo estas mudanças em linha efetuadas por colaboradores diferentes, as afinações nos parâmetros das máquinas (todas as máquinas são pneumáticas, exceto a máquina de filme e tabuleiros) são também diferentes, pois apenas dependem da experiência de cada um dos intervenientes. Estas afinações não têm uma definição de procedimentos *standard*, sendo todo o ajustamento do fluxo de ar das máquinas feito manualmente. Tal facto, origina diferentes cadências nas máquinas e conseqüentemente diferente balanceamento da linha entre supervisores.

É de notar que sempre que uma nova ordem de produção inicia a sua execução, os supervisores apenas recorrem à sua experiência de trabalho para definir qual a cadência a que as máquinas gargalo conseguem produzir, de acordo com as especificações do produto.

3.5 Sensores e transportadores

Relativamente aos sensores, existem 3 tipos de sensores na linha A6. Os sensores que: param a máquina por falta de material, param a máquina por excesso de material na máquina sucessora e células contadoras.

É de notar também o uso em linha de apalpadores e divisores. Os primeiros têm por objetivo reunir as latas para entrarem agrupadas para as máquinas. Os segundos têm como finalidade dividir as latas para diferentes guias. Estes estão ligados entre si, embora tenham sido

verificadas algumas anomalias no seu funcionamento, provocando o encravamento das latas à entrada das máquinas e conseqüente paragem destas.

Os tapetes (ou transportadores) são utilizados para transportar as latas de uma máquina para a outra. Os tapetes têm diferentes tamanhos tanto em comprimento, como em largura. O tapete pode também ser usado como *buffer*. As velocidades dos transportadores são controladas pelo supervisor da linha, contando apenas com a sua experiência para analisar a linha e alterar a velocidade.

4 Linha de produção A6

Neste capítulo será analisada a eficiência da linha de produção A6 aquando do início do projeto (Setembro de 2015).

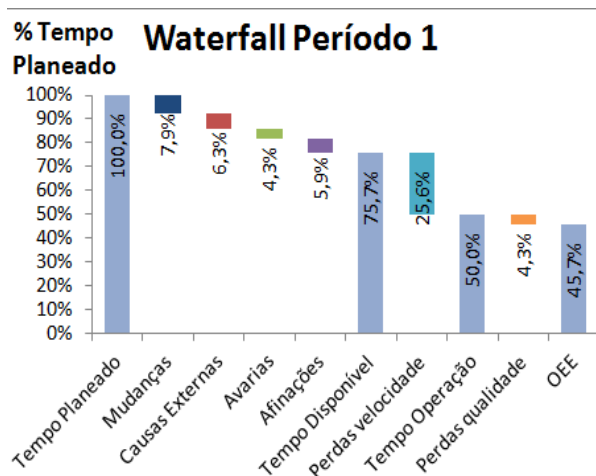


Figura 9 - Cascata OEE de Janeiro a Setembro de 2015

A média do OEE para este período é de 45,7% (Figura 9), sendo o objetivo para o corrente ano de 2015 de 62% mudanças. É possível observar que este valor está a ser bastante afetado pelas elevadas perdas de velocidade que se verificam, o que afeta diretamente os custos operacionais da empresa, fruto das dificuldades em termos de planeamento da produção aumentando o custo dos produtos a produzir na linha de produção A6.

É então necessário identificar quais os fatores que afetam a *performance* da linha, para posteriormente os analisar e criar formas de os eliminar.

4.1 Micro paragens e perdas de velocidade

Define-se micro paragem como uma paragem no normal funcionamento da máquina com duração inferior a cinco minutos. Esta categoria representa uma área importantíssima para a melhoria da performance de uma linha de produção. As micro paragens originam outros problemas dispendiosos e, além disso, há perda de tempo da operação. De facto, a mais pequena paragem pode comprometer todo o balanceamento de uma linha de produção.

Para atingir resultados positivos e sustentáveis nesta área, é necessário obter informação numa base minuto a minuto. Mais importante ainda é estabelecer um processo que os colaboradores do chão-de-fábrica consigam utilizar para indicar de forma rápida e fácil as razões para a ocorrência destas paragens. Muitas das vezes os operadores não têm forma de comunicar regularmente às chefias os problemas da performance da linha e, por isso, estes continuam sem discussão.

Na fábrica de enchimento da COLEP, apenas são conhecidos dados relativos a paragens superiores a 5 minutos, sendo que estas não afetam as perdas de velocidade, uma vez que são contabilizadas como “avarias” ou “afinações”.

Para isso, foram criadas, no âmbito desta dissertação folhas de registo de paragem (Figura 10), que foram colocadas junto a cada máquina. Pretendeu-se acima de tudo que fosse um registo

Conhecer estes indicadores é fundamental para melhorar o desempenho do sistema produtivo. Quanto maior for o MTTR, menos tempo disponível terá a máquina para trabalhar e quanto menor for o MTBF, mais rápidas frequentes serão falhas. Assim sendo, quanto menos a máquina falhar e mais rapidamente for consertada, mais tempo estará disponível para trabalhar. O objetivo é maximizar o MTBF e minimizar o MTTR.

As máquinas mais vulneráveis à falha são: a máquina das tampas, quando trabalha com tampa atuadora; a máquina dos atuadores, quando trabalha com o atuador do tipo “bico de pato”; a máquina dos tabuleiros e a máquina de filme. É de notar ainda que a máquina que tem o menor tempo entre falhas é a máquina de produto, visto que se trata de duas máquinas, sendo que o cálculo para o indicador disponibilidade foi feito com recurso à fórmula para máquinas paralelas. A máquina com o maior tempo médio em cada reparação é a máquina de gás, uma vez que se encontra fora do pavilhão da fábrica, o que dificulta a perceção da falha pelo operador e aumenta o tempo de resolução, pois é a máquina que se encontra mais afastada do ponto central da linha.

4.2 Baixa velocidade de operação

Fornecer aos colaboradores do chão de fábrica total visibilidade, e em tempo real, relativamente à velocidade da linha de produção, pode ter um efeito enorme na performance. Muitas vezes referido como o “efeito de Hawthorne” – um termo usado para descrever mudanças comportamentais quando um indivíduo sabe que as suas ações estão a ser observadas – na maioria das vezes tem um impacto imediato e significativo na melhoria da performance (Draper, 2014).

Naturalmente, os objetivos do Gestor de Operações incluem melhorias na velocidade das linhas de produção. Mas, além disso, os objetivos devem incluir a capacidade de alcançar um balanceamento ótimo entre eficiência e qualidade do produto. Neste caso, a empresa deverá permitir comparações entre diferentes turnos de produção do mesmo produto por diferentes operadores. Isto poderá ajudar as equipas de gestão a fazer uma análise entre variáveis como operador, velocidade e qualidade do produto.

As perdas de velocidade da linha de produção estão diretamente relacionadas com a velocidade *standard* da linha de produção que é estabelecida pelo departamento de engenharia da empresa aquando a primeira produção de determinado produto. O facto da linha de produção A6 ter uma grande diversidade de características nas ordens de produção, leva a que o valor *standard* para cada produção seja muito variável.

Desde o início do projeto e ao longo de dois meses foram recolhidos os valores das cadências da máquina do produto (máquina com menor cadência da linha) para todas as produções e guardados os dados num ficheiro *Excel*, para posterior tratamento dessa análise.

Retiraram-se duas conclusões:

1. Os supervisores da linha (a quem compete o controlo da velocidade das máquinas), não tinham informação sobre a cadência *standard* de cada produção;
2. As cadências observadas na máquina de produto eram muito inferiores às cadências que estavam prescritas em roteiro.

Com o objetivo de, mais uma vez, integrar os colaboradores da linha no processo de melhoria, os supervisores foram incentivados a aumentar as cadências da máquina de produto. Para isso, foi criada uma folha de registo semanal de cadência. Para cada produto, forneceu-se aos supervisores da linha informação da velocidade objetivo, que desconheciam. Atingindo o tempo de ciclo máximo, ou seja, o valor com o qual não se produziria sucata, escreveriam numa folha de registo esse valor. Caso não conseguissem atingir o valor descrito no roteiro da produção, dispunham na folha de registo de uma coluna para explicar as razões para tal. Na

Figura 11 está um exemplo de uma folha de registo de cadências preenchida pelos supervisores da linha A6.

Linha A6 SEMANA 42		REGISTO DE CADÊNCIAS MÁQUINA PRODUTO							
CÓDIGO PRODUTO	DESCRIÇÃO PRODUTO	OBJETIVO	VELOCIDADE LINHA (LATAS POR MINUTO)						RAZÕES PARA NÃO ATINGIR OBJETIVO
			MÁQUINA PROD. DIREITA			MÁQUINA PROD. ESQUERDA			
			1ª contagem	2ª contagem	3ª contagem	1ª contagem	2ª contagem	3ª contagem	
		100	45			45			
		90	40			40			
		54	30	25		27	27		Válvula de ajuste formato
		75	39	39		39			Válvula com atuador
		100	23	33	34	29	32	32	Box 6-6,5 - máq. esquerda N de cadências Válvulas para Produto espuma
		90	40	41	40	41			

Figura 11 - Folha de registo de cadências

Depois de analisados os dados, foram distribuídos os produtos em diferentes grupos consoante as características que impedem uma maior cadência. Foi criada uma tabela (Tabela 2) com as perdas de eficiência verificadas por tipo de ordem de produção, para posterior análise, validação e atualização do *standard* pelo departamento de engenharia da COLEP. A cadência de linha teórica corresponde ao valor máximo de latas por minuto que a linha consegue produzir. A cadência de linha real diz respeito à cadência teórica multiplicada pela eficiência da linha.

Tabela 2 - Limitações à cadência da linha

BOTTLENECK	CAD. LINHA TEÓRICA	CAD. LINHA REAL	ROTEIRO	PERDA PRIORA TEÓRICA	PERDA PRIORA REAL	PERDA DE VELOCIDADE TEÓRICA	PERDA DE VELOCIDADE REAL
EMBALAMENTO							
BOX 12 & DIVIDER (4PAX)	72	65	100	0:17	0:21	28%	35%
BOX 12 & DIVIDER (4PAX)	72	65	90	0:12	0:17	20%	28%
BOX 6	84	76	100	0:06	0:15	16%	24%
SHR 6 TRY 6	90	81	100	0:04	0:11	10%	19%
MÁQ. PRODUTO							
FOAM	84	76	100	0:10	0:15	16%	24%
52X161 PROD COR	82	74	90	0:05	0:11	9%	18%
52X132 PROD COR	92	83	100	0:05	0:10	8%	17%
NEUTRAL	84	76	90	0:04	0:10	7%	16%
P3/P10 COR	80	72	85	0:04	0:09	6%	15%
DIMENTICONE	86	77	90	0:03	0:08	4%	14%
CO2 RADAR	60	54	100	0:24	0:28	40%	46%
GALP EXPERT MULTIUSOS	78	70	75	0:00	0:04	-4%	6%
TAMPA À MÃO							
REDEX BALA	50	45	54	0:04	0:10	7%	17%
CÓDIGO BRAILE							
OLEO CEDRO AUCHAN	44	40	85	0:29	0:32	48%	53%

Estes desvios relativamente ao que está estabelecido pela empresa como valor possível de ser atingido pela linha, acarretam consigo custos associados e não esperados pela empresa relativos ao planeamento da produção e custeio dos produtos.

A máquina de produto é a máquina da linha de produção A6 que tem o maior número de parâmetros a serem ajustados pelo supervisor da linha aquando de uma mudança de ordem (cinco válvulas reguladoras de caudal em cada máquina) e, por isso, é a máquina mais suscetível a estar a uma mais baixa velocidade de operação do que o pretendido. Além disso,

verificou-se que no início de uma nova produção, a máquina é ajustada a baixa cadência de produção e só depois de toda a linha estar em funcionamento é que a velocidade de funcionamento da máquina de produto é aumentada. Isto cria um espaçamento de entre duas a três horas para se atingir um valor médio de quantidade produzida no final de linha de $\pm 10\%$. Conclui-se, assim, que o perfil do supervisor é um fator preponderante na velocidade da linha de produção.

Tendo já a informação relativa ao máximo que a linha consegue produzir, passou a ser colocado junto à máquina de produto um documento com a informação da cadência a que a máquina de produto deveria estar para cada produção de cada semana. Assim, elimina-se o fator “perfil do supervisor” nas perdas de performance da linha de produção, para se poder incidir na análise e eliminação dos fatores que continuam “invisíveis”. O facto de termos implementado este sistema de controlo de cadências na fase inicial do projeto prendeu-se com o facto de só assim conseguirmos identificar as reais perdas de eficiência da linha de produção.

Utilizando metodologias exclusivamente analíticas e com o objetivo de decifrar as razões do elevado percentual das perdas de velocidade na linha de produção, foi realizado um estudo para os dois diferentes *layouts* da linha de produção. Este estudo contemplou, para cada *layout*, o tipo de especificações de produto mais utilizado na linha. Os cálculos foram feitos com o objetivo de identificar as perdas de velocidade que permanecem “invisíveis” e por isso tem-se em consideração que a disponibilidade da linha é 100%, uma vez que dados relativos à disponibilidade já são conhecidos pela empresa. Deste modo, pretende-se isolar o indicador “performance” e decompô-lo.

5 Embalamento manual para caixas

Primeiramente, abordou-se o caso do embalamento manual para caixas. As especificações mais importantes a reter desta produção são o facto de a tampa ser atuadora, ou seja, a máquina dos atuadores é utilizada apenas como *buffer*. Em relação ao embalamento são utilizadas caixas de doze latas, com a colocação de um divisor entre elas (Figura 12). São utilizados quatro operadores na linha (maquinista, duas pessoas para embalar e colocar divisor entre as latas e uma pessoa no final de linha para colocar as caixas em paletes). Para este tipo de embalamento é necessária uma alteração do *layout* do final de linha da linha. Assim sendo, tal como se verifica na Figura 13, é colocada uma mesa perpendicular ao tapete de entrada da máquina dos tabuleiros..

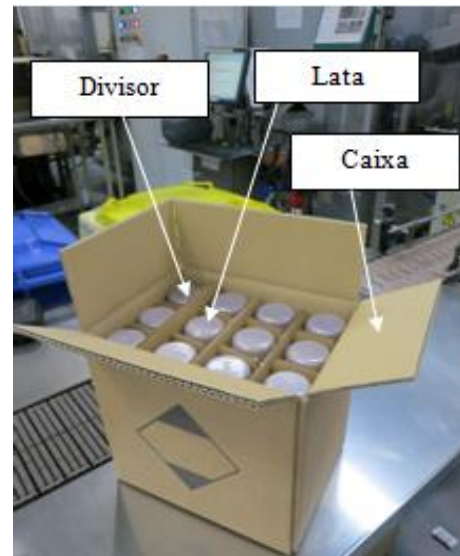


Figura 12 - Caixa de doze latas e divisor



Figura 13 - Final de linha no embalamento para caixas

5.1 Análise da situação atual

Para melhor compreensão da linha de produção, foi feita uma análise com recurso ao V-graph e ao indicador MER (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise ao embalamento para caixas

Máquina	Cadência	Roteiro	Capacidade	Mttr	Mtbf	Availability	MER
Produto	86	90	96%	50	360	99%	95%
Benzina	100	90	111%	80	3600	99%	110%
Gás	90	90	100%	110	3600	97%	97%
Banho	90	90	100%	60	3600	98%	98%
Tampas	85	90	94%	50	720	95%	88%
Embalamento	72	90	80%	50	900	95%	76%

Tendo obtido a disponibilidade (*Availability*) e o *Mean Efficiency Rate* de cada máquina, é possível construir o *V-graph* que está representado na Figura 14.

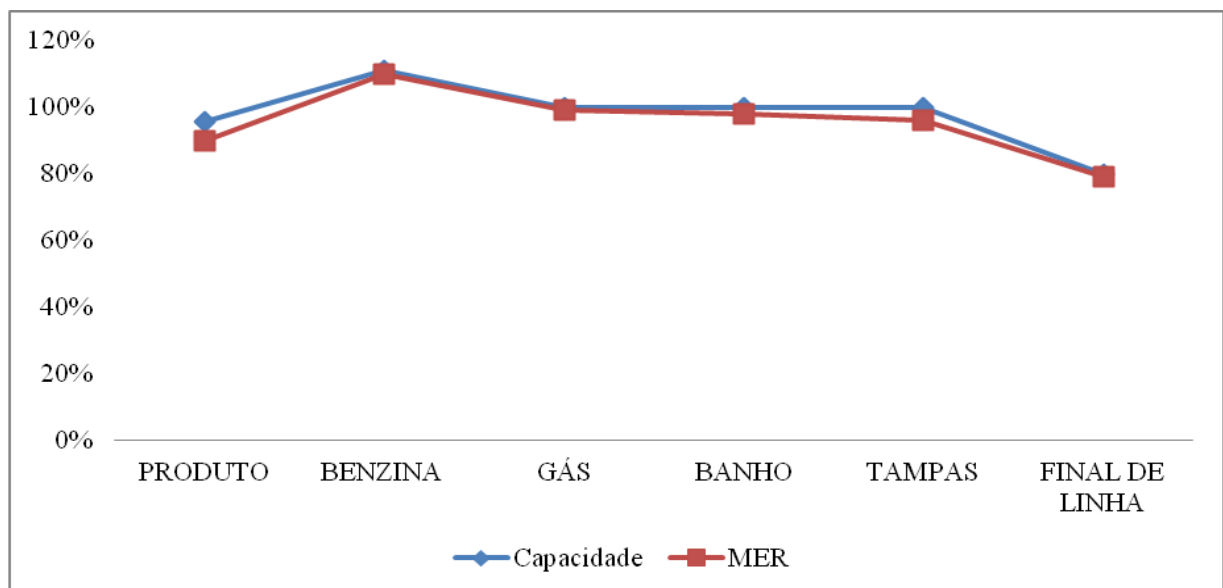


Figura 14 - V-graph do embalamento para caixas

Analisando o gráfico é perceptível que o *bottleneck* é o final de linha, ou seja, a operação de retirar as latas do corredor, colocá-las em caixas, colocar o divisor e enviar as caixas para a máquina de fita-cola, para posteriormente serem paletizadas.

Além disso, é de notar que a capacidade, tanto do final de linha como da máquina de produto, é inferior a 100. Pode concluir-se que mesmo estando a linha de produção a trabalhar sem falhas, terá sempre perdas de velocidade teóricas, sendo impossível então cumprir a programação destinada a esta linha de produção.

Para efeitos de cálculo foram comparados os dados obtidos com recurso a cronometragem, com os objetivos para esta produção (cadência em roteiro). Os dados relativos ao final de linha referem-se à quantidade de latas que são paletizadas, ou seja, ao número de latas que num determinado espaço de tempo chegam ao final de linha.

Depois da observação, cronometragem e cálculo dos dados, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados recolhidos no embalamento para caixas.

	Final de linha	Roteiro	Desvio
<i>Latas /min</i>	58	90	32
<i>Latas /hora</i>	3500	5400	1900
<i>Latas/turno</i>	28000	43200	15200
<i>Produtividade/operador/hora</i>	875	1350	475

Procedeu-se então ao cálculo das perdas de performance num turno de 8 horas para esta produção, para decifrar as razões das perdas de eficiência e a sua influência na *performance* da linha (Tabela 5).

Tabela 5 - Perda de eficiência no embalamento para caixas

Tempo planeado	08:00											
Tempo disponível	07:30											
Perda de eficiência	02:27											
Tempo de operação	05:11											
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Falta de capacidade da máquina de produto</td> <td>01:30</td> </tr> <tr> <td>Falta de capacidade dos colaboradores de final de linha</td> <td>00:48</td> </tr> <tr> <td>Perdas no abastecimento de matérias-primas</td> <td>00:16</td> </tr> <tr> <td><i>Bottleneck starved</i></td> <td>00:16</td> </tr> <tr> <td>Outras paragens</td> <td>00:26</td> </tr> </tbody> </table>	Falta de capacidade da máquina de produto	01:30	Falta de capacidade dos colaboradores de final de linha	00:48	Perdas no abastecimento de matérias-primas	00:16	<i>Bottleneck starved</i>	00:16	Outras paragens	00:26
Falta de capacidade da máquina de produto	01:30											
Falta de capacidade dos colaboradores de final de linha	00:48											
Perdas no abastecimento de matérias-primas	00:16											
<i>Bottleneck starved</i>	00:16											
Outras paragens	00:26											

Os cálculos efetuados para decompor as perdas de eficiência na linha estão apresentados no Anexo C.

A diferença de trinta minutos entre o tempo planeado e o tempo disponível diz respeito ao intervalo para almoço/jantar, a que todos os turnos têm direito. Nesses trinta minutos, a linha de produção é parada, mas as latas não são retiradas da linha, o que faz com que as perdas de eficiência nestes momentos não significativas para este estudo.

Podemos concluir que das sete horas e trinta minutos de tempo disponível para a produção, apenas cinco horas e onze minutos foram de tempo útil, o que corresponde a 67% (indicador *performance* para esta produção).

Para melhor análise dos resultados obtidos, estes são apresentados num gráfico circular, na Figura 15.

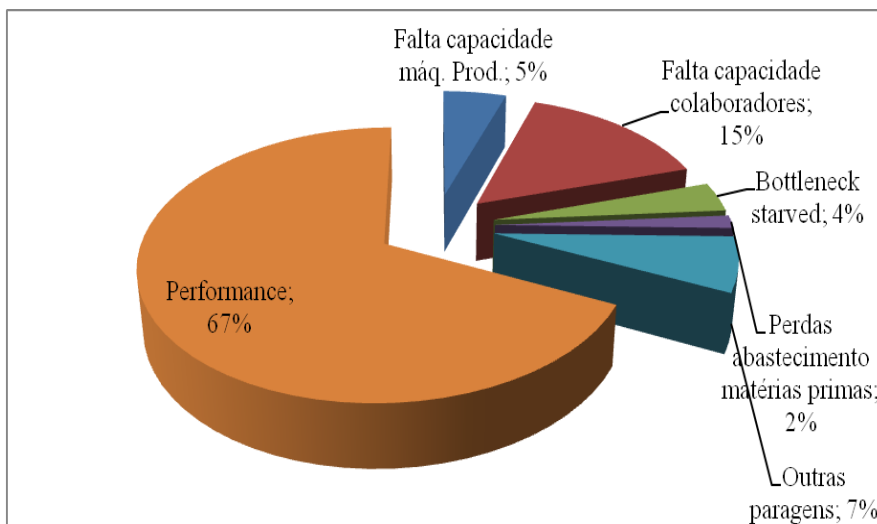


Figura 15 - Performance no embalamento para caixas

Foi possível então decompor o percentual de perdas de eficiência, que neste caso de estudo corresponde a 33%. Obtidos estes dados podemos analisar cada foco de perdas individualmente em lugar de agregados como estava a ser feito pela empresa. Iremos, então proceder à análise de cada motivo da perda, para entender qual a sua causa e para posteriormente proceder à sua eliminação.

Falta de capacidade da máquina de produto: Depois de ter sido aumentada a cadência da máquina para o seu máximo para cada família de produtos, podemos concluir que esta perda de eficiência não pode ser eliminada, apenas com substituição da máquina.

Falta de capacidade dos colaboradores de final de linha: Tendo já sido identificada esta operação como o gargalo da linha de produção, é nesta estação que tem residir primeiramente o foco da melhoria.

Verificou-se que a operação de retirar as latas do transportador, colocar as latas na caixa, colocar o divisor entre as latas e colocar as caixas na máquina de fita, sendo todas as tarefas realizadas pelo mesmo operador, era a principal causa da baixa cadência desta estação. Recorde-se que se trata de uma estação paralela, ou seja, estão dois operadores colocados frente a frente, a realizar cada um deles cada uma destas operações. Cada colaborador desta estação faz em média três caixas completas por minuto. Além disso, em relação à operação de colocar as latas nas caixas e colocar o divisor, verificou-se que não havia um *standard* sobre qual das tarefas deveria ser realizada primeiro, sendo esta uma das principais razões para a diferença de produtividade dos dois colaboradores colocados nesta estação.

Na figura está esquematizado as ações dos operadores da estação de embalamento, bem como o tempo de ciclo de cada operação. Verifica-se que com o *layout* atual a estação produz 6 caixas por minuto, o que corresponde a 72 latas.

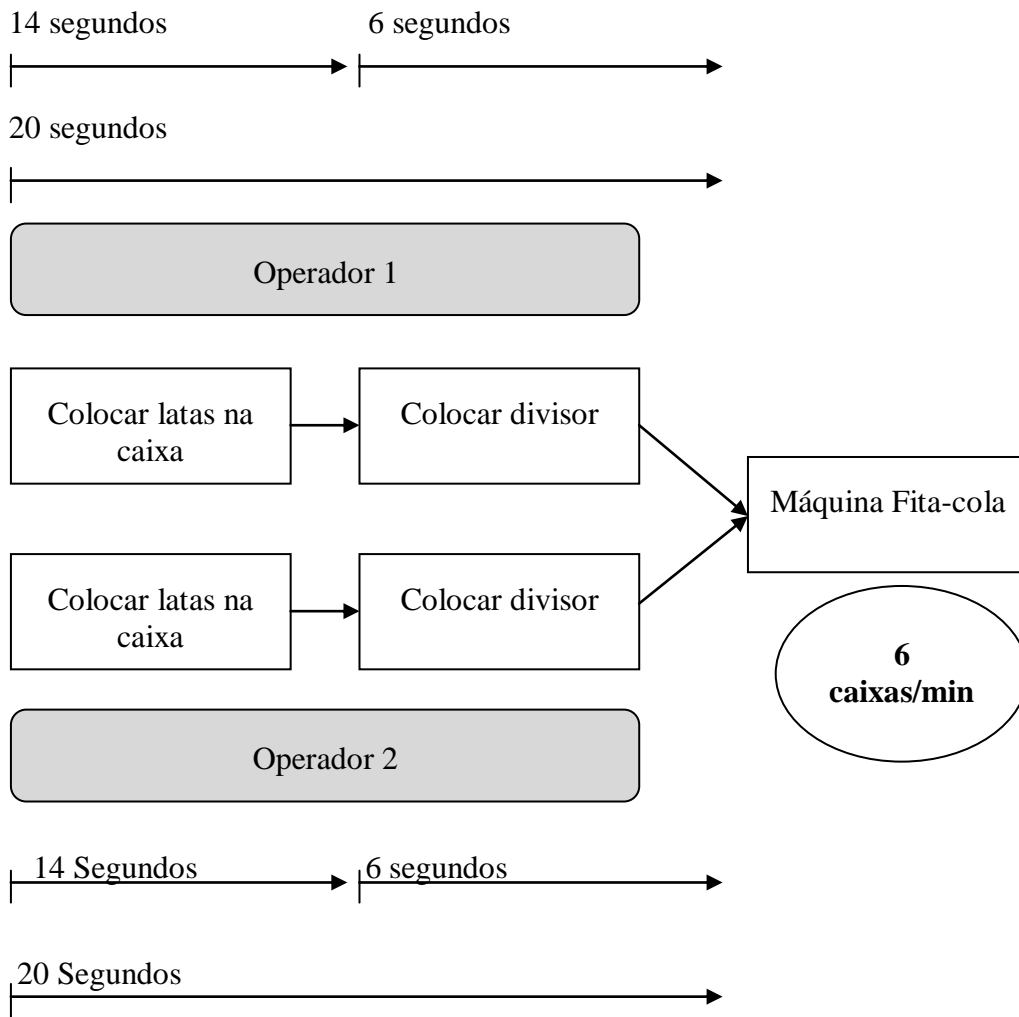


Figura 16 - Esquema do final de linha no embalamento para caixas

Bottleneck starved: Este estado no funcionamento gargalo da linha de produção é devido a paragens na estação antecessora (máquina das tampas), que estando a trabalhar com a tampa atuadora tem bastantes micro paragens, que os operadores da linha não conseguem justificar. Foram verificadas paragens da máquina por períodos inferiores a dez segundos e atolamento de tampas no escolhedor, sem razão aparente.

Depois de ter sido verificado que o plano de manutenção da máquina estava a ser cumprido, foi feito um estudo ao comportamento dos sensores presentes na máquina, uma vez que eram a única razão para a paragem sem motivo aparente do conjunto da máquina. Percebeu-se então que os sensores colocados no transportador das tampas para a máquina estavam mal posicionados, sendo atuados quando não deveriam. O transportador é composto por dois sensores, como se pode visualizar Figura 17.

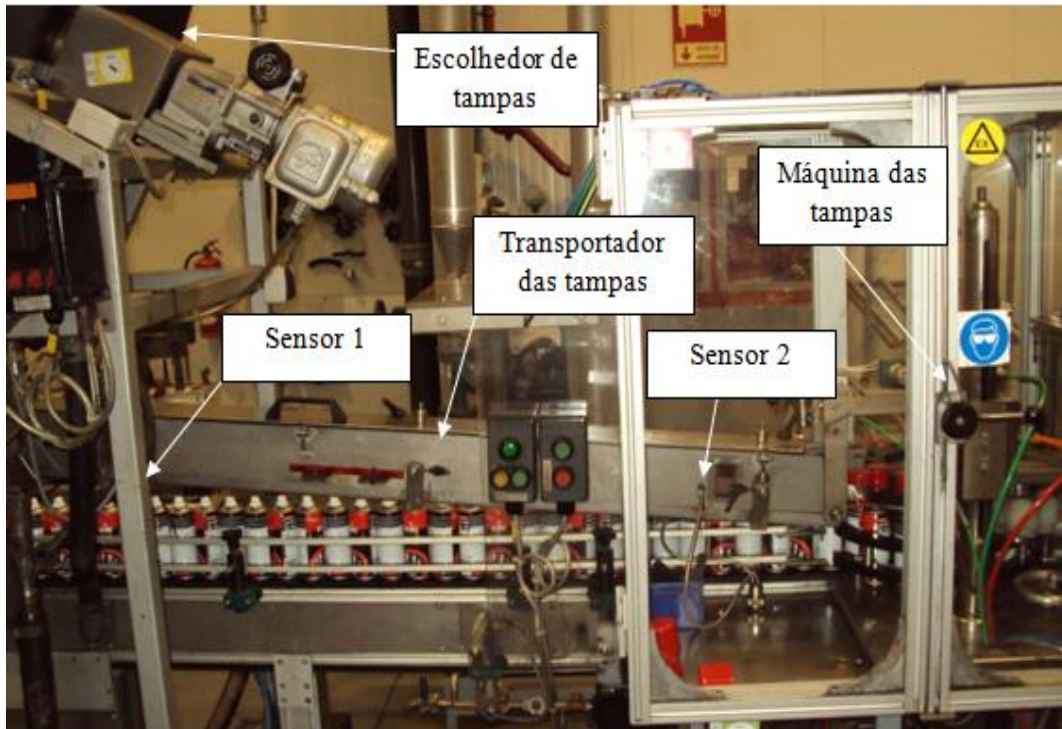


Figura 17 - Máquina das tampas

O sensor 1 tem como objetivo garantir que quando o transportador está cheio, o abastecimento de tampas é suspenso. O sensor 2 tem por objetivo garantir que há um número mínimo de tampas para abastecer a máquina. Quando este é atuado, a máquina pára até que seja atingido o número mínimo de tampas.

Na Figura 18 visualizamos uma foto com a vista de cima do transportador e o posicionamento do sensor. Na linha de perfil desenhada na Figura 18 verifica-se que esta é perpendicular ao transportador, ou seja, que as duas células estão colocadas em posições simétricas. Observando a Figura 19 verifica-se que o formato das tampas atuadoras é oval, tendo apenas um ponto de contacto (na base), quando duas tampas estão juntas.

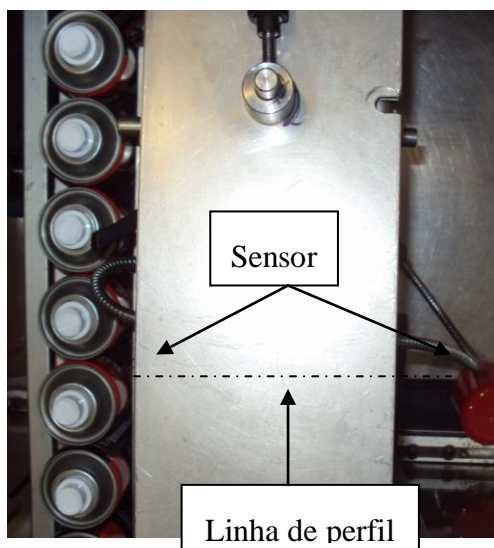


Figura 18 - Transportador das tampas



Figura 19 - Sensor do transportador

Verificou-se também que quando o transportador está cheio, as tampas ficam colocadas exatamente no ponto de deteção do sensor tal como representado na Figura 18. Isto leva-nos a concluir que este é o motivo do elevado número de paragens que se registam nesta máquina, quando está a trabalhar com este tipo de tampa. Recorde-se que quando trabalha com tampa normal não se verifica este problema, pois, sendo de formato cilíndrico, quando duas tampas estão juntas há uma linha de contacto.

Perdas no abastecimento de matérias-primas: Estas perdas são devidas ao abastecimento de matérias-primas ao final de linha: caixas e divisores. Quando esta operação acontece, o final de linha trabalha com menos uma pessoa, reduzindo a sua cadência para metade. Os cálculos para este motivo de perda encontram-se no Anexo C. O facto de tanto os divisores como as caixas virem embalados em conjuntos de 10 unidades, conduz a um elevado tempo perdido com o corte das fitas de embalagem. Além disso, a indefinição do colaborador que abastece origina perdas de velocidade, pois muitas vezes o colaborador que se desloca é o que está na posição *bottleneck* do final de linha (embalamento).

Outras paragens: Por “outras paragens” considera-se todas as perdas de eficiência que não foram individualizadas, ou seja, não se conhece exatamente a sua contribuição para a perda de performance mas conhece-se a sua existência. São elas:

- Variabilidade do trabalho humano: diferenças de produtividade entre operadores, trabalhadores temporários na posição de final de linha;
- Rótulo colado em cada caixa pelo operador;
- Erro associado aos dados recolhidos.

5.2 Melhorias implementadas

Depois de efetuada a análise e de se ter conseguido decifrar as causas que levam às perdas da eficiência, passamos à etapa de implementação de melhorias para eliminar as causas das falhas.

Iremos agora fazer uma descrição de como foram eliminadas as causas das falhas que originavam as perdas de eficiência neste tipo de embalagem.

Falta de capacidade de colaboradores de final de linha

Para solucionar este problema, estudamos a possibilidade da colocação de mais um operador no final de linha, com vista a aumentar a capacidade desta posição, tal como se exemplifica na Figura 20. Assim sendo, com a colocação de uma mesa entre a máquina de fita-cola e a mesa usada pelas pelos operadores 1 e 2, colocou-se um terceiro operador, com a função de apenas colocar os divisores. Assim sendo, os colaboradores 1 e 2 retiram as latas do transportador e colocam-nas em caixa e o operador 3 coloca o divisor e posiciona as caixas para a máquina de fita-cola.

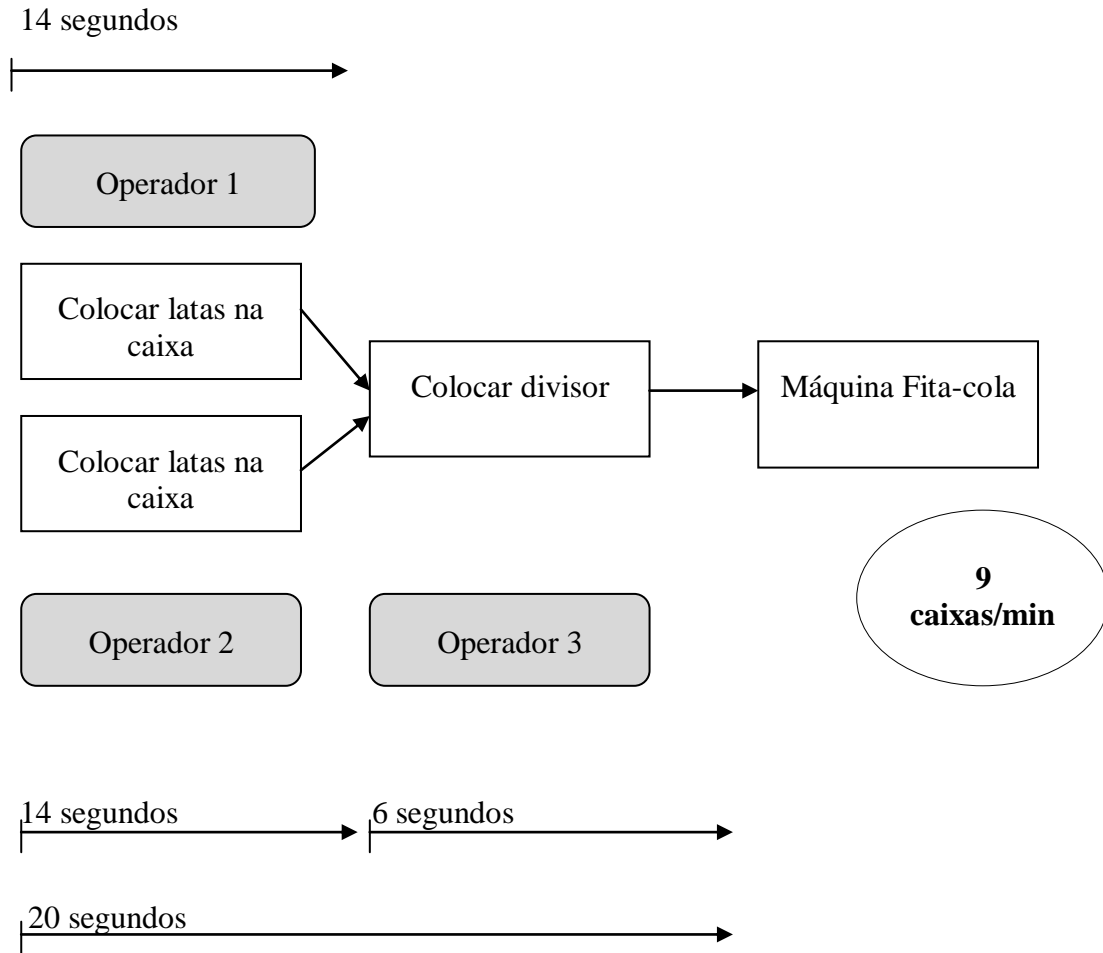


Figura 20 - Final de linha com 3 operadores

Além disso, aumentou-se o *buffer* de latas nesta estação. Assim sendo aumentou-se a distancia da colocação da mesa perpendicular ao transporte à máquina das antes, conseguindo-se assim aumentar o tempo de propagação de um erro na estação de final de linha à máquina das tampas, como se pode observar no Anexo C, as diferenças com o aumento do *buffer*, trabalhando com 4 ou 5 colaboradores (Figura 21).

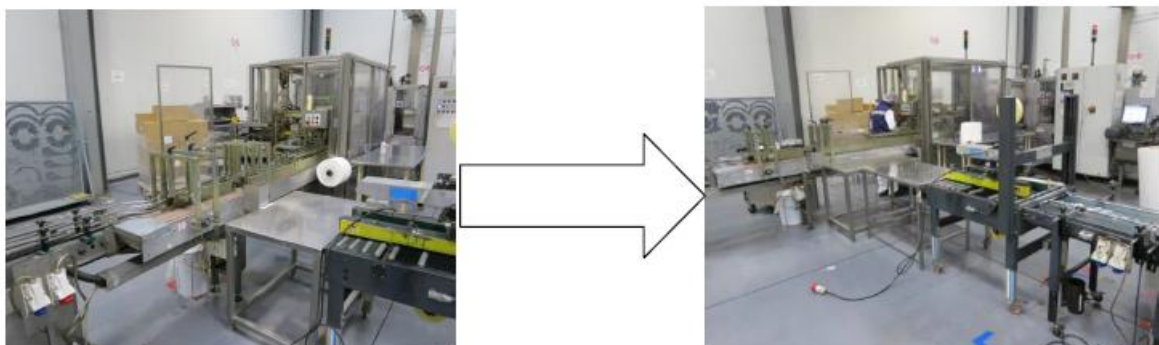


Figura 21 - Aumento do *buffer* no final de linha

Bottleneck starved

Para eliminar esta causa de perdas e depois de estudado que o problema estava nas células, procedeu-se a uma alteração no seu posicionamento. Assim sendo, colocaram-se as células em posição de leitura diagonal, como se verifica na Figura 22. Isto possibilitou um

decréscimo significativo no número de paragens, como se verifica pelos resultados da tabela 6.

Tabela 6 - Evolução dos indicadores após alteração na posição dos sensores

Tampa atuadora	MTBF (s)	MTTR (s)
<i>Antes</i>	720	40
<i>Depois</i>	3600	40

Com esta alteração reduziu-se o tempo entre paragens (MTBF), embora o tempo de reparação se manteve constante (MTTR). Isto deve-se ao facto de alteração efetuada apenas alterar o modo de funcionamento da máquina e não a forma como o operador visualiza e repara a máquina. O MTTR pode ser reduzido dando aos operadores da linha maior visibilidade do corredor das tampas e assim melhor perceção de onde se encontra a falha. Como se visualiza na Figura 22, o transportador das tampas é opaco, colocando uma das faces em acrílico transparente permitiria aos operadores perceber mais rapidamente onde está a falha e assim baixar o MTTR.



Figura 22 - Novo posicionamento dos sensores da máquina das tampas

Perdas no abastecimento de matérias primas

Tendo-se verificado que a função de abastecimento de matérias-primas às máquinas e à estação de embalagem era efetuada pelo Operador 1 ou 2 (Figura 16), procedeu-se à alteração de funções, com o objetivo de um melhor balanceamento, evitando assim que as estações ficassem bloqueadas por falta de capacidade aquando desta operação. Desta forma, esta função ficou atribuída ao colaborador de final-de-linha ou seja, o que paletiza, visto que é o operador com o maior *buffer* de tempo, o que lhe permite realizar a operação sem propagar a saída da sua estação às outras máquinas.

Adicionalmente, alterou-se o posicionamento das paletes de abastecimento às estações de embalagem e colocação de divisores, passando as paletes a estarem junto dos operadores 1, 2 e 3 (Figura 20).

Outras paragens

De modo a conseguir obter mais disponibilidade a toda a estação de embalagem e contando com os recursos existentes na fábrica, conseguiu-se implementar um sistema que permite colar, de modo automático, o rótulo na face que o cliente pretende. Assim sendo, montou-se um perno metálico como se pode visualizar na Figura 24 que permite que a caixa rode 90° e depois seja colado o rótulo.



Figura 23 - Perno metálico

Além disso, sensibilizou-se os supervisores para a situação em que, por falta de colaboradores, estivessem apenas quatro na linha de produção. Nesta situação, o movimento de embalagem mais eficiente é colocar as latas na caixa e só depois colocar o divisor. O facto de as tampas das latas terem um diâmetro inferior na face superior facilita a colocação do divisor quando as latas já estão na caixa.

5.3 Resultados obtidos

Depois de implementadas as melhorias, foi feita uma análise similar à realizada para avaliar a situação aquando do início do projeto, para com o intuito de aferir o impacto das medidas implementadas.

No V-graph da Figura 25 comparamos os resultados da situação antes e depois da implementação de melhorias no embalagem para caixas.

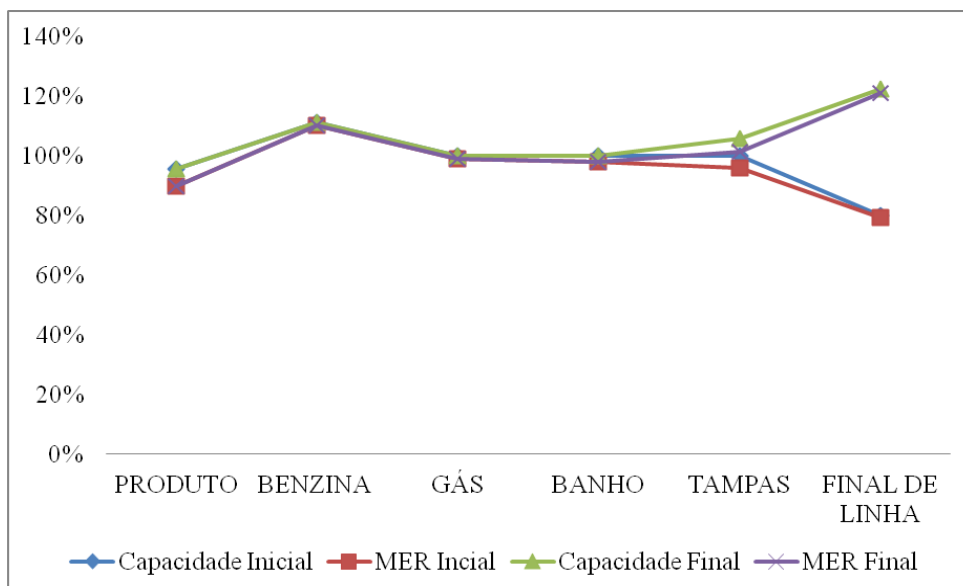


Figura 24 - V-graph para situação final

É de notar que apenas a máquina de produto está abaixo da capacidade prevista, por razões que já se conhecem. Além disso, outros dois pontos a reter são: por um lado a eliminação do bottleneck que era o embalagem, e o aumento de capacidade e disponibilidade da máquina das tampas depois das alterações a que foi sujeita.

Depois de implementadas todas as melhorias, foi feito um estudo na linha de produção, para avaliar o sucesso das medidas. Aquando da estabilização da produção, obteve-se um valor médio de 4700 latas e é para este valor que são apresentados os cálculos representados na Tabela 8.

Tabela 7 – Perdas de eficiência no embalamento para caixas após implementação de melhorias

Tempo planeado	08:00	→	}	Falta de capacidade da máquina de produto	00:28
Tempo disponível	07:30			Paragens máquina produto	00:09
Perda de eficiência	00:50			Outras paragens	00:23
Tempo de operação	06:40				

Há, de facto, possibilidades de melhoria, em especial à máquina de produto. O tempo limitado do projeto na empresa não permitiu implementar soluções que estavam pensadas para esta máquina. Mesmo assim, houve um aumento significativo de 22% na performance da linha, como se consegue confirmar analisando o gráfico circular da Figura 26.

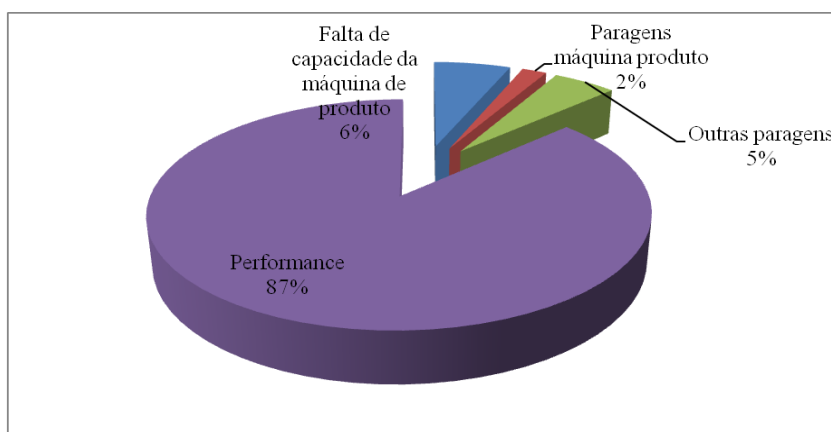


Figura 25 - Performance após implementação de melhorias

Foi também calculado o indicador que nos permite perceber a vantagem do investimento em mais um colaborador na linha de produção. Trata-se do indicador “Produtividade” que nos dá o *output* produzido por hora por operador em linha. Analisando o gráfico da Figura 26 percebemos que ao alocar mais uma pessoa neste tipo de embalamento para a linha conseguimos obter uma maior produtividade por colaborador. Donde se conclui, que a opção mais acertada por parte das chefias, será investir em mais um colaborador para este embalamento, conseguindo assim uma maior eficiência.

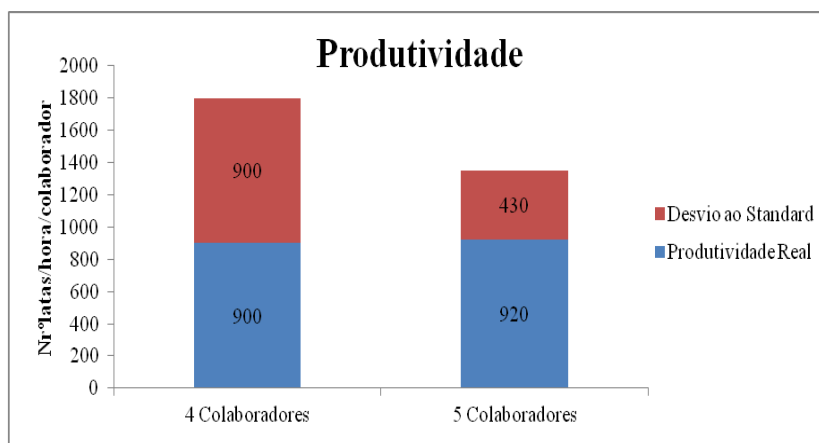


Figura 26 - Diferença da Produtividade com 4 e 5 colaboradores

6 Embalamento em tabuleiro e filme de polipropileno

Quando o cliente pretende seis latas agrupadas e envoltas em filme polipropileno (Figura 28) o *layout* da linha de produção que é utilizado é o representado na Figura 8. O caso específico em estudo, trata de uma produção em que a máquina da benzina não é utilizada para encher.

Este *layout* da linha é caracterizado por só haver necessidade de estarem três colaboradores em linha, além do supervisor:

- Maquinista: abastecer a linha com as latas em vazio e fazer controlos de qualidade;
- Pessoa responsável pelas tampas: abastecer a máquina das tampas e atuadores;
- Final de linha: colocar as latas em paletes.



Figura 27 - Embalamento em tabuleiro e filme

6.1 Análise da situação atual

Tal como fizemos para o caso de estudo apresentado no Capítulo 5, iremos fazer uma análise aos indicadores apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Indicadores das máquina no embalamento com filme

Máquina	Cadência	Roteiro	Capacidade	MTTR	MTBF	Availability	MER
<i>Produto</i>	84	90	93%	50	360	99%	92%
<i>Gás</i>	90	90	100%	110	3600	97%	97%
<i>Banho</i>	90	90	100%	60	3600	98%	98%
<i>Atuadores</i>	100	90	111%	40	1800	98%	109%
<i>Tampas</i>	100	90	111%	40	1200	97%	108%
<i>Tabuleiros</i>	96	90	107%	90	720	89%	95%
<i>Filme</i>	90	90	100%	90	720	89%	89%

Apresentamos na Figura 28 o V-graph para este tipo de embalamento:

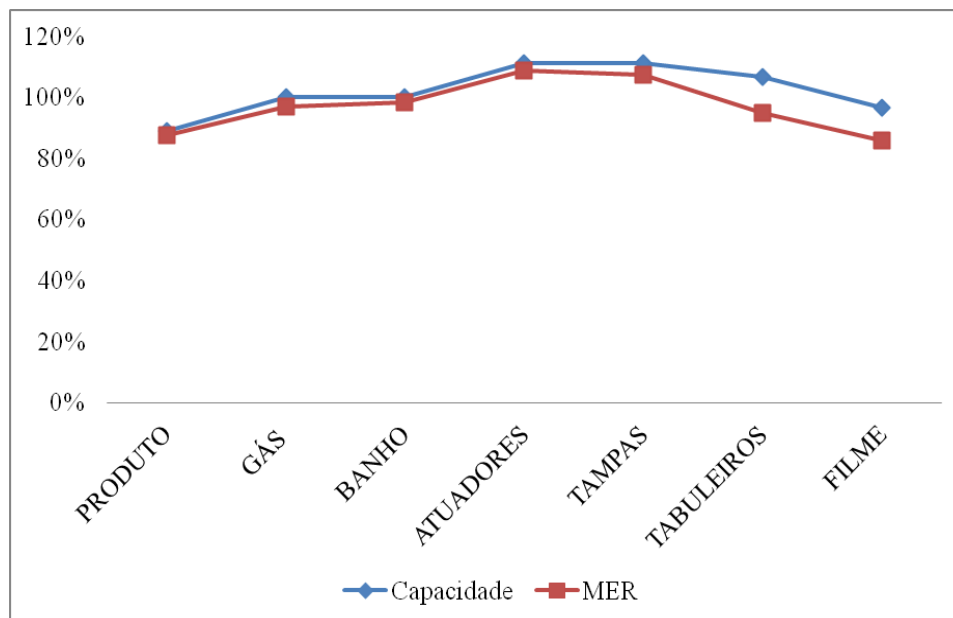


Figura 28 - V-Graph no embalamento com filme

Depois de uma análise ao V-graph, percebemos que o *bottleneck* neste tipo de embalamento é a máquina de filme.

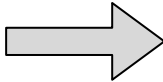
Depois de uma análise às quantidades produzidas neste tipo de embalamento para este tipo de produção, quando a linha de produção está estabilizada, retiraram-se os dados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Quantidade produzida no embalamento com filme

	Quantidade produzida	Roteiro	Desvio
<i>Latas /min</i>	70	90	20
<i>Latas /hora</i>	4000	5400	1200
<i>Latas/turno</i>	31500	40500	9000
<i>Nrº latas/operador/hora</i>	1467	1800	333

É de notar que estes cálculos são feitos para uma produção em contínuo, ou seja, quando o turno anterior esteve a trabalhar e não há mudanças na linha, uma vez que não se tem em conta o *lead time* do produto. A partir dos valores dos desvios entre a quantidade produzida e os valores dos roteiros, conseguimos, recorrendo aos indicadores da capacidade e MER alguns motivos das perdas de eficiência, embora há uma grande percentagem que continua invisível (outras paragens).

Tabela 10 – Perdas de eficiência no embalamento com filme

Tempo planeado	08:00		}	Falta de capacidade da máquina de produto	00:30
Tempo disponível	07:30			Paragens máquina produto	00:04
Perda de eficiência	01:40			Paragens na máquina de filme	00:16
Tempo de operação	05:50			Outras paragens	00:50
Performance	83%				

O facto de com este *layout* a linha ser automática, ou seja, todo o processo produtivo é feito por máquinas tendo o humano apenas função de abastecimento de máquinas e de retirar o material no final de linha, lidamos com um problema de balanceamento de linha, pois como verificamos pela Tabela 10, a percentagem de outras paragens é elevada.

Estas são paragens que não são explicadas pela abordagem utilizada na secção 5 e, por isso, iremos desenvolver um modelo conceptual da linha de produção A6. Para o efeito, recorreremos ao *software* da Siemens Tecnomatix Plant Simulation (Figura 29), pois foi a alternativa existente no mercado que nos pareceu mais adequada para abordar o problema em questão. O facto de neste *layout* apenas lidarmos com máquinas, faz com que as alterações necessitem de investimentos avultados e, por isso, é preferível analisar, avaliar e testar as soluções com recurso a um software de simulação, antes de fazer alterações na linha de produção.

Simulação

Apenas estão disponíveis informações dos estados das máquinas relativas a paragens por causas internas. Para melhor conhecimento dos estados das máquinas durante o turno recorreremos à simulação, pois assim percebemos como está atualmente o balanceamento da linha de produção. O fluxograma do modelo conceptual é apresentado no Anexo D.

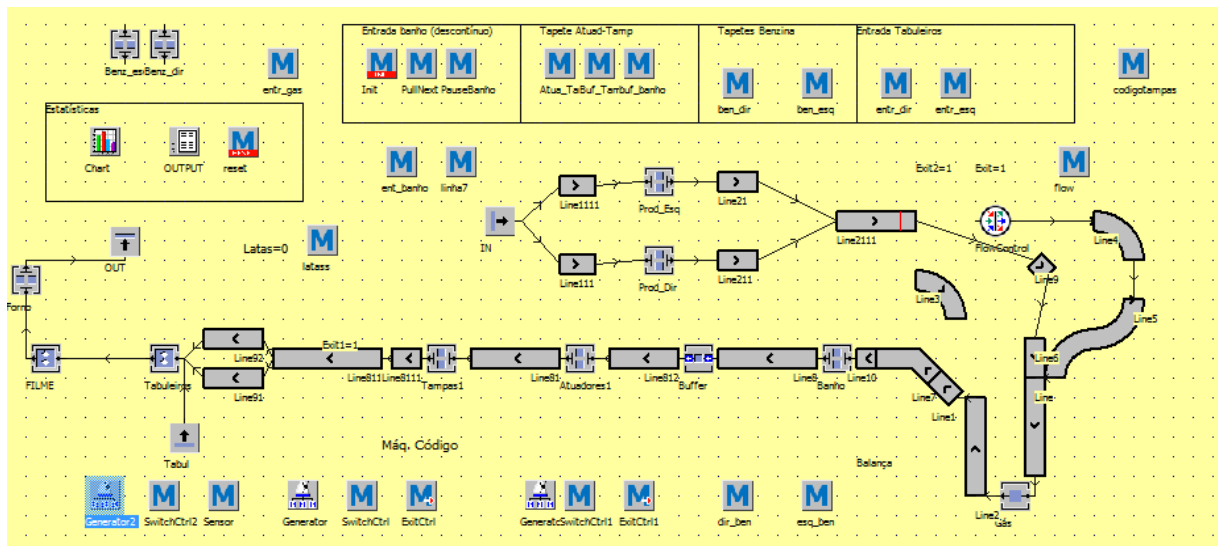


Figura 29 - Layout da linha de produção no *software* “Plant Simulation”

Verificação e validação

As etapas de verificação e validação do modelo de simulação foram realizadas simultaneamente à medida que o modelo era traduzido para o *software*. Depois de todo o modelo estar traduzido, seguiu-se um processo de *debugging*.

O processo de *debugging* consiste em correr a simulação evento por evento para verificar a existência de erros nos códigos com comportamento não expectável dos artigos, à medida que fluem pelo modelo de simulação. Quando é encontrado um erro, o código é analisado passo por passo para descobrir inconsistências e depois esse erro é fixado de acordo com as especificações. O processo é repetido até que todo o modelo de simulação esteja em conformidade com o processo planeado.

A partir do momento em que o modelo de simulação corresponde ao *layout* da linha de produção A6, podemos proceder à análise dos resultados e avaliação de melhorias.

Análise de resultados

Nesta fase, o modelo conceptual foi desenvolvido de acordo com os dados presentes na Tabela 11, pois pretendemos simular o estado atual da linha de produção neste tipo de embalagem.

Para melhor compreensão do modelo, fizemos um estudo para um turno de sete horas e meia de produção.

Tabela 11 - Quantidade produzida por hora

HORA	QTD. PRODUZIDA
0-1	2976
1-2	4020
2-3	4032
3-4	4308
4-5	3936
5-6	4272
6-7	4308
7-7,5	2100
TOTAL	29952

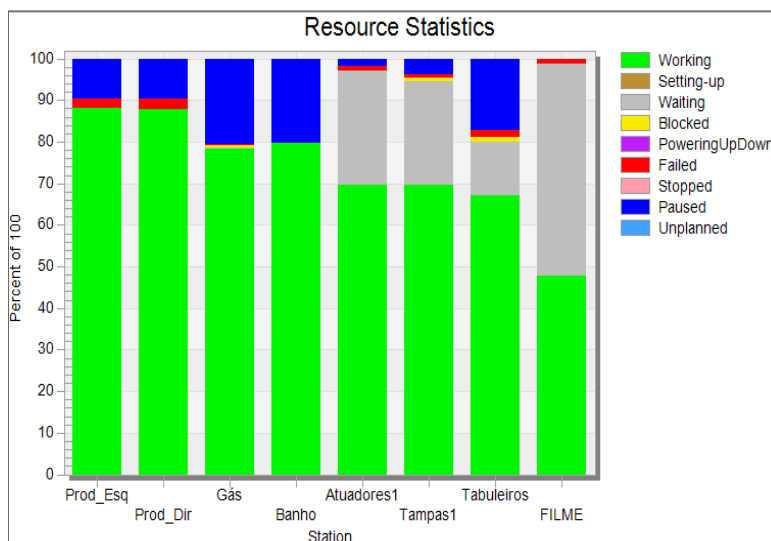


Figura 30 - Estado das máquinas

Após análise da Figura 30 com o percentual das máquinas em cada estado, percebemos que a percentagem de utilização destas diminui ao longo da linha e sendo que o bottleneck é o final de linha este é muito afetado pela falta de material que chega à máquina (*starvation*), vendo-se no gráfico o grande percentual em que a máquina está em espera. Além disso, seria de esperar que as duas máquinas de produto, a máquina de gás e o banho, apenas apresentassem o estado de *working* e *failed* e não um percentual tão elevado da máquina no estado *paused*. A única explicação para este facto está nos sensores anti-starvation colocados nos transportadores, ou seja, as máquinas estão a parar por falta de latas à entrada, tratando-se então de um problema de balanceamento da linha de produção. Recorrendo ao *software* de simulação foram ensaiadas três cenários com vista à melhoria da eficiência da linha que serão descritos em seguida.

6.2 Ensaios

Aumento de buffer anti-blockation máquina de produto

Sendo a máquina de produto a máquina com menos capacidade e a primeira máquina da linha de produção, a sua eficiência não pode ser influenciada negativamente pelas máquinas a jusante. Depois da análise da Figura 30, concluímos que o percentual do estado *paused* da máquina de produto é justificado porque quando há uma paragem na máquina de gás esta é rapidamente propagada à máquina de produto, pois só é aberto um tapete na máquina da benzina (Figura 31).



Figura 31 - Transportadores à saída da *Benzine House*

Com o objetivo de perceber se era essa a real razão para este fenómeno simulou-se para um turno de sete horas e meia a trabalhar com dois tapetes abertos. Obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados do ensaio 1

	1 tapete	2 tapetes
<i>Quantidade Produzida (nrº latas)</i>	32052	32868
<i>Desvio ao Standard (nrº latas)</i>	11148	10332
<i>Perda de eficiência (minutos)</i>	125	115
<i>Performance</i>	74%	76,1 %

Podemos então concluir que trabalhando com os dois tapetes, obtemos mais output da linha de produção, ou seja, mais latas aerosol são produzidas. Há um aumento de 2% no indicador Performance que corresponde a um ganho de 17 minutos por turno no tempo de operação.

Balaceamento máquina das tampas – máquina dos atuadores

Com o objetivo de abastecer da melhor forma a máquina de filme, começou-se por perceber se a máquina das tampas e a máquinas dos atuadores estavam bem balanceadas entre si. Ao analisar a Figura 29, percebemos que não, pois há um grande percentual das máquinas das tampas e atuadores no estado *waiting*.

Recorrendo à ferramenta *Experiment Manager* do software Plant Simulation, foram realizadas trinta e seis simulações com três observações para cada uma para as condições apresentadas na Tabela 13. De notar que a simulação foi feita com uso dos dois tapetes da máquina da benzina, pois já foi concluído que há vantagem no seu uso.

Tabela 13 – Ensaio 2

	Latas/min	Latas/min
<i>Nível Inferior</i>	85	85
<i>Nível Superior</i>	110	110
<i>Incremento</i>	5	5

O valor mais alto de quantidade produzida, e que obviamente conduz a uma melhor performance e conseqüente menor perda de eficiência, foi o apresentado na Tabela 15.

Tabela 14 - Resultados do ensaio 2

Ensaio	Latas/min		Qtd. Produzida	Perda velocidade (min)	Performance
	Atuadores	Tampas			
10	90	100	31008	105	77%

Velocidade dos tapetes

Uma vez que o percentual de “outras paragens” continua elevado e recorrendo novamente à funcionalidade Experiment Manager, fizemos vários ensaios para perceber qual a velocidade ideal dos tapetes para evitar paragens nas máquinas por starvation e blockation, tendo em conta o funcionamento dos sensores.

Foram realizados a cento e oito ensaios, com três observações para cada um. As condições ensaiadas estão identificadas na Tabela 15. Para cada transportador (identificado pelas máquinas entre ele), não se podendo alterar o comprimento, foram testados vários tempos de transporte das latas, não comprometendo a qualidade dos produtos e o normal funcionamento da linha, visto que o transportador a velocidades elevadas pode originar a queda das latas.

Tabela 15 - Ensaio 3

Transportador	Comprimento (m)	Tempo atual (s)	Nível inferior(s)	Nível superior (s)	Incremento(s)
<i>Banho-buffer</i>	5	14.2	14	10	2
<i>Buffer-atuadores</i>	3,5	4	4	3	1
<i>Atuadores-Tampas</i>	5	8	8	6	0.75
<i>Tampas-Código</i>	1,5	6.6	5	8	1.5
<i>Codigo-divisor</i>	5,5	20	20	16	2
<i>Divisor-Tab(dir)</i>	3	12.84	13	10	1
<i>Divisor-Tab(esq)</i>	3	12.84	13	10	1.5

Não se experimentou alterar a velocidade dos transportadores até à máquina de gás, pois em muitas produções as latas que levam pouco produto têm pouco peso e com o aumento da velocidade dos tapetes podem cair.

A melhor performance foi obtida para os tempos de transporte das latas de uma máquina para a outra apresentados na Tabela 16 Na secção 6.3 far-se-á a análise aos resultados obtidos.

Tabela 16 - Resultados do ensaio 3

Transportador	Tempo de transporte (s)	Quantidade produzida (nrº de latas)	Performance
Banho-buffer	12	32200	80%
Buffer-atuadores	3		
Atuadores-Tampas	7,5		
Tampas-Código	6,5		
Codigo-divisor	16		
Divisor-Tab(dir)	11,5		
Divisor-Tab(esq)	11,5		

6.3 Resultados obtidos

Com recurso ao *software* de simulação, a performance aumenta em 6%. Na tabela 17 deciframos as componentes do indicador performance antes e depois dos ensaios realizados. É de notar que este balanceamento corresponde a um recorrendo apenas a questões de alanceamento de linha que facilmente são postas em prática, pois não necessitam de investimento. Conseguimos aumentar em cerca de vinte e oito minutos o tempo de operação por turno. Na Figura 32 estão decifradas as perdas de eficiência ainda existentes.

Tabela 17 - Resultados globais da simulação

	Antes	Depois	Diferença
Tempo de operação	05:33	06:01	00:28
Performance	74%	80%	6%

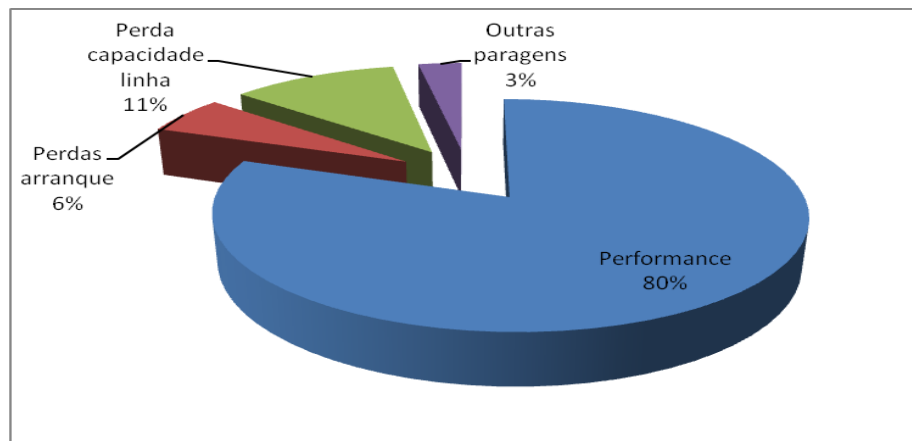


Figura 32 - Performance após melhorias

7 Acompanhamento e implementação de melhorias na linha de produção

Ao longo do período de desenvolvimento do projeto na COLEP foram implementadas diversas melhorias no funcionamento e nos métodos de trabalho da linha de produção A6, com vista a aumentar a eficiência da linha e a eliminar os focos de perda.

Neste capítulo serão apresentadas todas essas melhorias, bem como o resultado com vista à melhoria do desempenho da linha. É de notar que algumas destas melhorias não têm impacto a curto prazo, estando refletido o seu efeito nos resultados globais do projeto apresentados no Capítulo 8.

Aumentar disponibilidade da linha - Eliminação da variabilidade

Com o objetivo de diminuir a variabilidade da influência humana na *performance* da linha, ou seja, eliminar as variações nas afinações feitas pelos diferentes supervisores, foram implementadas as seguintes melhorias:

- Colocação de uma folha junto à máquina de produto (máquina com menor cadência) com informação da cadência ideal da máquina e com a cadência a que realmente está, bem como uma coluna para descrição de razões para não atingirem o objetivo. Na Figura 33 visualiza-se um exemplo dessa folha, com registos do supervisor. A folha tem periodicidade semanal.



Figura 33- Folha de informação e registo de cadências

- Implementação de válvulas reguladoras de caudal na máquina de produto com escala numérica (Figura 34), evitando assim a variabilidade das afinações feitas pelos supervisores e a criação de um *standard* para cada produção.

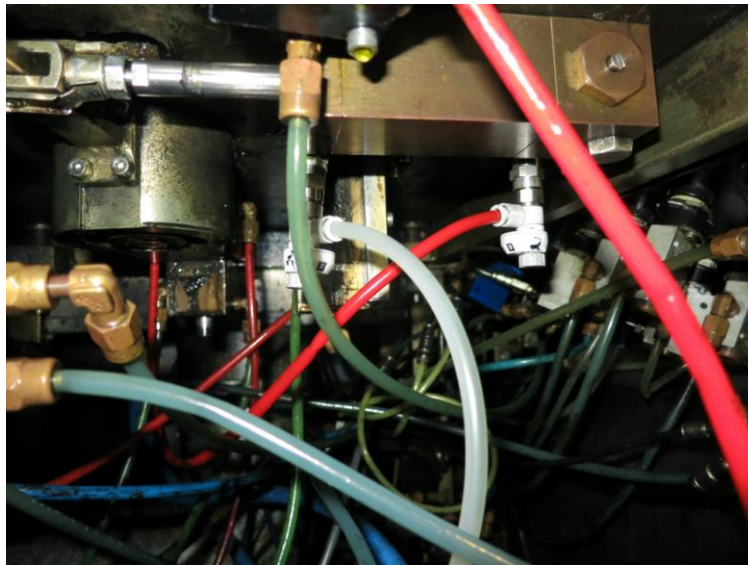


Figura 34 - Válvulas reguladoras de caudal na máquina de produto

- Revisões às bombas de produto, tentando rotatividade na utilização destas, sempre que possível. Cada máquina de produto tem 3 bombas de produto e sendo que, nem todas as produções necessitam das três bombas, os supervisores não têm qualquer critério nas bombas a usar, acabando por sobrecarregar algumas. Através da sensibilização dos supervisores e do gabinete de manutenção da empresa, estabeleceu-se sempre que possível a revisão às bombas de produto.

Redução de sucatas desnecessárias

- Aumento dos valores mínimos de pressão nos tanques de gás. Os valores mínimos de pressão para os tanques de gás estavam demasiado baixos o que provocava sucata desnecessária quando ocorria um pico de pressão nos tanques. Saindo os aerossóis da *gas house* com níveis baixos de gás são rejeitados, pois têm peso inferior ao estabelecido. Ao aumentar estes valores de referência, a máquina pára automaticamente quando se atinge o valor de pressão pretendido, evitando-se assim a criação de sucata.

Balanceamento da linha

- Vizualização de cadências na consola da linha (Figura 35). Em conjunto com uma empresa fornecedora de serviços da COLEP, foi criado um programa para a consola de controlo da linha de produção, que permite aos colaboradores da linha o conhecimento do estado de balanceamento da linha.



Figura 35 - Visualização de cadências na consola da linha A6.

Alteração dos procedimentos para preenchimento dos mapas de produção

- Sensibilização dos colaboradores para melhor preenchimento dos mapas de acompanhamento de produção e paragens. Através de conversas informais com os supervisores e operadores da linha de produção A6, explicou-se a importância do correto preenchimento dos mapas de acompanhamento de produção e paragens, com vista a uma melhoria contínua do seu local de trabalho.

8 Resultados globais

Para analisar a evolução dos resultados do projeto desenvolvido na empresa, foi feita uma análise à evolução dos indicadores que foram apresentados no início do projeto, aquando da definição do problema, e os do estado atual.

Na análise dos resultados não retiramos dos resultados o percentual de falta de capacidade da linha, como seria expectável, visto que até ao final do projeto na empresa não foram alterados esses valores, conseguindo-se assim uma melhor análise dos atuais resultados globais.

A recolha de dados utilizados para a construção do gráfico da Figura 36, foi feita recorrendo ao sistema de armazenamento de dados da empresa.

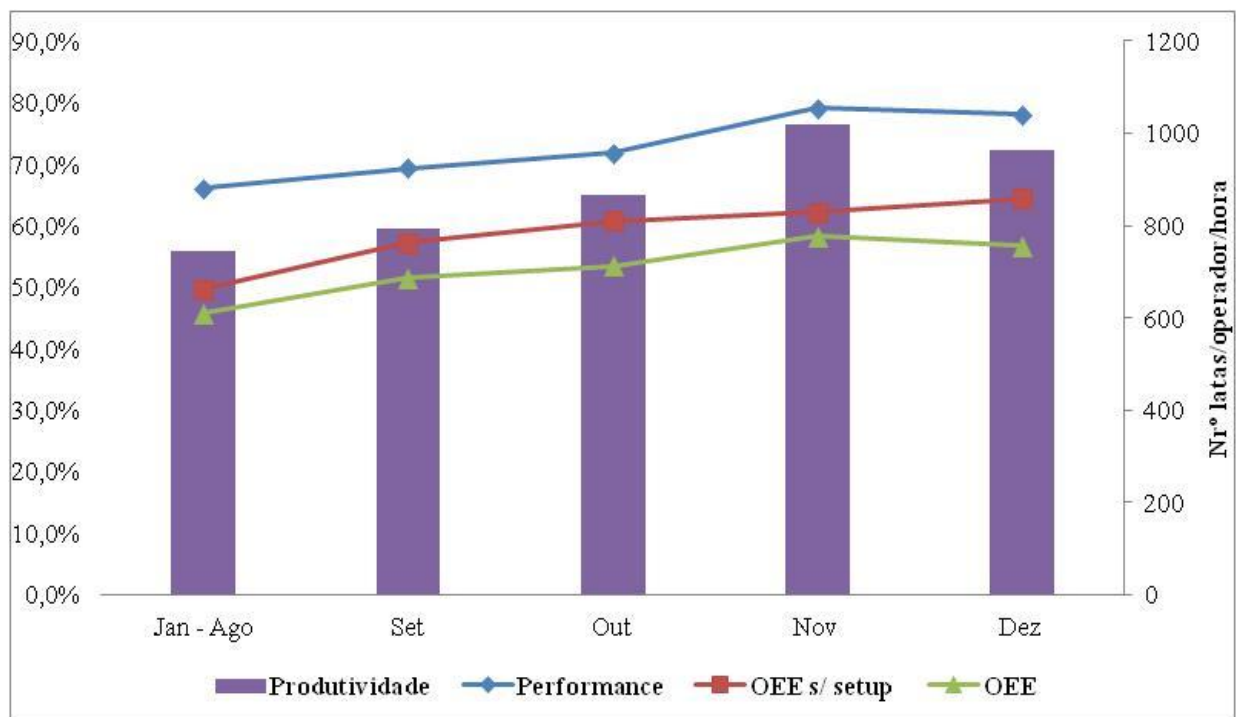


Figura 36 - Resultados globais do projeto

Tabela 18 - Evolução dos indicadores durante o projeto

Indicadores	Jan - Ago	Set	Out	Nov	Dez
<i>Performance</i>	66,1%	69,3%	71,8%	79,1%	78,0%
<i>OEE S/ SETUP</i>	49,6%	57,2%	60,7%	62,1%	64,4%
<i>OEE</i>	45,7%	51,5%	53,4%	58,2%	56,7%
<i>Produtividade</i>	746	792	865	1020	963

Performance – Este indicador é o rácio entre o tempo de operação e o tempo disponível. Todas as melhorias foram implementadas com o intuito de melhorar este indicador. Como se verifica pelos dados recolhidos, houve um aumento superior a dez pontos percentuais, o que indica que o tempo de operação é agora 10% superior ao que era no início do projeto.

OEE s/setup – Este indicador é o OEE retirando o tempo relativo a mudanças. Este indicador teve uma evolução crescente, influenciado pelo aumento da *performance*.

OEE – Este indicador teve uma evolução crescente, influenciado pelo aumento da *performance*.

Produtividade – Este indicador é o rácio entre o número de latas produzidas por operador sobre o número de horas de trabalho. É um indicador de extrema importância, visto que a empresa aumenta a produção, mantendo os custos de mão-de-obra.

Podemos então afirmar que o projeto desenvolvido na COLEP teve sucesso, pois todos os indicadores que medem o desempenho da linha de produção A6 demonstram tendência positiva. Para concluir, é importante reafirmar que parte das ineficiências que se verificam nos resultados apresentados na Figura 35, são devidas à discrepância existente entre a elaboração de roteiros pelo departamento de Engenharia da empresa que define a velocidade da linha de produção, e o que a linha realmente capaz de produzir.

9 Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros

Para finalizar esta dissertação, apresentamos uma conclusão geral, recomendações e propomos ainda ideias e introspeções para investigação futura.

A missão desta dissertação era identificar e reduzir as perdas de eficiência da linha de produção A6. Contudo, a questão era como fazê-lo. Para isso, começamos pela descrição do processo produtivo para estarmos seguros que estávamos a considerar todas as partes desse processo. Depois de descrevermos os processos, desenvolvemos os métodos para obter os dados que faltavam para a análise do processo. Deparamo-nos com diferenças no processo produtivo da linha de produção, dependendo do embalamento pretendido pelo cliente, e por isso fizemos a análise para os dois casos: embalamento manual para caixas e embalamento com filme e tabuleiros. As abordagens para detetar e eliminar os focos que provocavam as perdas de eficiência foram diferentes nos dois casos. No primeiro caso, recorrendo exclusivamente à análise dos dados, foi possível aumentar a performance em 20%, enquanto no segundo caso desenvolvemos um modelo conceptual que permitiu aumentar a performance em 6% pontos percentuais. Além disso, foram implementadas diversas melhorias no funcionamento da linha de produção. Com isto, os resultados globais do indicador da Performance foi aumentado em 12% durante o período de desenvolvimento do projeto na empresa. Podemos assim afirmar que o projeto cumpriu o objetivo a que nos propusemos inicialmente.

Para a continuidade do sucesso do projeto no futuro, deixamos algumas recomendações:

- *Visualização das ineficiências pelos operadores*; preenchimento do quadro de linha diariamente e explicação dos indicadores pelo líder de célula aos operadores.
- *Colocação de folha com cadências na máquina de produto*;
- *Utilização do modelo conceptual criado, para futuras experiências.*

Para além disso, há melhorias em linha que não foram realizadas pelo tempo limitado que o projeto teve. São elas:

- *Recolha online de dados das falhas nas máquinas.* Continuando a utilizar este esquema há sempre percentuais que vão permanecer invisíveis e sem explicação.
- *Estudo à eficiência do transporte/abastecimento de materiais à linha*;
- *Estudo à eficiência dos setups aquando de mudanças de ordem*;
- *Standardizar as duas válvulas de regulação fina existentes na máquina de produto*
- *Alteração da consola da máquina de filme.* A consola da máquina é de difícil manuseamento e apenas o supervisor da linha opera com ela, o que faz com o que os operadores da linha estejam dependentes.

Referências

- Banks, J. (1998), "Handbook of Simulation", Prentice-Hall, New Jersey.
- De Ron, A., and Rooda, J., (2006), "OEE and Equipment Effectiveness: OEE Revisited", *Semiconductor Manufacturing*, IEEE Transactions, pp. 190-196.
- Fitzgerald, L., Johnston, R., Brignall, T. J., Silvestro, R. and Voss, C. (1991). "Performance Measurement in Service Businesses", C.I.M.A.
- Freivalds, N. and Niebel, B. (2009) "Niebel's Methods, Standards and Work Design", McGraw-Hill Higher Education
- Goldratt, E. (1997) "A Meta – Um Processo de Aprimoramento Contínuo", Educator, São Paulo.
- Härte, F. L. (1997) "Efficiency Analysis of Packaging Lines", Delft University Press.
- Liker, J. K. (2004), "The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer", McGraw-Hill, New York.
- Nakajima, S. (1991) "Continuous Improvement in Operations", Cambridge, MA: Productivity Press.
- Neely, A. D. (2002), "Business Performance Measurement: Theory and Practice". Cambridge University Press.
- Neely A., Gregory M., Platts K. (1995), "Performance Measurement System Design – A Literature Review and Research Agenda", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 15, No4, pp. 80-116.
- Ridgway, V. F. (1956), "Administrative Science Quarterly", Vol.1, No.2, Sage Publications, Inc., pp. 240-247.
- Shannon, R. (1975) "Systems Simulation: The art and Science", Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall.
- Wein, L. M., and Chevalier, P. B. (1992) "A Broader View of the Job Shop Scheduling Problem", *Management Science*, pp. 1018-1025.

ANEXO A: Mapa de acompanhamento de produção



MAPA DE ACOMPANHAMENTO DE PRODUÇÃO / DETALHE DE ORDEM								Linha	A6
								Data	22/9/2015
TURNO	HORA INÍCIO	HORA FIM	TOTAL PRODUZIDO	SUCATA FORNECEDOR		SUCATA LINHA		SUPERVISOR	
				Vazio	Cheio	Vazio	Cheio		
1	6:00	12:00	21.756	10	-	8	25	V. Jardim	
2	14:00	22:00	21.246					F. Reine	
3	22:00	06:00	24.108	25			60		

NºORDEM	QTD. ORDEM	CÓDIGO PRODUTO	DESCRIÇÃO DE PRODUTO	Nº OP.	H.INÍCIO	H.FIM	QTD. PRODUZIDA	Estado (Aberto, Fecho Prod. ou Fechado)
30000 77080	25000	31-50581	CONFIDENCIAL	4	6:00	8:30	5272	Fechado
30000 77086	25000	31-50600		4	8:30	14:00	21.756	Aberto
30000 77086	25000	31-50600		4	24:00	18:00	9192	Fechado
30000 77087	25000	31-50602		4	16:10	22:00	12054	Aberto
30000 77087	25000	31-50602		4	22:00	01:50	12642	Fechado
30000 77104	25000	31-50601		4	08:00	06:00	11466	Aberto
30000		31-						

HORAS		MATERIAL DE SAÍDA		QTD. PRODUZIDA	ACUMULADO	BANHO	MATERIAL DE SAÍDA		QTD. PRODUZIDA	ACUMULADO	BANHO
DAS	ÀS	PALETES	QTD.				PALETES	QTD.			
06:00	07:00	2	2352	3234	3234	052					
07:00	08:00	2	2352	1470	4704						
08:00	09:00	1	588	588	5292		2	2352	2352	6352	073
09:00	10:00						2	2352	3234	5586	073
10:00	11:00						3	3528	3234	9820	
11:00	12:00						3	3528	3234	12054	073
12:00	13:00						2	2352	2058	14112	073
13:00	14:00						2	2352	2352	16464	
14:00	15:00						2	2352	2352	18816	073
15:00	16:00						-	-	882	19698	073
16:00	17:00						2	2352	2352	22050	073
17:00	18:00						4	4488	3606	25656	073
18:00	19:00	2	2352	3234	3234	73					
19:00	20:00	3	3528	3234	6762	73					
20:00	21:00	2	2352	2058	8820	73					
21:00	22:00	3	3528	3234	12054	73					
22:00	23:00	3	3528	3234	15288						
23:00	00:00	3	3528	3528	18816						
00:00	01:00	3	3528	3822	22638						
01:00	02:00	2	2352	2058	24696						
02:00	03:00						3	3528	3528	3528	52
03:00	04:00						3	3528	3822	7350	
04:00	05:00						1	1176	1764	9114	
05:00	06:00						2	2352	2352	11466	

Anexo C: Cálculo da eficiência para embalagem para caixas

BOTTLENECK STARVED		
nr de paragens/turno	t. Paragem(s)	tempo paragem (min)
37,5	937,5	15,625
ABASTECIMENTO MAT		
tempo de paragem (s)	nr paragens/turno	tempo paragem (min)
60	22,5	6,75

Aumento do buffer	Nrº latas	TEMPO PROPAGAÇÃO ERRO MÁQUINA TAMPAS	
		4 PESSOAS	5PESSOAS
<i>Antes</i>	60	50	33
<i>Depois</i>	120	100	60

Anexo D: Fluxograma do Modelo Conceptual

