

**A integração de fornecedores em sistemas de produção *pull*:
aplicação a uma empresa metalomecânica**

Oxisol - Construção Soldada, Lda.

Nuno Paulo Caseiro Trindade

Relatório do Projecto Final do MIEM

Orientador na Oxisol: Eng.º Tiago Brito e Faro

Orientador na FEUP: Prof. José Fernando Oliveira



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Julho 2009

Resumo

Nos sistemas de produção *pull*, mesmo um bom planeamento da produção pode não ser suficiente para conseguir reagir ao mercado e às suas flutuações. O cenário parece piorar quando se estabelece uma estratégia onde se persegue um objectivo que permita responder instantaneamente às solicitações dos clientes. Para muitos tipos de negócio pode soar a uma estratégia completamente impossível, principalmente para aqueles com produção descontínua e/ou onde os processos e os próprios produtos possuem uma inércia elevada. Nestes casos, só com alguma imaginação se conseguirá aperceber do conceito de fluxo de produção. Solucionar este problema passa muitas vezes por começar a produzir para stock com base em previsões de vendas, só que esta “solução” acaba por se transformar num problema ainda maior, uma vez que a probabilidade dos produtos que chegam a stock não serem os pretendidos pelos clientes é muito elevada. Por muito certos que os métodos de previsão sejam, este risco pode representar bastante desperdício e dinheiro empatado que pode ser fatal para as empresas. Outro problema para as empresas é o combate diário contra os atrasos da produção e o “em curso” elevado que se gera constantemente. Segundo o famoso físico responsável pela teoria das restrições, Eliyahu M. Goldratt, estes problemas de acumulação de “em curso” e de atrasos sucessivos estão relacionados porque, em sistemas reais, raramente existe mais do que uma restrição, o que nos sistemas de produção poderá ser uma fase do processo ou um conjunto de máquinas que estrangula o fluxo da produção, muitas vezes por um mau aproveitamento e até mesmo uma má gestão desse recurso. Portanto, será neste recurso que residem as verdadeiras oportunidades de melhoria e aumento de produtividade. Uma gestão suportada em modelos de optimização, uma constante monitorização e recolha de informação para identificar factores críticos de perda de eficiência e a utilização de metodologias que ajudem a repensar os processos de forma a sermos cada vez mais rápidos na eliminação do desperdício, são excelentes práticas com resultados surpreendentes, muito importantes para o ganho de vantagens competitivas das empresas, cruciais perante o presente contexto económico.

Palavras-Chave: Supermercado de Produção, Programação Linear, OEE, SMED.

The integration of suppliers in pull production systems: application to a metalwork company

Abstract

In pull production systems, even a good production planning may not be sufficient to react to the market and its fluctuations. The scenario seems to worsen when establishing a strategy which pursues a goal that can respond instantly to customer requests. For many types of business it may sound like a completely unpractical strategy, especially for those with small production batch and / or where the processes and its products have such a high inertia. In these cases, only with some imagination may be possible to acknowledge the concept of production flow. Solving this problem often begins by producing for stock purposes, based on forecasts of sales, but this "solution" ends up as an even bigger problem, due to the very high odds of the stocked products are not the ones required by the customers. No matter how accurate the methods of forecasting are because this risk can reveal itself by being quite wasteful, holding financial capital that can be fatal for business. Another problem for companies is the daily struggle against the delayed and the running production that constantly generates. According to the famous physicist, Eliyahu M. Goldratt, responsible for the Theory of Constraints, these stock accumulation problems of ongoing production and successive delays are related because, in real systems, there are rarely more than one restriction, which, in the production systems, may be a production phase of the process, or a set of machines that strangle the flow of production, often by a poor utilization and even a bad management of this resource. Therefore, it is in this resource that lays the real opportunities for improvement and increase of productivity. Management supported by optimization models, a constant monitoring and data collecting to identify critical factors of efficiency loss and use of methodologies that help to rethink the processes in order so they can be faster in the elimination of wasteful practices. These are excellent methods with surprising results, very important to gain the competitive advantages, crucial in the current economic context.

Key Words: Manufacturing Supermarket, Linear Programming, OEE, SMED.

Agradecimentos

Agradeço ao Eng.º Tiago Brito e Faro, pela oportunidade de desenvolver este projecto e pela confiança que sempre depositou em mim; ao Eng.º Vasco Dias, pela sua colaboração essencial nos trabalhos realizados no decorrer deste projecto; ao José Meneses, Armando Amaral, Ricardo Rocha, José Peixoto e todos os trabalhadores da Oxisol, pela paciência e prontidão em partilhar todos os pormenores do seu trabalho.

Agradeço ao Professor José Fernando Oliveira, pela motivação e lucidez que me transmitiu durante a orientação deste projecto.

Agradeço aos meus colegas de curso, pelo grande espírito de companheirismo, união e entreaajuda.

Agradeço à minha família, aos meus amigos e à Margarida, que sempre me apoiaram.

Agradeço ao grupo Adira, pela bolsa de estágio e permissão do uso das suas instalações e equipamento.

Índice

1 - Introdução	1
1.1 - Apresentação da Oxisol e Adira	1
1.2 - O problema no contexto da Oxisol	3
1.3 - A contribuição do problema para a gestão da produção	6
2 - As ferramentas utilizadas na abordagem ao problema	8
2.1 - Lean Production	8
2.2 - Goldratt e a Teoria das Restrições	10
3 - Dimensionamento de um Supermercado de Produção	12
3.1 - Q-Models - Modelos de quantidade fixa de encomenda	14
3.2 - O dimensionamento de um Supermercado de Produto Acabado	15
3.3 - À descoberta do <i>lead time</i>	18
3.4 - Capacidade de resposta do supermercado e análise crítica	20
3.5 - Providenciar <i>Buffers</i> : Sugestão dos supermercados intermédios	23
3.6 - Simulação de capacidade de resposta do supermercado sugerido	26
3.7 - Modo de controlo e implementação	30
4 - Afectação da capacidade dos equipamentos	34
4.1 - A dificuldade do planeamento numa oficina de processos ou <i>job shop</i>	34
4.2 - A necessidade de uma ferramenta de apoio à afectação dos artigos aos equipamentos	36
4.3 - A problemática das gamas operatórias	37
4.4 - Motivação para a construção do programa	39
4.5 - A programação linear	40
4.6 - Elaboração do programa de sugestão de afectação das máquinas	42
4.7 - Identificação o <i>bottleneck/CCR (Capacity Constrained Resource)</i>	50
5 - OEE - Índice de Eficiência Global do Equipamento	52
5.1 - Adaptações do cálculo do OEE na Oxisol	54
5.2 - Modo de Implementação	55
5.3 - Análise do OEE na Oxisol	57

6 - Aumento da disponibilidade dos equipamentos através da redução dos tempos de setup	59
6.1 - SMED, Single Minute Exchange of Dies	60
6.2 - O modo operatório do <i>setup</i> na Oxisol	62
6.3 - O que a Oxisol tem em comum com as companhias aéreas?	67
6.4 - Sugestão de um novo modo operatório	69
6.5 - Um novo modo operatório à prova	75
7 - Conclusões e previsões de trabalhos futuros	82
8 - Referências e Bibliografia	84
Anexos	88
Anexo A - Simulação do supermercado de produto acabado	89
Anexo B - Simulação de Supermercado intermédio e de produto acabado	91
Anexo C - Layout do programa para a afectação dos artigos às máquinas	95
Anexo D - Folha de registo de paragens não planeadas	96
Anexo E - Cálculos do OEE	97
Anexo F - Descrição do modo operatório proposto	98
Anexo G - Sequência de imagens do modo operatório proposto	99

1. Introdução

1.1 - Apresentação da Oxisol e Adira

A Adira, tem como nome a abreviatura do seu fundador António Dias Ramos e é actualmente a maior fabricante ibérica de máquinas para trabalhar chapa a frio, tendo acumulado ao longo de mais de 50 anos uma vasta experiência na concepção, produção e comercialização de máquinas-ferramentas e de sistemas de conformação e manipulação de chapa. Ao longo dos anos, a Adira construiu uma posição internacional baseada na alta fiabilidade e modernidade dos seus equipamentos, que utilizam novas tecnologias como o laser, electrónica, automação e robótica aplicadas às tecnologias tradicionais. A Adira exporta mais de 70% da sua produção para mercados tão sofisticados como os E.U.A., Reino Unido, França, Suécia e tão distantes como a Tailândia e a Austrália.

O constante investimento na pesquisa científica e no desenvolvimento tecnológico permite à Adira orgulhar-se do seu lema “Inovação Permanente”, apresentando cada vez melhores soluções aos seus clientes. A cooperação com universidades e importantes laboratórios de pesquisa é uma componente fundamental do seu empenho na qualidade, precisão e fiabilidade das soluções, na sua integração nos processos produtivos e na sua máxima performance. Para além dos meios tecnológicos necessários a um fabrico de qualidade e precisão (mesmo para peças de grande dimensão), o Sistema de Gestão da Adira é uma garantia de controlo de todos os processos, reflectida na satisfação dos clientes e no cumprimento dos requisitos de qualidade.

Para além de oferecer ao cliente variadas soluções de corte e dobragem de chapa a frio com uma gama de produtos standard que inclui diversos modelos de guilhotinas, quinadoras, prensas e centros de corte de laser, a Adira tenta ser flexível e adaptar-se às necessidades dos clientes, projectando e produzindo muitas vezes máquinas por encomenda com características muito específicas de cada cliente. Para o fabrico de todas as estruturas e componentes soldados desta vasta e sempre crescente gama de produtos, a Adira apoia-se apenas numa empresa, a Oxisol.

A Oxisol começou a sua actividade em 1989 como uma extensão fabril da Adira. Esta empresa metalomecânica consegue realizar o mais variado tipo de operações em diversas espessuras de material, normalmente o aço. Desde a forte capacidade para o oxi-corte e corte por laser, à construção soldada com maquinagem de peças de médio e grande porte, a Oxisol é um parceiro credível, responsável e com uma grande habilidade para a engenharia e para o seu negócio. Para além de Recursos Humanos experientes e qualificados, a Oxisol possui um parque de máquinas, nomeadamente fresadoras e mandriladoras CNC de grande porte, entre os melhores da Península Ibérica. Por isso, a Oxisol é o parceiro ideal para fornecer à Adira a mais complexa estrutura soldada, estabilizada, maquinada e pintada (Figura 1.1).



Figura 1.1 – Oxi-Corte, Soldadura, Maquinagem CNC, Pintura in www.oxisol.pt

1.2 - O problema no contexto da Oxisol

Quer a Oxisol quer a Adira, são desde há muito tempo dois exemplos muito claros do sistema de produção *pull*, tão claros que, com o novo contexto da globalização e uma consequente concorrência aberta cada vez mais agressiva, começa a tornar-se uma desvantagem. “Um exemplo extremo de uma cadeia de abastecimento do tipo *pull* de um restaurante de sushi que não está preocupado com o *lead times* é aquela que vai pescar quando o pedido é feito!” (IMAOKA, 2009)

Hoje em dia, as duas empresas (Adira e Oxisol) funcionam segundo um sistema *Make to Order*. Uma encomenda de um cliente, seja ela de um produto standard ou especial, despoleta uma ordem de fabrico na Oxisol, que por sua vez tem que fabricar os componentes soldados para essa encomenda. O produto final só começa a ser montado quando a Oxisol “liberta” para a Adira a estrutura referente ao artigo encomendado (Figura 1.2).

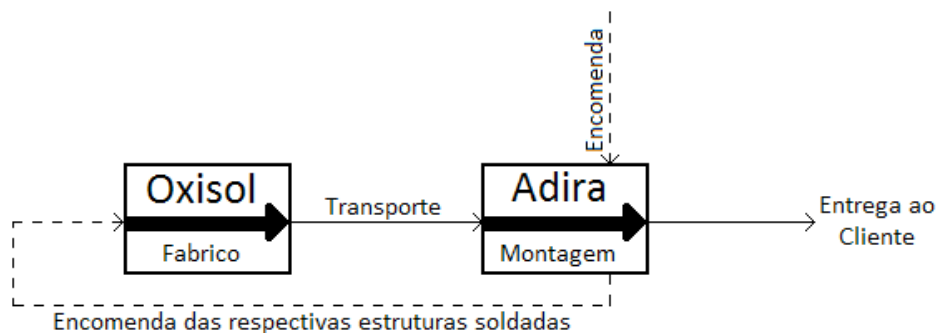


Figura 2.2 - Fluxo de informação e produtos despoletados numa encomenda.

Isto faz com que, independentemente do artigo ser standard ou especial, o tempo mínimo de resposta ao cliente é dado pelo tempo de fabrico das estruturas soldadas feitas na Oxisol e pelo tempo de montagem dos artigos na Adira (Figura 1.3). Ou seja, o tempo de entrega de produtos standard da Adira ao cliente é muito demorado nos dias que correm.

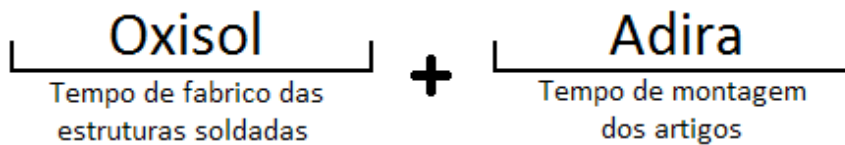


Figura 1.3 - Tempo mínimo de entrega de um produto ao cliente.

É importante referir que as estruturas soldadas são a base onde assentam todos os componentes: sem ela a Adira não pode iniciar a montagem. Por isso, à medida que vão ocorrendo atrasos neste processo, o cliente é directamente afectado e espera cada vez mais tempo pelo seu artigo. Portanto, a Adira não é independente quando se trata de encurtar o tempo de resposta ao cliente. A Oxisol deve, juntamente com a Adira, absorver uma estratégia em que o objectivo será perseguir constantemente o melhor compromisso entre o tempo de resposta ao cliente e os custos envolvidos nesse aumento da rapidez.

A solução para este problema passa pela implementação de uma ferramenta *lean* conhecida por supermercado que consiste em ter um stock mínimo de todos os artigos, de maior ou menor quantidade dependendo do seu tempo de reposição, de forma a que o tempo de entrega de um artigo standard seja apenas o seu tempo de montagem (Figura 1.4).

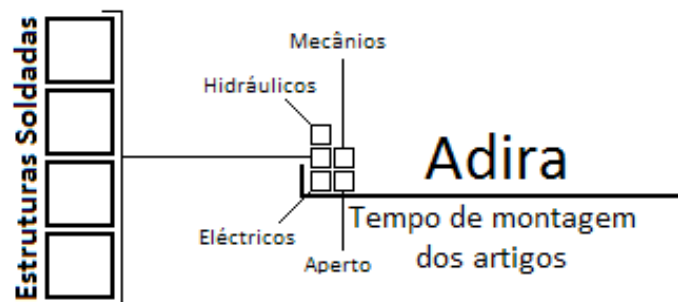


Figura 1.4 - Esquema de um supermercado de produção com os vários tipos de produtos.

”O negociador começou a fazer parte do sistema de produção assim como a Toyota deixou gradualmente de construir automóveis em avanço para compradores desconhecidos e converteu-se num sistema de *Build to Order* (construir à encomenda) em que o vendedor era o primeiro passo no sistema *kanban*, enviando ordens de carros já vendidos para a fábrica para entregá-los a clientes específicos entre duas a três semanas.” (WOMACK, JONES e ROOS, 1990)

O problema é que um stock de produto acabado ou intermédio, para que consiga responder eficientemente aos picos de procura, geralmente representa para a empresa bastante dinheiro parado, não só devido ao elevado valor de certos artigos mas também muitas vezes por culpa dos longos *lead times* de produção. Neste contexto, nasce o objectivo que este projecto tenta alcançar: para que o supermercado de artigos A da Adira seja bem dimensionado é necessário saber-se qual o tempo de reposição desses artigos e, numa fase seguinte, fazer com que este tempo seja cada vez mais reduzido e fiável (Figura 1.5).

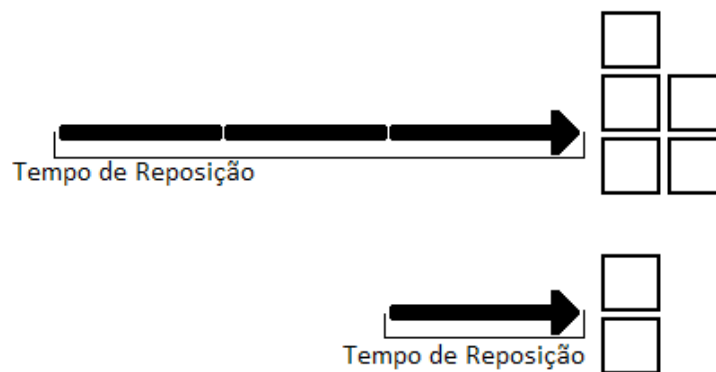


Figura 1.5 - Representação da influência do tempo de reposição com o tamanho do supermercado.

Como qualquer tipo de inventário, este supermercado representa dinheiro parado e, por isso, deve ser minimizado tanto quanto possível. O número de estruturas em stock é função do tempo que se gasta na reposição das mesmas e da sua procura média. Assim, independentemente da procura de estruturas, quanto mais rápida e eficaz a Oxisol for no seu processo de fabrico, menos artigos precisará de ter em supermercado e, claro, menos dinheiro terá empatado.

É neste ponto que começam a surgir as dúvidas quanto à viabilidade desta tentativa de melhoria: a Oxisol é uma metalomecânica pesada onde o Taylorismo impera, dividida por departamentos funcionais onde a mão-de-obra é específica e “fiel” ao seu processo ou equipamento. Ao longo dos anos, a Oxisol tem sido impermeável aos conceitos de fluxo e cadência produtiva, muito por culpa do tipo de negócio. Mesmo com esta estrutura, a Oxisol sempre foi uma empresa capaz de responder à exigente e variada procura da Adira. Na Oxisol, como na maioria das empresas metalomecânicas, o fluxo de produtos é função do encadeamento das tarefas a realizar, ou seja, é um óptimo exemplo de uma oficina de

processos ou *job shop*. Neste tipo de produção muito representativa da Oxisol, as máquinas são capazes de realizar um grande número de operações e são comuns a todo o tipo de produtos. Se por um lado este facto confere uma grande flexibilidade à produção, a verdade é que por outro lado se torna difícil equilibrar as tarefas numa produção descontínua, o que acarreta níveis de stock e de “em curso” elevados.

Contudo existe a suspeita de que o parque de fresadoras CNC de grande porte é o maior “gargalo” deste processo produtivo e que será neste recurso que se encontrarão as melhores oportunidades de melhoria. Em função disto, foi identificado um problema na Oxisol que este projecto tem a ambição de resolver: a pessoa responsável pelas actividades de controlo de operações não possui qualquer método ou ferramenta de apoio que suporte as frequentes tomadas de decisão quanto à sequência e encadeamento das diversas operações feitas em cada artigo consoante os recursos que possui. Uma vez que quase todos os produtos que a Oxisol fabrica exigem operações de maquinagem que são executadas em fresadoras CNC de grande porte e muito caras, é essencial que exista uma ferramenta que ajude a decidir o que deve ser maquinado e em que máquina, tendo em conta as restrições de potencialidades das máquinas *versus* as operações a realizar em cada artigo, esta ferramenta de apoio à decisão terá que ser capaz de fazer uma afectação flexível dos artigos aos postos de trabalho, dependendo do tipo e quantidade de peças que tenham que ser repostos em supermercado ou entregues directamente à Adira.

A filosofia de melhoria contínua e a aplicação de outras ferramentas *lean* para além dos supermercados, como a monitorização da eficiência das máquinas e a implementação do SMED (*Single Minute Exchange of Dies*), serão fundamentais na abordagem a este problema uma vez que irão seguramente ajudar a eliminar desperdícios e aumentar a disponibilidade das máquinas, vantagens competitivas muito bem-vindas em qualquer sistema de produção.

1.3 - A contribuição do problema para a gestão da produção

A obtenção de resultados na eliminação de desperdício através da filosofia *lean production* na Oxisol, confirma que estas metodologias também deverão ser aplicadas neste ramo da metalomecânica pesada, não se limitando apenas a linhas de montagem.

Este projecto tem por isso o intuito de ser um modelo de como uma produção tipicamente descontínua e com recursos limitados consegue ser rápida e eficaz na resposta ao mercado. Tenta demonstrar como uma alocação flexível mas criteriosa dos artigos aos postos de trabalho e a implementação de um supermercado dos produtos A pode ser uma grande ajuda num ambiente *job shop*.

Como principal fornecedor da Adira, a Oxisol tenta com este projecto dar o exemplo de como se pode e deve fazer um esforço para que se melhorem continuamente os processos, de modo que toda a cadeia de valor saia beneficiada.

2. As ferramentas utilizadas na abordagem ao problema

2.1 - Lean Production

Uma solução para reduzir estes prazos de entrega passa por dimensionar e implantar um stock de artigos “A” (classificação atribuída aos artigos mais rotativos) da Adira na Oxisol, de modo a que o tempo de entrega de um produto de alta rotação seja reduzido praticamente ao seu tempo de montagem, “eliminando” assim o tempo de fabrico das estruturas e componentes soldados. O problema clássico de produzir para stock (*Make to Stock*) deve-se ao facto de a produção não ser baseada na procura actual, o que normalmente acaba por representar valores muito elevados em stock e conseqüentemente ser fatal para o fundo de maneiio da empresa. A abordagem perfeita a este e outros problemas idênticos seria um sistema que permitisse conjugar o melhor dos dois mundos: a entrega imediata dos produtos a um custo de stock muito reduzido. Este sistema de produção existe.

O *Just in Time* (JIT) é um sistema de produção repetitiva no qual o processamento e movimentação de materiais ocorre à medida que estes são necessários, normalmente em lotes pequenos, e que utiliza o sistema *pull* apoiado numa ferramenta chamada *kanban*. “O sistema de controlo da produção de Ohno é devidamente chamado por *Just in Time* ou por “a peça certa, à hora certa, na quantidade certa. *Kanban* é (...) o nome para os cartões de instrução para ir buscar material a um *buffer* de peças imediatamente a montante ou dizer ao processo a montante para fabricar mais peças. É uma ferramenta que permite ajustar o processo de fabrico ou montagem ao sistema *pull*.” (WOMACK, JONES e ROOS, 2007)

Este sistema de produção foi fruto de um conceito, em que Taiichi Ohno juntamente com Eiji Toyoda foram os pioneiros, chamado *lean production*. Há quem defenda que este conceito inventado por estes dois homens da *Toyota Motor Corporation* (Chefe de produção e Presidente, respectivamente) usado por várias empresas Japonesas foi a principal causa do crescimento económico do Japão após a Segunda Guerra Mundial. Numa altura em que a fábrica da Ford em Highland Park, Michigan continuava o seu bem sucedido sistema de produção em massa, perfeita para a situação de forte desenvolvimento económico dos Estados Unidos entre 1940 e 1960, este sistema não se adequava à economia Japonesa. Embora a *mass production* seja o melhor exemplo de fluxo de produção até hoje visto, este

sistema não resistiu à evolução do mercado (já na altura era impraticável no Japão e noutras economias menores) devido a um grande problema: a incapacidade de variar os produtos produzidos. A produção em massa requeria *buffers* por toda a fábrica para rentabilizar ao máximo a eficiência das máquinas de forma a conseguir fabricar produtos a um custo muito baixo. Como trocar uma linha de produção para mudar de produto representava muito tempo com as máquinas paradas, Henry Ford mantinha na linha os mesmos modelos com as mesmas características o máximo de tempo possível. A expressão “Pode ter um Ford T da cor que quiser, desde que seja preto!” é mundialmente conhecida e demonstra a falta de variedade dos produtos produzidos característica do Fordismo.

Ohno e Toyoda sabiam que um sistema com base nas economias de escala não funcionaria no Japão. Eles queriam um sistema para a Toyota que reunisse o que a produção em massa não conseguia oferecer (variedade de produtos) e o que fazia de melhor (gerar fluxo de produção). Tanto queriam que conseguiram. “A produção *lean*, é *lean* (em português magro, sem gordura) porque utiliza muito menos de tudo comparada com a produção em massa – metade do esforço humano em fábrica, metade da área de produção, metade do investimento em ferramentas e metade das horas gastas em engenharia para desenvolver um novo produto. Para além disso, requer muito menos de metade do inventário, o que resulta em muito menos defeitos e produz uma maior e sempre crescente variedade de produtos.” (WOMACK, JONES e ROOS, 2007)

O *Toyota Production System* (TPS) e a *lean production* são conceitos que se confundem frequentemente porque um é o melhor exemplo do outro, ou seja, o sistema de produção da Toyota é o mais concreto e maduro exemplo da produção *lean*, que com o tempo e o sucesso obtido evoluiu para uma filosofia de gestão que visa sobretudo a eliminação de todo o tipo de desperdício. O TPS, e portanto também a *lean production*, têm como pilares essenciais o JIT, o sistema *pull* e o *jidoka* (palavra Japonesa que significa automação com um toque humano de forma a parar as máquinas aquando da ocorrência de defeitos nas peças).

Se são estes pilares que fazem da Toyota o maior produtor mundial de automóveis, poderemos pelo menos olhar para a Oxisol e tentar fazer por comparação uma análise crítica quanto à sua estrutura. Começando pelas pessoas, os trabalhadores da Oxisol são extremamente sabedores do seu trabalho uma vez que é da sua arte (operadores de Oxi-Corte, Soldadores, operadores de fresadoras CNC e pintores) que os produtos vão ganhando valor ao longo da fábrica. Talvez possamos considerar este caso um extremo de *jidoka*, uma

vez que os trabalhadores também não deixam continuar no fabrico uma peça defeituosa, uma vez que são eles que as fazem. Como já vimos atrás, a Oxisol desde sempre que fabrica os seus produtos à encomenda, sendo portanto estes produtos puxados (*pull*) pelo cliente. Posto isto, a Oxisol tem dois dos três pilares fundamentais da produção *lean*, faltando apenas o pilar do *Just in Time*: o mesmo *Just in Time* que poderá ser a solução para o problema dos tempos de entrega dos produtos da Oxisol.

2.2 - Goldratt e a Teoria das Restrições

Se perguntássemos a Goldratt se é efectivamente o parque de máquinas fresadoras CNC que limita a cadência produtiva da Oxisol, ele provavelmente responderia: “Não sei, mas alguma coisa será!”.

Em 1984, o físico israelita Eliyahu M. Goldratt introduziu com o seu livro, *The Goal*, uma filosofia de gestão designada por Teoria das Restrições. Esta teoria defende que qualquer sistema na busca em atingir mais depressa o seu objectivo (que segundo o autor praticamente se resume a ganhar dinheiro) está limitado por um número pequeno de restrições e que existe sempre pelo menos uma restrição. O processo de aplicação desta teoria reside em identificar esta restrição e reestruturar a organização à volta dela. Esta teoria é normalmente de fácil compreensão numa analogia com tubagens de diferentes diâmetros interligadas entre si que levam um fluido de um ponto para outro, em que o caudal máximo é sempre restringido pela canalização mais estreita, sendo assim escusado libertar no resto das canalizações mais largas uma maior quantidade de fluido. Se este fluido ou qualquer matéria custar dinheiro, só deveremos comprar e pôr em curso o fluido que a canalização mais pequena conseguir escoar. Caso contrário estaremos a gastar dinheiro desnecessariamente e a prejudicar o desempenho do resto do processo (imagine-se que por excesso de caudal as tubagens rebentam), afastando-nos assim do objectivo que Goldratt sugere.

Portanto, segundo a TOC – *Theory of Constraints*, o facto de serem as fresadoras CNC a limitarem o que a Oxisol deve produzir é natural e está correcto, dado que estas máquinas são o equipamento que deve ser rentabilizado ao máximo porque são máquinas muito

caras. Só desta forma o retorno desse grande investimento poderá ser máximo, representando assim mais dinheiro para a Oxisol.

Nos sistemas de produção, a abordagem segundo esta teoria é conhecida como *Drum, Buffer, Rope*. É assim chamada devido aos seus 3 elementos essenciais: o tambor (*drum*) ou restrição ou elo mais fraco, o buffer ou duração do material libertado para o sistema, e a corda (*rope*) ou instante em que é libertado o material no sistema. A preocupação desta solução é proteger o elo mais fraco do sistema, e portanto o sistema como um todo, contra as dependências e variações dos processos e por isso maximizar eficiência geral do sistema.

Por isso, as fresadoras CNC devem ser umas meninas “mimadas” pela Oxisol: devem andar sempre bem alimentadas (*buffer* de artigos) de modo a não passarem fome (não ter o que fresar), o seu tempo deve ser bem gerido para que possam brincar o máximo possível (o máximo de artigos maquinados), tentar aumentar o tempo disponível para brincar mais ainda (aumentar a disponibilidade das máquinas), e vigiá-las constantemente para evitar que elas se magoem (controlar a eficiência das máquinas).

3. Dimensionamento de um Supermercado de Produção

Na década de 50 do século XX, a Toyota enviou equipas para os Estados Unidos para perceberem o funcionamento da produção em massa. Contudo, a delegação da Toyota obteve a inspiração para o seu sistema de produção, não nas linhas de montagem da General Motors como inicialmente estaria previsto, mas num supermercado americano: viram que o supermercado tinha a virtude de pedir e repor os artigos em stock apenas quando estes fossem comprados pelos clientes. A ideia seria implementar no processo de produção da Toyota um sistema semelhante ao deste comum supermercado de retalho, em que as pessoas (clientes) retiram os produtos das prateleiras conforme necessitam e, detectada a falta desse artigo na prateleira, se inicia o processo de reposição desse mesmo artigo. Esta forma de trabalhar transferida do retalho para a produção revelou-se como uma das pedras fundamentais do *Toyota Production System*. “Agora sabemos que Ohno nunca visitou os Estados Unidos antes de 1955. O famoso conceito de supermercado de peças disponibilizadas pelo processo a montante foi baseado em histórias que ouviu de outros viajantes e de observar os supermercados do estilo americano que na altura abriam no Japão, não da sua directa observação das lojas de retalho grossista dos Estados Unidos”. (WOMACK, JONES e ROOS, 2007)

Uma das ferramentas usadas para facilitar o *Just in Time* na produção é o supermercado. Os supermercados tanto são pontos de expedição como de reposição, dependendo se se trata de um consumidor ou de um fornecedor (Figura 3.1). De lá, o consumidor puxa o que precisa, quando precisa. Depois, é enviado um sinal para que o fornecedor reponha o supermercado, ou seja, o supermercado suporta a produção puxada ao dar um sítio por onde puxar.

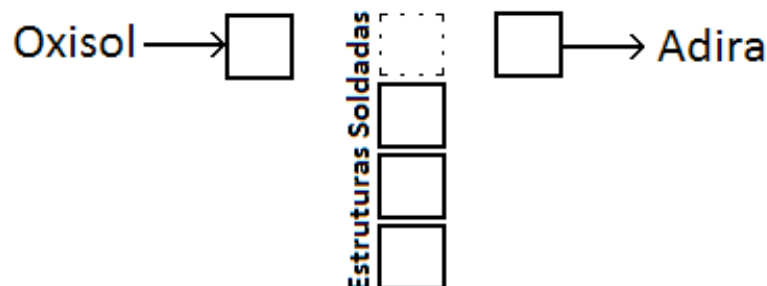


Figura 3.1 – Esquema do supermercado como ponto de expedição e reposição.

Num supermercado (como o da Toyota) os clientes (processos) compram o que precisam quando precisam. As prateleiras são reabastecidas à medida que os produtos são vendidos assumindo que o que é vendido será vendido outra vez, o que faz com que seja fácil ver quanto é que se costuma consumir e evitar stock em excesso. A característica mais importante de um sistema de supermercado é que a reposição do stock é provocada pela procura actual.

A implementação dos supermercados é apropriada onde houver um desejo de dizer ao cliente para puxar a cadeia de abastecimento. A preocupação do supermercado é enviar sinais de consumo unitário para a sua cadeia de abastecimento para que o efeito de nivelamento, chamado *heijunka* pelos Japoneses, ocorra. Da mesma forma que é possível alguém ir à “mercearia do Sr. Belmiro” comprar comida e bebida para uma festa de 300 pessoas, também é possível que se queira encher 10 camiões com determinados artigos de uma dada fábrica. Por isso, um supermercado pode ser usado como uma espécie de isolador entre a procura actual e a que o abastecimento gostaria que fosse, um isolador entre o pico da procura e o processo de abastecimento a jusante.

Mas se tudo correr na perfeição, o processo a jusante vai puxar a produção do supermercado à mesma taxa e ordem que o processo a montante vai repor o supermercado. Se houver um problema entre supermercados, o processo envolvente não é imediatamente afectado. Neste caso o supermercado actua como um *buffer* (em Português amortecedor), mantendo o processo a jusante operacional, enquanto os fornecedores a montante têm um *buffer* para reagir a qualquer não conformidade.

Embora pareça um contra senso recomendar a criação de inventário por toda a produção, há que relembrar que “A chave para uma linha de fabrico eficiente é ajustar a capacidade de produção com a procura dos clientes. Tanto no caso de uma típica *job shop* ou uma fábrica de produção repetitiva, o conceito de supermercado pode ser um grande benefício para a gestão do fluxo de trabalho. Uma produção eficiente não significa ter zero inventário, mas sim ter a quantidade certa de inventário para cada tipo de negócio. A estratégia *Make to Order* (em Português produzir à encomenda) sem ter stock deve dar lugar a uma estratégia com o tamanho certo de inventário de forma a satisfazer os clientes com uma relação óptima entre custo e eficiência.” (CHANESKY, 2004)

3.1 - *Q-Models* - Modelos de quantidade fixa de encomenda

Os modelos de quantidade fixa de encomenda são um tipo de modelos que permite abordar e estudar os sistemas de inventário que têm como objectivo assegurar a disponibilidade de determinados artigos constantemente encomendados ao longo do ano. O intuito destes modelos é ditar que quantidade e em que momento se deve encomendar ou mandar produzir um determinado artigo, tendo uma filosofia em que os acontecimentos despoletam as encomendas, isto é, consideram que uma encomenda é iniciada quando “acontece” o stock atingir um determinado nível.

São geralmente usados os *Q-Models*, quando se trata de artigos importantes, porque é um modelo que considera uma monitorização mais próxima proporcionando uma resposta mais rápida e evitando potenciais roturas de stock. As estruturas soldadas são de extrema importância porque são a base do produto final e sem elas não se consegue dar início ao processo de montagem, o que implica que um atraso da Oxisol na sua entrega à Adira, atrase automaticamente todo o processo até ao cliente final. Estes artigos, para além de consideravelmente importantes, são muito dispendiosos pois representam grandes quantidades de aço e implicam a utilização de equipamento muito caro, como é o caso de uma fresadora CNC. Também por isso, estes modelos se adequam a este caso particular da Oxisol pois são modelos em que o inventário médio é mais baixo.

Estes modelos têm como base a determinação de um instante R em que se deve iniciar uma encomenda de Q artigos, ou por outras palavras, quando é que uma encomenda de quantidade Q deve ser iniciada. Em indústrias de produção contínua, por exemplo, em que existe um custo associado à troca de produção de um tipo de artigo para outro (custo de *setup*), existe a necessidade de encontrar uma quantidade óptima Q de produtos a encomendar, também conhecida por quantidade económica de encomenda. A quantidade económica de encomenda é conseguida ao ponderar os custos de *setup* e os custos de posse de inventário consoante uma determinada procura.

Para a Oxisol, o tempo perdido na preparação para produzir dois artigos iguais é o mesmo de produzir dois artigos diferentes. Um soldador, por exemplo, ao soldar uma estrutura de uma guilhotina, perde o mesmo tempo a preparar o trabalho seguinte independentemente de ser outra estrutura de uma guilhotina ou uma estrutura de uma quinadora. Por esta razão, a

produção em lotes grandes não é aplicável. Assim sendo, é recomendado que a Oxisol continue com um lote unitário de produção já que produzir mais do que um artigo trará desvantagens a vários níveis.

Tendo assim definido o lote de produção, tem-se que estipular um instante R para dar início à encomenda. Aplicado à produção, decidir o instante para dar início ao fabrico de um novo artigo que, como vimos atrás, será estipular um acontecimento ou um estado do nosso inventário. Este instante R corresponderá, portanto, ao instante em que o stock atinge o nível mínimo capaz de responder à procura durante o tempo que o stock demore a ser novamente reposto.

Definir este nível de stock mínimo é exactamente o que precisamos quando se pretende dimensionar um supermercado: definir uma quantidade mínima de artigos em stock de forma a não ocorrer rotura, ou por outras palavras, definir a quantidade mínima de cada tipo de estruturas soldadas para que, quando o cliente Adira for ao supermercado da Oxisol ter sempre artigos para levar.

Para definir a dimensão de um supermercado para determinado artigo necessitamos de quantificar dois aspectos: a sua procura num período de referência (por exemplo, mensal ou anual) que, devido à limitação deste modelo terá que ser fixa, e o *lead time* desse artigo, ou seja, o tempo que o artigo demora desde o lançamento da encomenda até estar pronto para entrega ao cliente. O nível de reposição de stock ou a dimensão de um supermercado de um determinado artigo é dado por

$$R = d.L,$$

em que d é a procura média em dias e L o *lead time* em dias. Devido a limitações deste modelo, quer a procura quer o *lead time* precisam de ser constantes ou estudadas como tal.

3.2 - O dimensionamento de um Supermercado de Produto Acabado

Neste ponto é importante referir que estamos a fazer todo um estudo com base numa nova gama de máquinas. Os artigos que se pretendem disponibilizar em supermercado estão relacionados com o lançamento no mercado das novas “Guimadira”, um conceito de

máquinas *low cost* de forma a continuar competitiva entre a forte concorrência do mercado, especialmente a asiática (Figura 3.2).



Figura 3.2 - Flyer das novas Quinadoras e Guilhotinas "Guimadira" in www.adira.pt

A procura de novos produtos prestes a lançar no mercado é um pouco difícil de prever. Contudo, independentemente das previsões serem ou não fidedignas, é sempre importante ter uma visão otimista para que se possa estudar e adaptar as capacidades de forma a dar resposta ao melhor cenário de vendas, sem que a produção constitua um obstáculo. Vejamos as previsões de vendas da Adira para 4 modelos de máquinas (Tabela 3.1), os componentes da Oxisol para cada modelo "Guimadira" (Tabela 3.2) e um exemplo de componentes da Oxisol para o modelo PM – 11030 das "Guimadira" (Figura 3.3).

Tabela 3.1 - Previsões de encomendas por tipo de modelo "Guimadira"

Artigo	Procura Mensal	Média diária
SM - 0630 Guilhotina Hid.	8	0,363636364
PM - 11030 PLS Quinadora	8	0,363636364
PM - 16030 PLS Quinadora	7	0,318181818
PM - 20040 PLS Quinadora	2	0,090909091

Tabela 3.2 - Componentes principais Oxisol correspondente a cada modelo "Guimadira".

SM - 0630	Referência	Valor
Supermercado de Produto Acabado		
Corpo Porta_Laminas	6XG-18315	1634
Estrutura	6XG-18322	3437
PM - 11030	Referência	Valor
Supermercado de Produto Acabado		
Estrutura	6XQ-24363	3154
Avental Movei	6XQ-24364	1750
PM - 20040	Referência	Valor
Supermercado de Produto Acabado		
Estrutura	6XQ-24373	6505
Avental Movei	6XQ-23897	2678
PM - 16030	Referência	Valor
Supermercado de Produto Acabado		
Estrutura	6XQ-24357	3505
Avental Movei	6XQ-23885	1831



Figura 3.3 - Componentes principais Oxisol para uma Quinadora PM - 11030.

Para cada um destes produtos que irão ser montados pela Adira, a Oxisol tem que fabricar as estruturas soldadas correspondentes. Assim, e exemplificando, cada vez que a Adira inicia a montagem de uma PM-11030 sabe-se que a Oxisol terá que lhe fornecer a Estrutura e o Avental Móvel correspondentes a essa máquina, para além de uma Régua do Esbarro (cuja colocação em supermercado não iremos, para já, considerar uma vez que a montagem pode ser iniciada sem ela). Introduzindo a tabela seguinte, para a Adira iniciar a montagem de uma quinadora PM-11030 vem à Oxisol abastecer-se de um "kit" de artigos, neste caso a estrutura e o avental móvel correspondente.

3.3 - À descoberta do *lead time*

Uma vez que estes artigos dizem respeito às novas máquinas “Guimadira” ainda por lançar no mercado, desconhecemos uma informação crucial que provavelmente vai decidir a viabilidade da criação de supermercados destes artigos: o seu *lead time*. Recorde-se que é este tempo juntamente com a procura que permite calcular o número de artigos de produto acabado que necessitamos em stock. Se este tempo for muito longo, o supermercado para satisfazer a necessidades da Adira nesse intervalo de tempo deverá ter em stock um número elevado de artigos, o que pode tornar-se uma dificuldade, quer em termos de espaço quer em termos de custo.

Se esta nova gama de máquinas “Guimadira” nos traz incerteza acerca das suas vendas, o tempo e o trabalho que os componentes soldados correspondentes requerem também são desconhecidos, porque nunca ninguém os fez antes. Muito embora já se tenham produzido componentes para máquinas semelhantes, a engenharia destas novas “Guimadira” foi desenvolvida para simplificar os processos de soldadura e maquinagem dos seus componentes. O leque de máquinas que compõem as “Guimadira” inclui ainda outra quinadora de 3 metros (PM-16030) e uma de 4 metros (PM-20040). As estruturas soldadas dos diversos modelos do mesmo tipo de máquinas têm praticamente o mesmo processo de fabrico. Por exemplo, os artigos da Oxisol correspondentes a uma PM-11030 passam exactamente pelos mesmos processos dos artigos correspondentes a uma PM-16030 e uma PM-20040, embora esta última requeira mais reforços devido ao seu tamanho. Por isso, o melhor seria acompanhar o fabrico dos componentes para dois tipos de máquinas: uma guilhotina e uma quinadora.

Recordando que o *lead time* dos artigos da Oxisol é o tempo que um produto demora desde que a ordem de fabrico é introduzida no sistema até que fica pronta para entrega à Adira, uma forma de medirmos e percebermos o *lead time* destes artigos será exactamente seguirmos estes artigos desde o início do corte da chapa para todos os componentes até à saída da pintura, passando a considerar-se então produto acabado.

Na Tabela 3.3, de acompanhamento da produção de uma quinadora PM-11030, vemos que as primeiras operações de oxi-corte para este artigo foram iniciadas no dia 17 de Março e que o *kit* de artigos (estrutura e avental móvel) acabou de ser pintado no dia 2 de Abril,

tendo passado entretanto 13 dias úteis. De forma análoga, o *lead time* para artigos de uma guilhotina SM – 0630 foi de 17 dias úteis (Tabela 3.4).

Tabela 3.3 - Acompanhamento da produção de uma estrutura e um avental móvel correspondentes às quinadoras PM - 11030 e PM - 16030.

PM - 11030, PM - 16030		
dia	operação	componentes
17-Mar	oxicorte	nervuras sapatas avental fixo forra calço avental montantes
	desempeno	avental fixo
18-Mar	furar	sapatas
	oxicorte	chapa avental móvel bases cilindro
19-Mar	plaina	bases cilindro
24-Mar	desempeno	montantes
	soldar emendas	montantes
25-Mar	soldar	reforço/avental fixo
	soldar	bases/montantes
	desempeno	avental móvel
	serrar	perfilados
26-Mar	posicionar/pingar	estrutura
	soldar	peças do avental móvel
	soldar	estrutura
27-Mar	soldar (cont.) - pronta	estrutura
	rebarbar	avental móvel
	rebarbar (desempeno-calor)	estrutura
30-Mar	desempeno	estrutura pronta maquinar avental móvel
	maquinagem (10h)	avental pronto maquinar estrutura
31-Mar	maquinagem (10h)	estrutura pronta pintar
01-Abr	rebarbar para pintar	estrutura
	lixar/lixar/pintar	estrutura
02-Abr	lixar/lixar/pintar	avental móvel
	passar machos furos	estrutura

13 DIAS ÚTEIS

Tabela 3.4 - Acompanhamento da produção de uma estrutura e um corpo do porta-lâminas correspondentes à guilhotina SM - 0630.

SM - 0630		
Componentes	Operação	dia
montante	Operações de Oxicorte, Rebarbagem, Quinagem e Desempeno	27-Abr
chapa do caixão		28-Abr
chapa da mesa		29-Abr
calço da mês		30-Abr
chapa em L		
reforços		
chapa d placa frontal		
barra da placa fr		
Caixão	Pré-Soldadura	04-Mai
Caixão	Pré-Soldadura	05-Mai
Caixão	Rebarbar	06-Mai
Placa Frontal	Maquinar	07-Mai
Caixão	Maquinar	07-Mai
Corpo do Porta-Lâminas	Posicionar	08-Mai
Corpo do Porta-Lâminas	Soldar	11-Mai
Corpo do Porta-Lâminas	Soldar	12-Mai
Corpo do Porta-Lâminas	Rebarbar	
Caixão	Maquinar	
Estrutura	Posicionar	13-Mai
Estrutura	Soldar	
Estrutura	Soldar	
Corpo do Porta-Lâminas	Maquinar	14-Mai
Corpo do Porta-Lâminas	Maquinar	
Estrutura	Rebarbar	
Estrutura	Desempenar	
Estrutura	Maquinar	18-Mai
Estrutura	Maquinar	
Corpo do Porta-Lâminas	Pintar	19-Mai
Estrutura	Rebarbar	19-Mai
Estrutura	Pintar	20-Mai

17 DIAS ÚTEIS

Nesta fase tem-se, então, um *lead time* e existem condições para dimensionar um supermercado de produto acabado. Recordando que a quantidade de cada artigo em supermercado deverá ser capaz de responder à procura num período igual ao seu tempo de reposição, multiplicando a procura média diária pelo *lead time* de um determinado artigo ou conjunto de artigos (e arredondando se necessário para o inteiro imediatamente a seguir) teremos a quantidade recomendada em supermercado. Aplicando a este raciocínio a estes

quatro produtos, a quantidade teórica que deveremos ter em supermercado para cada artigo será a indicada na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Dimensionamento do supermercado de produto acabado.

Supermercado de Produto Acabado				
Artigo	Lead Time [dias]	Procura Mensal	Média diária	Quantidade Teórica em Supermercado
SM - 0630 Guilhotina Hid.	17	8	0,36364	7
PM - 11030 PLS Quinadora	13	8	0,36364	5
PM - 16030 PLS Quinadora	13	7	0,31818	5
PM - 20040 PLS Quinadora	14	2	0,09091	2

Estes valores podem sempre ser ajustados, aplicando um coeficiente de segurança que permita diminuir o risco de rotura e assim conseguir responder a picos mais fortes da procura.

3.4 - Capacidade de resposta do supermercado e análise crítica

Para percebermos como esta quantidade de artigos em supermercado consegue satisfazer as necessidades da Adira, fez-se uma simulação com um plano real de encomendas (Figura 3.4). Segundo esta lista de 53 dias úteis de entrega de artigos Oxisol à montagem (Tabela 3.6), podemos estudar o comportamento do supermercado de produto acabado referente às “Guimadira”

Tabela 3.6 - Lista de entrega à montagem da Adira in intrabaan.adira.pt



inovação permanente >>>

DESCRIÇÃO	LANÇAM.	ENT. MON	DESCRIÇÃO	LANÇAM.	ENT. MON
PM 11030 PLS QUINADORA	13/02/09	08/05/09	PM 20040 PLS QUINADORA	17/04/09	02/07/09
QHD-15040 NCE Indico Q	07/10/08	15/05/09	PM 11030 PLS QUINADORA	17/04/09	03/07/09
Guimadira 16030 PLS In	26/01/09	18/05/09	SM 1330 CE Guilhotina	18/02/09	03/07/09
QIHD-8025 PLS INDICO Q	02/02/09	18/05/09	PM 16030 PLS QUINADORA	17/04/09	06/07/09
SM 630 CE Guilhotina H	18/02/09	20/05/09	PM 20040 PLS QUINADORA	17/04/09	07/07/09
SM 0630 GUILHOTINA HID	17/04/09	28/05/09	SM 1330 GUILHOTINA HID	17/04/09	07/07/09
SM 0630 GUILHOTINA HID	17/04/09	01/06/09	PM 11030 PLS QUINADORA	15/04/09	08/07/09
GH-1330 NCE (E)VERSAO I	03/03/09	01/06/09	PM 16030 PLS QUINADORA	17/04/09	09/07/09
PM 11030 PLS QUINADORA	17/04/09	02/06/09	PM 11030 PLS QUINADORA	17/04/09	10/07/09
PM 16030 PLS QUINADORA	17/04/09	02/06/09	SM 1330 GUILHOTINA HID	27/04/09	13/07/09
PM 11030 PLS QUINADORA	17/04/09	02/06/09	PM 16030 PLS QUINADORA	17/04/09	13/07/09
PM 16030 PLS QUINADORA	17/04/09	05/06/09	PM 16030 PLS QUINADORA	17/04/09	14/07/09
PM 20040 PLS QUINADORA	17/04/09	05/06/09	PM 16030 PLS QUINADORA	17/04/09	15/07/09
SM 0630 GUILHOTINA HID	17/04/09	08/06/09	PM 16030 PLS QUINADORA	17/04/09	16/07/09
PM 20040 PLS QUINADORA	17/04/09	15/06/09	SM 0630 GUILHOTINA HID	17/04/09	16/07/09
QIHD-11030 PLS ATLANTI	16/02/09	22/06/09	SM 1330 GUILHOTINA HID	27/04/09	17/07/09
SM 0630 GUILHOTINA HID	17/04/09	23/06/09	SM 0630 GUILHOTINA HID	17/04/09	20/07/09
PM 11030 PLS QUINADORA	17/04/09	29/06/09	SM 1330 GUILHOTINA HID	27/04/09	22/07/09
Guimadira 16030 PLS Qu	18/02/09	30/06/09	GH-0640 (CE) E INDICO	13/02/09	22/07/09
PM 16030 PLS QUINADORA	17/04/09	01/07/09	PM 16030 PLS QUINADORA	17/04/09	29/07/09

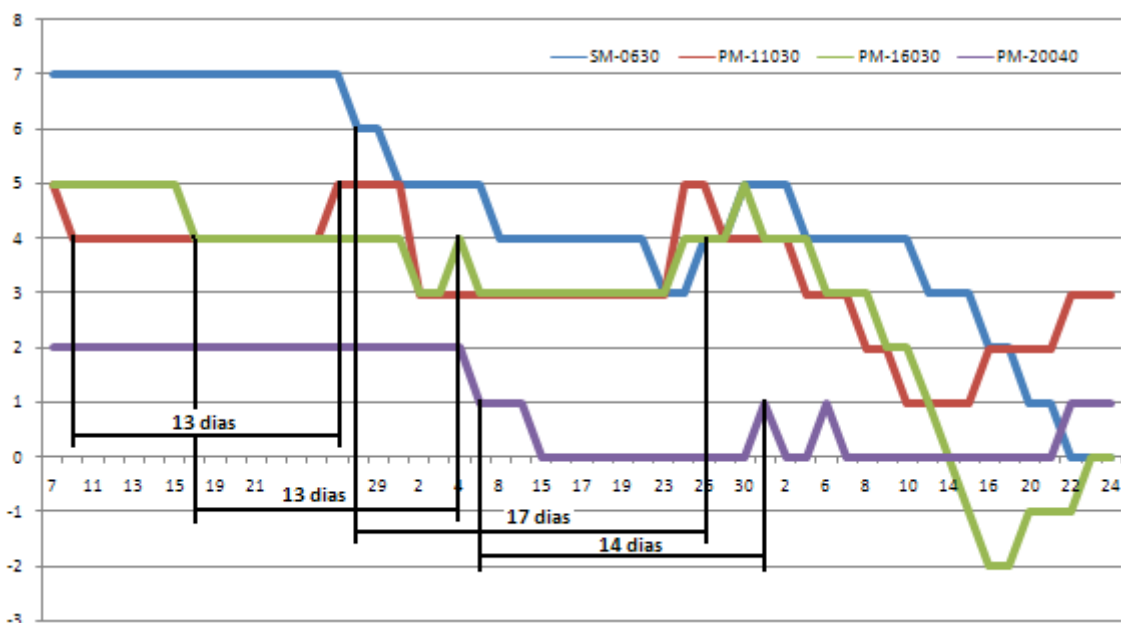


Figura 3.4 - Simulação do comportamento do supermercado de produto acabado.

É muito importante referir que este comportamento é simulado, não considerando possíveis variações do *lead time* nem roturas de matérias-primas. Ainda assim é possível ver como se comportaria o supermercado dimensionado anteriormente para esta procura da Adira em particular. Com o auxílio do eixo vertical do gráfico, podemos perceber quantos conjuntos teríamos em supermercado ou quantos conjuntos estariam em falta num determinado dia. Quando as linhas do gráfico descem significa que “saiu” um artigo de supermercado e quando sobem significa que foi feita uma reposição. Nestas condições de simulação, quando existe *picking* de um determinado artigo em supermercado, uma reposição é feita passados os dias do seu *lead time*.

Dois factores críticos que podemos considerar numa análise ao estudo do supermercado dimensionado é a média de dias que os artigos passam em supermercado parados (Figura 3.5) e quantos dias de rotura de stock houve, comparando com o número de entregas que aconteceram neste período de tempo (Figura 3.6).

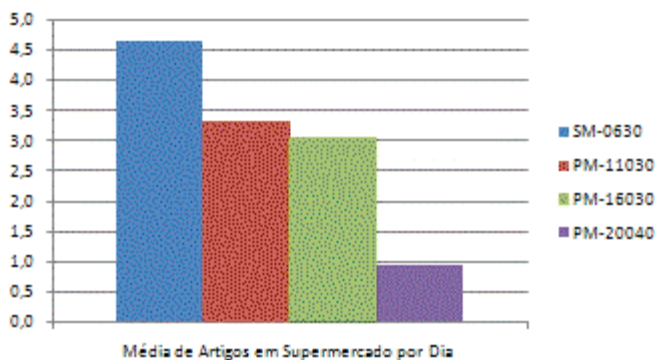


Figura 3.5 - Média de dias em supermercado por artigo.

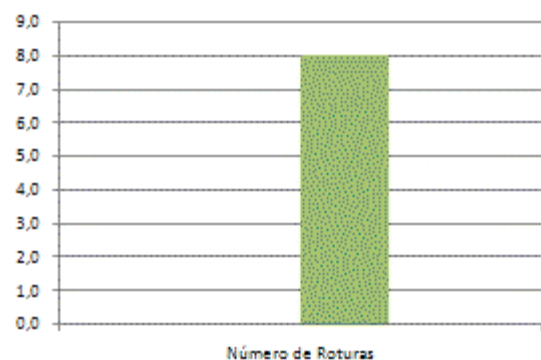


Figura 3.6 - Número de dias em rotura em 32 encomendas.

Com um rácio de 1 dia de espera em cada quatro artigos entregues (8 dias de rotura em 32 encomendas) pode dizer-se que a resposta deste supermercado seria francamente boa dada a irregularidade de encomendas que este stock conseguiu absorver. Contudo, o mesmo não se pode dizer quanto à rotação de artigos, demonstrando muito pouco fluxo, sendo o conceito de supermercado uma ferramenta do sistema *lean*. Talvez seja motivo para nos questionarmos se uma média de 12 artigos em supermercado por dia não será demasiado para uma produção *Just in Time*. “O foco do JIT é o fluxo do produto.” (CHASE, JACOBS e AQUILANO, 2004)

3.5 - Providenciar *Buffers*: Sugestão dos supermercados intermédios

Todos os sistemas de produção precisam de algum ponto ou pontos de controlo para controlar o fluxo dos produtos pelo sistema. Este ponto de controlo é chamado de *tambor* porque marca o ritmo a que o resto do sistema (ou aquelas partes por ele influenciáveis) deve funcionar. Se o sistema contém um *bottleneck*, este será o melhor sítio para controlar. Se traduzirmos esta palavra, que em português significa gargalo da garrafa, tornar-se-á mais fácil perceber o que significa este conceito no âmbito da gestão da produção: “Um *bottleneck* é definido como qualquer recurso cuja capacidade é menor do que a procura exigida dele; é uma restrição do sistema que limita a produção; é aquele ponto no processo de produção onde o fluxo se torna mais estreito.” (CHASE, JACOBS e AQUILANO, 2004) Por isso, um *bottleneck* está sempre a trabalhar, e uma razão para usá-lo como ponto de controlo é ter a certeza de que as operações a montante não produzam demasiado e construam inventário em curso excessivo que o *bottleneck* não consegue aguentar.

“Se o tambor não for um *bottleneck* mas apenas um recurso com uma capacidade limitada, deveremos criar dois *buffers*: um em frente ao CCR (*Capacity Constrained Resource*) e o segundo no final como produto acabado. Enquanto o stock de produto acabado protege o mercado, o *buffer* de tempo em frente ao CCR protege a produção. Para este caso, o mercado não consegue absorver tudo que conseguimos produzir, por isso queremos nos certificar de que o produto acabado está disponível para quando o mercado decida comprar.” (CHASE, JACOBS e AQUILANO, 2004)

Precisamos de duas cordas neste caso: (1) a corda que comunica o inventário de produto acabado ao tambor para aumentar ou diminuir a saída e (2) a corda do tambor até ao ponto onde é libertado o material, especificando o material que é necessário.” (CHASE, JACOBS e AQUILANO, 2004) Estas cordas poderão ser lançamentos de ordens de fabrico por MRP, *kanbans* ou qualquer outra forma de sinalização de um pedido de produtos.

Da mesma forma que foi feito o dimensionamento de um supermercado de produto acabado, que basicamente funciona como um *buffer* entre a produção e a procura, podemos dimensionar um *buffer* em qualquer ponto da produção que nos seja útil para controlar o fluxo.

Uma sugestão para um *buffer* (ponto de controlo) é imediatamente antes das operações de soldadura. Este é um ponto crítico onde o fabrico começa a ser afectado a postos de trabalho e o fluxo do material fica lento, em virtude do tipo de operações realizadas daqui em diante. As longas operações de maquinagem, bem como a própria soldadura, são operações que requerem muito tempo de mão-de-obra e por isso travam bruscamente o fluxo da produção. Uma vez que estas operações são a meio do processo produtivo da Oxisol, conseguimos com o *buffer* sugerido evitar a colocação de material “em curso”, que o parque de fresadoras CNC (recursos limitados) não consegue absorver.

“Se as máquinas são usadas por múltiplos produtos, limitando assim disponibilidade de máquina para qualquer produto, deve considerar-se pôr um supermercado imediatamente antes dessas máquinas. Isto garante que esta operação gargalo terá sempre trabalho para correr, mantendo assim a potencial capacidade ao máximo.” (CHANESKY, 2004)

Assim, com a criação deste *buffer* intermédio, que funciona como um supermercado de produtos prestes a soldar, para além de proteger os recursos limitados de *starving* (falta de trabalho) e evitar o excesso de “em curso” em todo o sistema, permite uma redução do número de estruturas necessárias no supermercado de produto acabado.

Se o supermercado de produto acabado foi dimensionado em função da procura da Adira e do tempo que um produto demora desde o início até ao fim do processo, o dimensionamento deste *buffer* intermédio e do novo supermercado de produto acabado é feito de forma análoga. Sendo a procura a mesma, o que varia é o tempo de reposição de cada componente no *buffer*. Vejamos nas Tabelas 3.7 e 3.8, para os artigos correspondentes à PM-11030 e SM -0630 que seguimos anteriormente, o tempo de reposição de cada um nos supermercados intermédio e de produto acabado.

Conseguimos perceber assim que o longo *lead time* de 13 dias, que implicava uma quantidade inviável de estruturas soldadas em supermercado (principalmente em questões de espaço), foi desacoplado em dois *lead times* mais curtos de dois processos diferentes. Com a criação deste *buffer* a montante do processo de soldadura, o tempo de reposição de produto acabado será agora de 7 dias para as PMs (8 dias para a PM-20040 considerando que demora mais tempo na soldadura por causa dos seus reforços e na maquinagem por causa do seu tamanho), diminuindo assim o número de estruturas soldadas necessárias em supermercado. Por sua vez, a reposição do supermercado de produto prestes a soldar será

feita no espaço de 6 dias. O mesmo será verdade para qualquer outro conjunto de artigos. Para os artigos correspondentes às guilhotinas SM-0630, por exemplo, é possível também dividir o longo processo em dois mais curtos, sendo o tempo do Oxi-Corte até à soldadura o tempo de reposição do primeiro *buffer* e o tempo que inclui a soldadura e todos os processos até ficar pronto o de reposição do supermercado de produto acabado.

Tabela 3.7 - Divisão do *lead time* dos componentes referentes às PM - 11030 e PM - 16030.

		PM - 11030, PM - 16030						
		dia	operação	componentes				
6 DIAS ÚTEIS	17-Mar		oxicorte	nervuras				
				sapatas				
				avental fixo				
				forra				
18-Mar			desempeno	calço avental				
				montantes				
				avental fixo				
				sapatas				
19-Mar			furar	chapa avental móvel				
				oxicorte	bases cilindro			
24-Mar			desempeno	bases cilindro				
				soldar emendas	montantes			
7 DIAS ÚTEIS			soldar	reforço/avental fixo				
				soldar	bases/montantes			
				desempeno	avental móvel			
				serrar	perfilados			
				26-Mar			posicionar/pingar	estrutura
								soldar
				27-Mar			soldar	estrutura
								rebarbar
				30-Mar			desempeno	rebarbar (desempeno-calor)
								rebarbar (desempeno-calor)
31-Mar			maquinagem (10h)	estrutura pronta maquinar				
				maquinagem (10h)	avental móvel			
01-Abr			rebarbar para pintar	avental pronto maquinar				
				rebarbar para pintar	estrutura			
02-Abr			passar machos furos	estrutura				
				passar machos furos	avental móvel			

Tabela 3.8 - Divisão do *lead time* dos componentes referentes à SM - 0630.

SM - 0630		
Componentes	Operação	dia
montante	Operações de Oxicorte, Rebarbagem, Quinagem e Desempeno	27-Abr
chapa do caixão		28-Abr
chapa da mesa		29-Abr
calço da mês		30-Abr
chapa em L		
reforços		
chapa d placa frontal		
barra da placa fr		
Caixão	Pré-Soldadura	04-Mai
Caixão	Pré-Soldadura	05-Mai
Caixão	Rebarbar	06-Mai
Placa Frontal	Maquinar	06-Mai
Caixão	Maquinar	07-Mai
Corpo do Porta-Lâminas	Posicionar	08-Mai
Corpo do Porta-Lâminas	Soldar	11-Mai
Corpo do Porta-Lâminas	Soldar	
Corpo do Porta-Lâminas	Rebarbar	12-Mai
Caixão	Maquinar	
Estrutura	Posicionar	
Estrutura	Posicionar	
Estrutura	Soldar	13-Mai
Estrutura	Soldar	
Corpo do Porta-Lâminas	Maquinar	
Corpo do Porta-Lâminas	Maquinar	
Estrutura	Rebarbar	14-Mai
Estrutura	Desempenar	
Estrutura	Maquinar	
Estrutura	Maquinar	18-Mai
Corpo do Porta-Lâminas	Pintar	
Estrutura	Rebarbar	19-Mai
Estrutura	Pintar	20-Mai

Desta forma, em vez de um supermercado final de elevado valor e espaço ocupado, teremos dois *buffers* em diferentes partes do processo que se espera serem mais rotativos, mais pequenos e mais baratos. Mas será que ao fazer outro supermercado, neste caso de produto prestes a soldar, não será outro custo de inventário a suportar? A verdade é que, com estes dois *buffers* ou supermercados de produção, o valor do produto em stock é bem capaz de baixar.

3.6 - Simulação de capacidade de resposta do supermercado sugerido

Neste capítulo, irá testar-se a resposta destes do novo supermercado de produto acabado para a mesma procura que se estimou para as “Guimadiras”. Para cada produto da Adira, a Oxisol terá que ter determinado o tipo de artigos em cada “buffer” (Tabela 3.9 e Figura 3.7).

Tabela 3.9 - Componentes Oxisol por artigo da Adira e por supermercado.

SM - 0630	Referência	Valor
Buffer Intermédio		
Montantes	XG-18319	892
Placa Frontal	XG-15823	471
Conj.Caixão	XG-18312	1632
Blindagem	XG-15796	349
AventalPorta-Lâminas	XG15797	564
Supermercado de Produto Acabado		
Corpo Porta_Laminas	6XG-18315	1634
Estrutura	6XG-18322	3437

PM - 11030	Referência	Valor
Buffer Intermédio		
Montantes	XQ-24361	1566
Avental Fixo	XQ-24362	627
Chapa Avental Móvel	XQ-24365	1525
Supermercado de Produto Acabado		
Estrutura	6XQ-24363	3154
Avental Movei	6XQ-24364	1750

PM - 20040	Referência	Valor
Buffer Intermédio		
Montantes	XQ-24374	2554
Avental Fixo	XQ-16177	2101
Caixão Reforço	XQ-20341	176
Chapa Avental Móvel	XQ-24375	2377
Supermercado de Produto Acabado		
Estrutura	6XQ-24373	6505
Avental Movei	6XQ-23897	2678

PM - 16030	Referência	Valor
Buffer Intermédio		
Montantes	XQ-24358	1648
Avental Fixo	XQ-20227	890
Chapa Avetal Móvel	6XQ-17773	1718
Supermercado de Produto Acabado		
Estrutura	6XQ-24357	3505
Avental Movei	6XQ-23885	1831



Figura 3.7 - Imagem do supermercado intermédio.

Com estas estruturas em supermercado, sugeridas também com base nos modelos de quantidade fixa de encomenda, pode-se utilizar a mesma procura real dos produtos da Oxisol por parte da Adira para dimensionar os dois supermercados (Tabela 3.10), perceber o comportamento do nosso novo supermercado final e analisar o seu nível de resposta.

Tabela 3.10 - Dimensionamento dos supermercados de produto acabado e intermédio.

Supermercado de Produto Acabado				
Artigo	Tempo de Reposição [dias]	Procura Mensal	Média diária	Quantidade Teórica em Supermercado
SM - 0630 Guilhotina Hid.	9	8	0,36364	4
PM - 11030 PLS Quinadora	7	8	0,36364	3
PM - 16030 PLS Quinadora	7	7	0,31818	3
PM - 20040 PLS Quinadora	8	2	0,09091	1
Supermercado Intermédio				
SM - 0630 Guilhotina Hid.	8	8	0,36364	3
PM - 11030 PLS Quinadora	6	8	0,36364	3
PM - 16030 PLS Quinadora	6	7	0,31818	2
PM - 20040 PLS Quinadora	7	2	0,09091	1

No comportamento do supermercado de produto acabado, representado pelo gráfico na Figura 3.8, vê-se que o tempo de reposição dos artigos referentes à PM-20040, por exemplo, variou devido a uma rotura no *buffer* intermédio. Esta situação poderia perfeitamente ter acontecido na hipótese com apenas o supermercado final se por acaso estivéssemos a considerar o stock de matéria-prima, já que também este é considerado inventário e pode entrar em rotura.

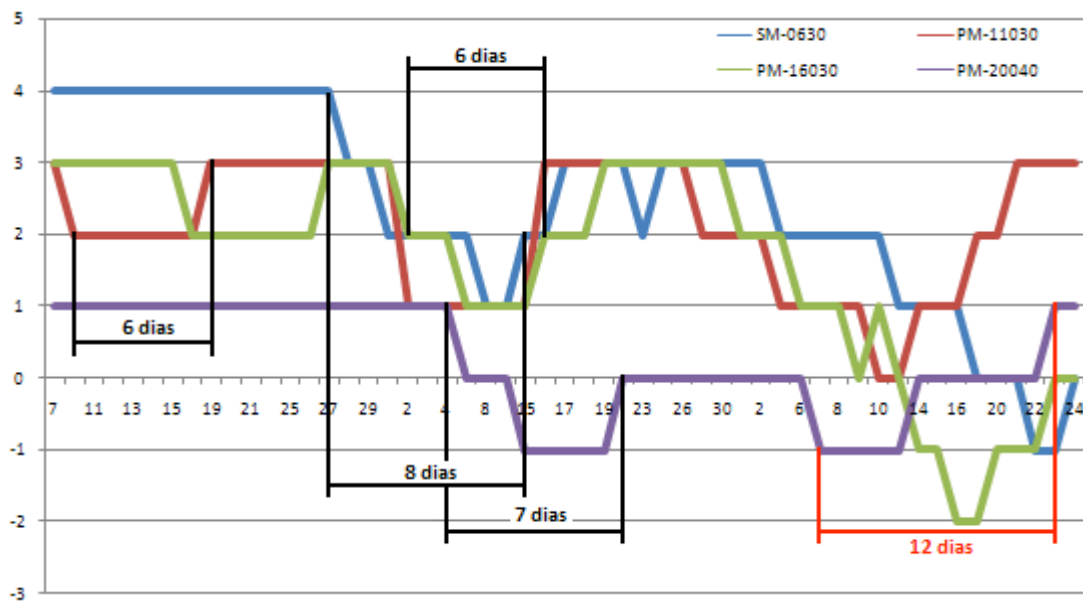


Figura 3.8 - Comportamento do "novo" supermercado de produto acabado.

Numa análise aprofundada ao dimensionamento do "novo" supermercado de produto acabado (Figura 3.9 e 3.10) pode ver-se que com muito menos estruturas no supermercado de produto acabado, a rotação destes artigos é muito mais elevada, passando de uma média de 12 para 6,7 artigos em stock por dia para o conjunto dos 4 artigos diferentes. Se num supermercado mais pequeno e mais rotativo é óbvio o conceito de fluxo, o facto é que se torna mais vulnerável a avalanches de encomendas. Estes 19 dias de rotura, perante as mesmas 32 entregas, representam mais de um dia de rotura por cada dois artigos entregues.

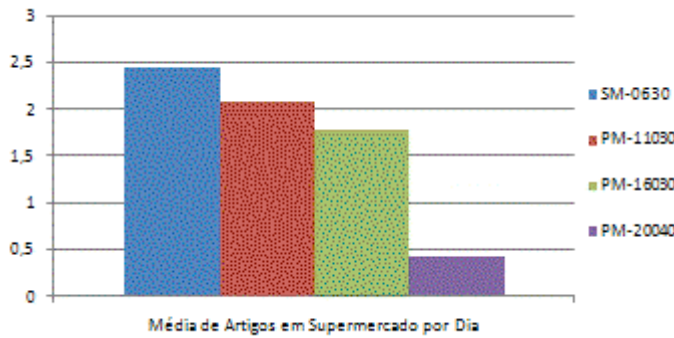


Figura 3.9 - Média de dias em supermercado por artigo.

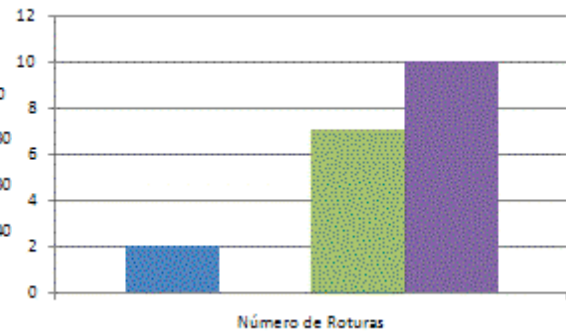


Figura 3.10 - Número de dias de rotura por artigo em 32 encomendas.

Por outro lado, as roturas estão normalmente associadas às perdas da venda do produto que estamos a produzir, aos descontos que teremos que fornecer devido a atrasos de entrega, ou até à perda de clientes. No caso da relação Adira – Oxisol, como são do mesmo grupo (e portanto dos mesmos donos) esta perda de vendas e de ganhos referentes às falhas de entregas não são directas, reflectindo-se apenas na qualidade de resposta ao cliente por parte da Adira. Contudo, a Adira é a empresa que responde directamente ao cliente final e ao mesmo tempo tem um processo de montagem com o qual pode amenizar as roturas de estruturas da Oxisol. “Estabilizar a procura é normalmente mais fácil quando é proveniente de um processo de produção a jusante do que do cliente final.” (CHASE, JACOBS e AQUILANO, 2004)

Desacoplando um processo muito longo e complexo em dois mais simples e mais curtos, espera ter-se um melhor controlo sobre o processo de fabrico, diminuir o risco de variabilidade do *lead time* e ainda que seja mais vantajoso na batalha da redução do *lead time*. Se é sabido que um supermercado intermédio é vantajoso e fulcral por ser um ponto de controlo para o processo de produção, falta agora saber o valor que esta solução representa. Basicamente é necessário mostrar o que estes números, referentes à rotação dos artigos, representam em valor parado em stock (Tabela 3.11).

Tabela 3.11 - Valor médio dos componentes em supermercado.

	Máquinas Correspondentes aos Artigos em Supermercado	Valor Médio de Artigos em Supermercado por Dia [Euros]
Supermercado de Produto Acabado	SM - 0630	23154,4
	PM - 11030	16285,0
	PM - 16030	16310,0
	PM - 20040	8316,7
	TOTAL	64066,1
Supermercado de Produto Acabado + Buffer intermédio	SM - 0630	12438
	PM - 11030	10178
	PM - 16030	9464
	PM - 20040	3985
	SUB-TOTAL	36065
	SM - 0630	6489
	PM - 11030	8208
	PM - 16030	4658
	PM - 20040	4488
	SUB-TOTAL	23842
TOTAL	59907	

Para tomar qualquer decisão relativa à dimensão do inventário, há que ter em consideração os vários custos. Uma vez que manter estruturas soldadas em stock não requer nenhum custo adicional (como, por exemplo, o uso de arcas frigoríficas, aquecimento, aluguer de um espaço, etc.) e que as estruturas não ficam obsoletas nem se estragam, o único prejuízo deste stock será o custo de oportunidade financeira.

O valor do conjunto dos dois supermercados é cerca de 4000 euros mais baixo do que a solução com apenas um supermercado de produto acabado. Embora represente uma redução de quase 7%, o valor é francamente baixo dado o estágio do processo em que se ponderou fazer este *buffer*. Tendo ainda que passar pela soldadura, maquinagem e pintura, estas operações, que supostamente são as operações que injectariam muito valor nos artigos da Oxisol (dada a necessidade de utilização de fresadoras de CNC de grande porte e de soldadores especializados), acrescentam pouquíssimo valor ao produto final.

3.7 - Modo de controlo e implementação

Para implementar e controlar um supermercado de produção na Oxisol, uma fábrica que sempre esteve habituada a produzir à encomenda, será preciso inverter um pouco a lógica

quanto ao início da produção e à entrega do produto acabado. Num processo de fabrico *Make to Order*, a encomenda despoleta o início da produção de um determinado artigo ou conjunto de artigos e a sua entrega é no mínimo tão demorada quanto o seu *lead time*. Com a introdução dos supermercados, a lógica passa a ser *Make to Stock* (em Português produzir para stock). A entrega dos produtos é imediata e despoleta o início da produção do mesmo artigo que estará novamente em supermercado, no mínimo nos dias correspondentes ao seu *lead time*. Portanto, a passagem de MTO para MTS pode ser encarada “apenas” como uma alteração de encadeamento das tarefas de um mesmo processo, pelo que o sistema de produção se mantém inalterado.

Imaginemos que estamos a produzir à encomenda determinado tipo de artigos que sabemos ir produzir novamente vezes sem conta. Depois de dimensionado o supermercado, no momento em que se muda de estratégia e é definido que, a partir de uma certa altura, se vai produzir para supermercado um determinado leque de artigos, basta lançar tantas ordens de fabrico quantas o dimensionamento recomendar, uma vez que neste momento teremos o supermercado com zero artigos. À medida que o cliente, neste caso a Adira, vem buscar um artigo ao supermercado da Oxisol é lançada uma ordem de fabrico para esse artigo. Se vier buscar 2, são lançadas duas. “Uma variação da verdadeira procura nos sistemas puxados é mais comum nas *job shops* e por isso devemos medir a performance com uma taxa das horas de trabalho do que baseado numa taxa constante de artigos produzidos.” (DIXON, 2007)

Na *lean production*, o aviso para uma nova ordem de fabrico é feito através de um *kanban* de produção. *Kanban* é o nome Japonês (cada vez mais ocidentalizado) dos cartões que circulam entre o processo do fornecedor e o supermercado, independentemente de serem no mesmo espaço ou não. São afixados junto às peças imediatamente após a produção e retirados após o consumo pelo cliente, retornando ao processo para autorizar a produção e reposição dos itens consumidos, sendo a produção desta forma regida pela procura actual de um produto, uma vez que só se produz à medida que se consome.

O inventário para os artigos em supermercado tem que ser igual à quantidade referida no conjunto de todos os *kanbans*. Quando o número de *kanbans* vazios (sem peça associada) atinge um determinado nível, é iniciado o processo de reposição dos artigos correspondentes a esses *kanbans*.

O número de *kanbans* necessários para um determinado artigo ou *kit* de artigos em supermercado pode ser calculado dividindo a procura esperada durante o *lead time* desse artigo (mais um eventual stock de segurança que se queira considerar) pelo tamanho do lote de reposição, como se pode ver na fórmula,

$$K = (\text{Procura esperada durante o } \textit{lead time} + \text{Stock de segurança}) / \text{Tamanho do Lote}$$

Numa empresa com quantidades de encomenda pequenas e com muita flexibilidade de produção, um *kanban* de consumo pode representar um *kanban* de reposição.

No caso da Oxisol, para além de já termos visto que o lote de produção/reposição é igual a um, os artigos são de grande dimensão sendo facilmente perceptível a ausência de uma estrutura ou de um avental móvel em supermercado. Aliás, um sinal para o início de produção de um novo produto pode ser apenas um quadrado livre no chão sem nenhum artigo pousado dentro, significando que existe uma estrutura em falta no supermercado autorizando assim a produção dessa estrutura (Figura 3.11). Esta forma de alerta visual funciona como se fosse um *kanban* de uma unidade.



Figura 3.11 - Exemplo de gestão visual em supermercado in *Operations Management for Competitive Advantage*.

“Para estes artigos que estão a ser repostos de uma forma puxada, algumas das formas mais tradicionais, normalmente associadas ao planeamento de requisição de materiais (MRP), devem parar de funcionar. Exemplos mostram que se devem incluir lançamentos de

ordens de fabrico baseado em ordens planeadas e um controlo tradicional do chão de fábrica baseado nas regras o sistema de produção empurrado. Contudo, é típico que o planeamento por MRP continue a vigorar nas requisições aos fornecedores na compra de componentes e matéria-prima.” (GRAY, 2006)

4. Afecção da capacidade dos equipamentos

Neste capítulo, a problemática gira em torno do planeamento em ambientes *job shop*. A falta de uma ferramenta que auxilie a afecção dos artigos às fresadoras CNC não permite a optimização deste parque de máquinas extremamente caras, que será natural que seja o nosso recurso mais escasso e que queiramos rentabilizá-lo ao máximo. Para tal, será necessária a construção de uma ferramenta de apoio à decisão, capaz de sugerir, de uma forma óptima, a afecção dos artigos às máquinas. Para isso houve um processo de investigação de forma a descobrir em que máquinas determinados artigos poderiam receber as suas operações de fresagem; por outras palavras, foi necessário construir uma matriz de possibilidades de afecção “artigo *versus* máquina”. Com esta matriz, recorreu-se à programação linear para obter uma sugestão de afecção óptima dos artigos às máquinas, ou seja, para um dado conjunto de artigos, tentar produzi-los no menor período de tempo possível. Este planeamento irá também permitir o planeamento dos processos a montante, de modo a proteger o nosso *bottleneck*, assim como perceber em cada instante a ocupação de cada recurso do processo.

4.1 - A dificuldade do planeamento numa oficina de processos ou *job shop*

O processo de produção da Oxisol é um dos exemplos mais claros daquilo que é frequentemente chamado por *job shop* ou oficina de processos: “quantidades relativamente pequenas de vários produtos diferentes, utilizando um parque de máquinas universais (tornos, fresadoras...). A implementação das máquinas é realizada por oficinas funcionais que agrupam máquinas em função do tipo de tarefas que executam (torneamento, fresagem...). O fluxo de produtos é função do encadeamento das tarefas a realizar.” (PINTO, 2006)

Na Oxisol passa-se precisamente o referido atrás. Salvo as peças mais pequenas que podem ser feitas em lotes maiores, os artigos são feitos quase todos um a um, não havendo quase nenhuma vantagem em seguirem em lotes maiores. Se analisarmos o layout da Oxisol

representado na Figura 4.1, conseguimos rapidamente distinguir quatro zonas funcionais que correspondem a quatro operações chave no processo de produção.

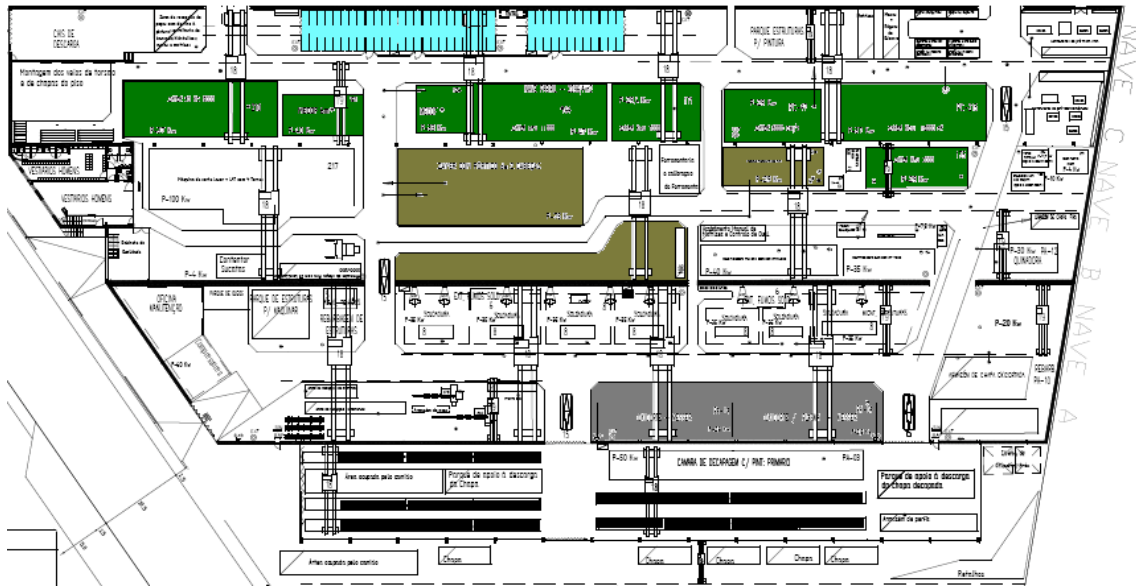


Figura 4.1 - Layout Oxisol: Cinza – Oxi-Corte; Castanho - Soldadura; Verde - Maquinagem CNC; Azul - Pintura.

Numa análise às gamas operatórias dos principais artigos, a sequência por que estas tarefas maiores são realizadas é clara: Oxi-Corte, Soldadura, Maquinagem e Pintura. Devido à natureza das tarefas, o fluxo de quase toda a produção segue esta ordem, com excepções de alguns artigos que não necessitam de uma ou mais operações e avançam directamente para a operação seguinte. De um modo muito simples, para obtermos uma estrutura de uma quinadora, por exemplo, os vários componentes precisam de ser oxi-cortados e soldados para pôr a estrutura “de pé”, passar por uma das fresadoras CNC onde vai fazer diversas operações de maquinagem, como desbastar, rectificar, furar, etc, e terá que ser pintada para, por fim, estar pronta para entrega.

É na gestão de todos estes recursos que reside a grande dificuldade do planeamento neste tipo de produção: “as máquinas ou instalações são capazes de realizar um grande número de operações; não são específicas para um determinado tipo de produto o que lhes dá uma grande flexibilidade. Por outro lado, é difícil equilibrar as tarefas numa produção descontínua, o que acarreta níveis de stock e “em curso” elevados. As indústrias metalomecânicas são exemplos deste tipo de empresas.” (PINTO, 2006)

Em muitos sistemas de produção do tipo *job shop*, a complexa tarefa de controlar as operações é executada sem qualquer tipo de ferramenta de apoio que suporte os processos de tomada de decisão. O pessoal responsável pelo controlo das operações é obrigado a tomar decisões rápidas apenas com base na experiência, no bom senso e no progresso das tarefas em tempo real, empurrando uma nova tarefa para o centro de trabalho que ficou livre, sem qualquer critério sustentado por mais informação ou planeamento prévio. O critério destes responsáveis tende a ser também muito reactivo às solicitações vindas das diferentes fontes (comercial, armazéns, fornecedores, planeamento, manutenção, qualidade, etc.), o que de facto não permite o planeamento nem a coordenação do fluxo de materiais no chão de fábrica.

4.2 - A necessidade de uma ferramenta de apoio à afectação dos artigos aos equipamentos

Como já foi referido atrás, neste processo de produção *job shop* existe um parque de fresadoras CNC que são o recurso que deve limitar a cadência produtiva de toda a fábrica, o que faz sentido uma vez que estas máquinas são muito caras e é praticamente imposto pelo bom senso que se rentabilizem ao máximo. “Um *bottleneck* deve ser uma máquina, uma operação com um nível de dificuldade muito elevada ou uma ferramenta especial.” (CHASE, 2004)

Se esta cadência for menor do que a procura, então este recurso será considerado um *bottleneck*. Se por outro lado a capacidade destas máquinas for superior ao que é exigido, então estas máquinas representarão apenas um recurso com uma capacidade restrita, que “é aquele em que a sua utilização está perto da sua capacidade e pode ser um *bottleneck* se não for planeada e calendarizada cuidadosamente.” (CHASE, 2004)

Com estas definições, reparamos que uma das informações mais importantes que precisamos recolher do processo é precisamente saber se estamos na presença de um *bottleneck* ou de um CCR (*Capacity Constrained Resource*) ou, por outras palavras, se o nosso recurso mais limitado tem capacidade para responder a uma determinada procura. De uma

forma ou de outra, a programação e uma boa gestão deste centro de trabalho é simplesmente obrigatória.

4.3 - A problemática das gamas operatórias

Com o nosso objectivo mais claro, temos agora que nos concentrar um pouco mais nos pormenores característicos da Oxisol e dos artigos que fabrica. Na Figura 4.2 temos um exemplo de uma gama operatória, neste caso de uma estrutura de uma quinadora PM-11030.

Operaç.	Tar.	CtT	Máqui.	Prep.	Tmpto/Peça	Dat.int.	Data vc.	Txt.
10 / 1	255	SOLDAR SEMI-A	255	255019	0	240,000	12/03/02	0
15 / 1	255	SOLDAR SEMI-A	255	255019	0	270,000	01/09/03	0
20 / 1	255	SOLDAR SEMI-A	255	255020	0	240,000	12/03/02	0
25 / 1	255	SOLDAR SEMI-A	255	255019	0	270,000	01/09/03	0
30 / 1	291	REBARBAR	291	291200	0	0,000	12/03/02	0
40 / 1	431	DESEMPENAR	431	431007	0	0,000	12/05/03	0
50 / 1	135	FREZAR (ZAYER)	135	135012	0	600,000	11/03/09	20771
59 / 1	411	PINTURA	411		0	900,000	14/10/02	0
60 / 1	999	CONTROLO	999		0	0,000	12/05/03	0

Figura 4.2 - Gama operatória de uma estrutura da PM - 11030.

Nas operações de oxi-corte, soldadura e pintura, os postos de trabalho são vistos como um conjunto de operadores (com auxílio de equipamentos especializados) que conseguem

executar, em todos os artigos, as operações respeitantes à sua área de acção. Por exemplo, um trabalhador a menos num dado departamento representa uma diminuição de capacidade de 40 horas semanais, mas tal não impede que continue a ser feito todo o tipo de artigos.

No departamento de maquinagem o caso muda de figura: é um parque de máquinas (neste caso fresadoras CNC) em que todas elas têm características diferentes. Os artigos são afectados às máquinas que mais se adequam à sua geometria e às operações de fresagem que necessitam. Se o operador da melhor máquina por ventura faltar, bastantes artigos não poderão ser maquinados ou então demorarão muito mais tempo noutras máquinas menos adequadas para fazer as mesmas operações.

Uma informação muito útil que conseguimos tirar desta gama operatória é que fazer o conjunto de operações de maquinagem para este artigo demora sensivelmente 600 minutos, executadas no centro de trabalho 135. O centro de trabalho 135 corresponde ao conjunto das 6 fresadoras CNC da marca *Zayer*, da mesma forma que o centro de trabalho 131 corresponde ao conjunto das máquinas da marca *Meccof*. Até aqui não parece haver nenhum problema... ou pelo menos não seria um problema se todas as máquinas fossem iguais e tivessem as mesmas características geométricas e de funcionamento, o que não é o caso, uma vez que todas as máquinas são de modelos diferentes e têm potencialidades diferentes. Por isso, não será qualquer máquina do centro de trabalho 135 a conseguir executar o conjunto específico de operações de maquinagem necessário para um determinado artigo. Ou seja, tudo isto para explicar que o planeamento de afectação dos artigos a estas máquinas não pode ser feita com base apenas na capacidade dos centros de trabalho. Imagine-se o seguinte caso: é preciso maquinar uma estrutura com uma dimensão e um conjunto de operações, tal que só possam ser realizadas na *Zayer* nº 215. Mesmo que o centro de trabalho 135, que inclui esta e mais 5 máquinas, tenha capacidade para maquinar este artigo na próxima semana, esta *Zayer* pode já estar ocupada ou reservada para outras operações. Assim, uma estrutura que supostamente estaria maquinada na próxima semana só ficará pronta daqui a duas ou três semanas (Figura 4.3).

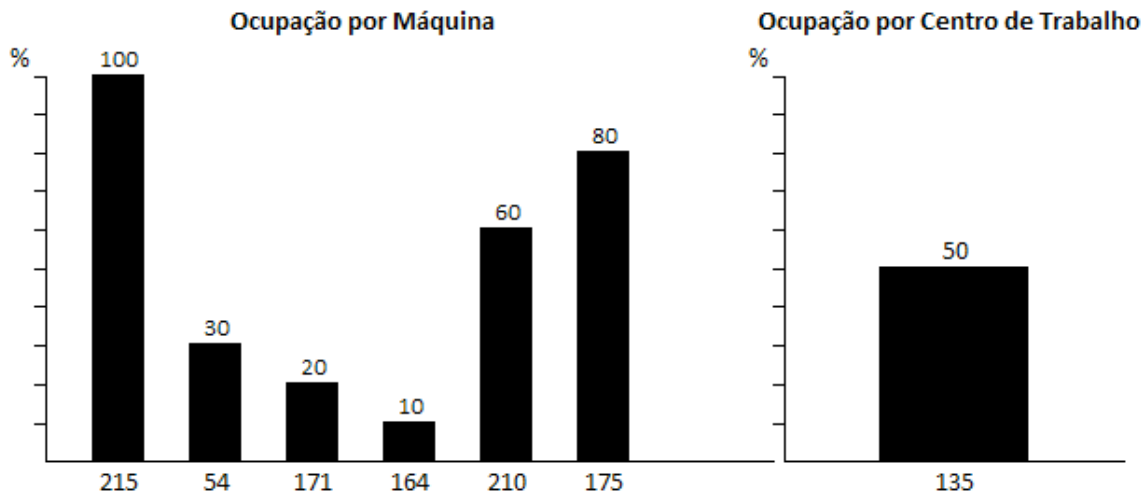


Figura 4.3 - Exemplo de cargas por máquina e respectivo centro de trabalho.

4.4 - Motivação para a Construção do Programa

Por volta dos anos 80 (do século XX), Eliyahu Moshe Goldratt, o mesmo físico israelita que se tornou consultor industrial e empresarial e que mais tarde viria a elaborar a teoria das restrições, achava que os fabricantes da época não estavam a fazer um bom trabalho no planeamento e no controlo dos seus recursos e do seu inventário. De modo a resolver este problema, Goldratt e os seus associados numa empresa chamada Creative Output desenvolveram um software designado OPT (*Optimized Production Technology*). Esta “tecnologia óptima de produção” planeava a produção com bastante precisão e podia ser corrido num computador em muito menos tempo do que seria preciso para correr um sistema MRP. Isto porque a lógica de planeamento era baseada na separação das operações restritivas e não-restritivas. (CHASE, JACOBS e AQUILANO, 2004)

Neste contexto, achei que também poderia dar a minha contribuição e ajudar o pessoal responsável na gestão deste parque de máquinas e construir uma ferramenta de apoio à decisão, mais propriamente de suporte à afectação dos artigos aos postos de trabalho. Se nos anos 80 os programas de computador eram caríssimos e inacessíveis a muitas empresas, hoje em pleno século XXI até um programa corrente como o Microsoft Office Excel® que está instalado em praticamente todos os computadores tem capacidade para gerir

eficientemente este parque de máquinas e sugerir uma afectação óptima (ou muito perto disso) dos artigos às máquinas para um dado espaço de tempo.

O que um programa de computador faz é basicamente manipular as entradas com determinados critérios e devolver uma saída. Transpondo esta lógica para o nosso problema, a ideia seria construir um programa em que os dados de entrada fossem os artigos que se pretendem produzir num determinado espaço de tempo e o ideal seria que o programa devolvesse como informação de saída uma afectação óptima (ou muito perto disso) desses artigos às máquinas, consoante determinadas restrições técnicas e de capacidade das máquinas. Este é um exercício de sucessivas iterações que sem o auxílio de um computador se torna extremamente complexo.

Portanto, para qualquer ferramenta é necessária uma informação de input ou dados de entrada. Neste caso, esta informação é, para cada artigo, saber quanto tempo demora o conjunto das suas operações de maquinagem. As restrições técnicas serão as máquinas CNC nas quais um artigo não poderá realizar as suas operações de maquinagem, ou se quisermos, para cada artigo saber quais as fresadoras CNC capazes de efectuar as suas operações de maquinagem enquanto as restrições de capacidade serão impostas pelo número de horas que cada máquina está a trabalhar num dado período de tempo. E finalmente as saídas, que será uma sugestão de afectação de artigos às máquinas que irá variar consoante os dados de entrada introduzidos e as restrições impostas.

4.5 - A programação linear

Depois desta informação claramente definida, terá que se encontrar uma forma de a transformar numa informação que seja útil na decisão de afectação dos artigos às máquinas. Uma informação com a qual se possa ter a certeza que o conjunto de artigos postos a maquinar em cada uma das fresadoras CNC é o conjunto certo, de modo a que o parque de máquinas esteja optimizado. Optimizado não num sentido de ser apenas uma boa opção, mas num sentido matemático que assegura a escolha do melhor elemento de uma gama de alternativas disponíveis, neste caso, escolher o melhor conjunto de artigos para afectar a cada máquina.

Os problemas de afectação clássicos envolvem a afectação de trabalhadores a tarefas em que o objectivo é que estas sejam concluídas num tempo total mínimo. Estes tipos de problemas podem ser convertidos em problemas de transportes, considerando-se os operários como origens e as tarefas como destinos. Desta forma, podemos resolver os problemas de afectação através da programação linear.

A programação linear refere-se a várias técnicas matemáticas relacionadas que são usadas para alocar, entre recursos limitados, determinadas exigências de uma forma óptima. Na gestão moderna, a programação linear é usada para tentar maximizar lucros ou reduzir custos com recursos limitados.

“Existem cinco condições essenciais num problema de programação linear. Primeiro, os recursos devem ser limitados (como um número limitado de empregados, equipamento, finanças, e material); de outra forma não haverá um problema, propriamente dito. Segundo, o objectivo deve ser explícito (como maximizar o lucro ou minimizar um custo). Terceiro, tem que haver linearidade (dois é o dobro de um, se uma peça demora 3 horas a fazer, então duas peças deverão fazer-se em 6 horas, e três peças em 9 horas). Quarto, tem que haver homogeneidade (os produtos fabricados numa máquina são idênticos, ou todas as horas disponíveis de um trabalhador são igualmente produtivas). Quinto, é a divisibilidade: a programação linear normal assume que os produtos e os recursos podem ser subdivididos em fracções. Se esta subdivisão não for possível (como voar em meio avião ou contratar um sexto de uma pessoa), pode ser usada uma modificação na programação linear chamada de programação inteira.” (CHASE, JACOBS e AQUILANO, 2004)

Assim, a programação linear poderá ser a base para apoiar as decisões a nível do planeamento da Oxisol. Como referido atrás, para resolver um problema de programação linear, a primeira coisa a estabelecer é um objectivo explícito e linear, como maximizar um lucro, minimizar um tempo ou até igualar uma quantia. Num primeiro instante, neste esforço em afectar o melhor conjunto de artigos possível às máquinas, a tentação será estabelecer um objectivo ao estilo de Goldratt, como maximizar o nosso lucro ou minimizar os gastos de produção. Este é, sem dúvida, o espírito certo para este tipo de problemas, mas será possível vender ao cliente apenas o produto que dá mais lucro? Ou será que é o cliente que encomenda o que mais lhe convém e a Oxisol, como fornecedor exemplar, deverá responder da melhor forma possível a esta encomenda? Optando pela segunda estratégia, o que queremos é tirar o melhor partido de um recurso limitado, neste caso o parque de

fresadoras CNC. Entenda-se “tirar o melhor partido” como, para um dado conjunto de artigos, conseguir maquiná-los o mais rápido possível.

4.6 - Elaboração do programa de sugestão de afectação das máquinas

Pode afirmar-se com total segurança que o tempo que estas máquinas trabalham num determinado período não é infinito. Esta afirmação justifica-se simplesmente porque “o tempo tem tanto quanto tempo o tempo tem!”, ou seja, o máximo de tempo que uma máquina poderá trabalhar por dia é de 24 horas. Na Oxisol, o tempo que as fresadoras trabalham por dia é usualmente expresso por turnos de 8 horas, estando previamente definido o número de turnos que cada máquina opera. Outro facto do qual não se duvida é o das operações de maquinagem ocuparem tempo nas fresadoras CNC. O problema é saber quanto tempo de máquina requer o conjunto de operações de maquinagem de um determinado artigo e ainda em que máquinas é que essas operações podem ou não ser realizadas.

Mesmo com a problemática das gamas operatórias na Oxisol, estas são extremamente úteis para a primeira parte deste problema porque discriminam o tempo que é previsto gastar nas diversas operações, incluindo as de maquinagem. No entanto, para se conseguir gerir e planear convenientemente a afectação destas máquinas, torna-se imperativo resolver a segunda parte do problema: para um determinado artigo, saber em que máquinas podem ser feitas as suas operações de maquinagem.

Folhear todos os manuais das *Zayers* e *Meccofs* (as marcas das fresadoras CNC) para perceber que tipo de operações de fresagem que cada uma delas consegue executar, e posteriormente cruzar essas características com as operações de fresagem necessárias para cada artigo, seria um processo extremamente moroso e algo deficiente, uma vez que existem detalhes de comodidade e de adaptabilidade das máquinas e dos artigos que os manuais não contemplam. Contudo, esta informação pode ser obtida de uma outra forma bem mais simples e fiável: podemos consultar o registo do trabalho das máquinas do último ano e ver que artigos foram lá maquinados. Mais simples ainda, pesquisou-se para cada artigo em que fresadoras CNC foram efectuadas as suas operações de maquinagem. Esta

informação foi analisada e rectificada pelo responsável das operações de maquinagem na Oxisol, que é quem decide a máquina onde cada artigo será maquinado a cada instante. Com esta pesquisa do histórico do ano passado, juntamente com a pessoa responsável pela afectação das máquinas e com a opinião dos próprios operadores CNC, conseguiu-se para cada artigo construir uma matriz que resulta da multiplicação do tempo de maquinagem de um determinado artigo com uma matriz de possibilidades de afectação desse artigo a cada uma das fresadoras CNC. No fundo, é uma matriz que, para cada artigo, expõe o tempo de ocupação em cada máquina possível de maquinar esse artigo; o número de linhas corresponde ao número de hipóteses e as 7 colunas são as 7 máquinas operacionais na Oxisol. Se o cruzamento da linha com a coluna não for zero, significa que esse artigo pode ser maquinado nessa máquina e que o tempo dessa célula corresponde ao número de horas que as operações de maquinagem ocupam, normalmente o mesmo tempo presente na gama operatória. O que acontece muitas vezes na Oxisol, de maneira a permitir ainda uma maior flexibilidade, é dividir as operações de maquinagem de um artigo por duas máquinas (Figura 4.4).

Op.	Código	Descrição do Artigo	G.O. [min]	210	151	164	171	53	215	175
135	6XQ-24336M	MESA 90x70mm PG-30110 & PG-30160	840						14,0	14,0
					7,0				7,0	
					7,0					7,0

Figura 4.4 - Matriz de tempo de maquinagem vs possibilidade de afectação às máquinas para o artigo 6XQ - 2433M.

Como se pode ver na Figura 4.4, cada artigo tem mais do que uma opção de afectação. Esta mesa 90x70mm das novas PM-11030 e PM-16030 poderá ser maquinada integralmente nas máquinas número 175 e 215 ocupando 14 horas, ou então poder-se-á dividir entre estas e a máquina número 151 que faz metade das operações, ocupando assim 7 horas em cada uma. É importante referir que estes tempos já contemplam as mudanças de posição das peças nas máquinas. Por isso, por factores de simplicidade do modelo, considerar-se-á que o tempo de maquinagem referido nas gamas operatórias será igual ao tempo de ocupação nas máquinas, não considerando o tempo de *setup* (que veremos mais à frente), podendo este tempo ser compensado com um factor de folga na capacidade das máquinas.

Em princípio, este tipo de informação não se alterará com muita frequência (apenas quando houver alterações ao nível da engenharia ou quando for adquirida uma nova fresadora CNC), por isso não será um campo que o utilizador esteja constantemente a alterar. Deve sim continuar a acrescentar mais variedade de artigos e possibilidades de afectação para que a aplicação do programa seja cada vez mais vasta e a sua sugestão de afectação seja cada vez melhor. O que irá variar bastante será a quantidade de cada artigo que queremos produzir. Por isso, a esta matriz teremos que ser capazes de multiplicar por uma quantidade de produção desejada (Figura 4.5), para que tenhamos as horas totais de ocupação nas máquinas para um dado período de tempo.

Descrição do Artigo	G.O. [min]	210	151	164	171	53	215	175	Quantidade
MESA 90x70mm PG-30110 & PG-30160	840						14,0	14,0	15
							7,0		
		7,0					7,0	7,0	

Figura 4.5 - Célula de inserir quantidade.

Nesta altura, temos as entradas de quantidade dos artigos que desejamos e ainda a restrição de possibilidade de afectação. Agora, uma vez que este problema é iterativo, ter-se-á que criar um campo que permita ao programa alterar os valores de forma a encontrar a solução óptima, valores estes que correspondem à sugestão do número de peças a maquinar em cada hipótese de afectação. No fundo, será esta coluna o propósito deste programa, uma vez que será nesta coluna que a programação linear devolverá a afectação óptima dos artigos às hipóteses de afectação disponíveis (Figura 4.6).

210	151	164	171	53	215	175	Quantidade	210	151	164	171	53	215	175	Onde
					14,0	14,0	15	0	0	0	0	0	0	56	4
					7,0			0	0	0	0	0	42	0	3
7,0					7,0			0	35	0	0	0	35	0	5
7,0					7,0			0	21	0	0	0	0	21	3

Figura 4.6 - Coluna de sugestão de afectação por alteração dos valores.

Para a mesma mesa vista atrás (e condicionado a algumas restrições que iremos ver a seguir) o programa sugere que, por exemplo, das 15 mesas que se pretendem maquinar, sejam maquinadas 4 na 175, 3 na 215, 5 divididas entre a 151 e a 215 e finalmente 3 divididas entre a 151 e a 175, como podemos ver na coluna "Onde".

O número de estruturas a maquinar segundo cada hipótese irá implicar uma diferente ocupação nas máquinas. Por isso, teremos que multiplicar cada linha de possibilidade de afectação pelo número de estruturas que vão ser maquinadas segundo essa opção. Assim, se somarmos o valor da ocupação das máquinas em cada coluna (correspondente a cada máquina), teremos a influência total desta ocupação por máquina conforme a sua capacidade, representada na Figura 4.7.

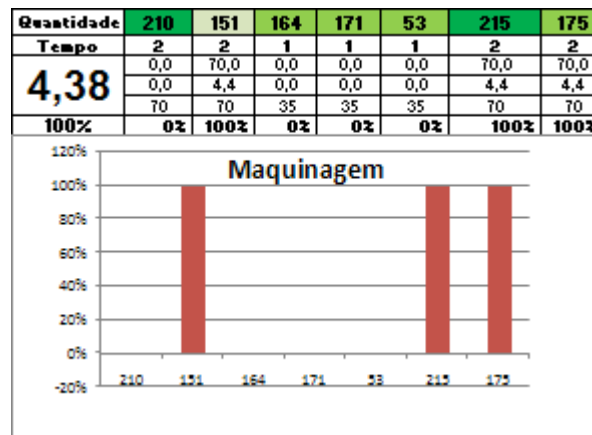


Figura 4.7 – Gráfico do estado de ocupação do parque de máquinas e período de dias de afectação.

A capacidade de cada máquina é função do número de turnos que trabalha por dia e do número de dias que trabalha. Dado que o número de turnos diários que cada máquina trabalha está previamente definido, a única variável capaz de aumentar a capacidade de uma máquina é os dias que trabalha. Como a ocupação das máquinas não poderá ultrapassar a sua capacidade (restrição de capacidade), seria útil saber-se qual o tempo mínimo de necessário para maquinar um dado conjunto de artigos, ou seja, a afectação de artigos às máquinas de forma a precisar do menor número de dias. Esta será a função objectivo do programa.

Ao perceber-se o raciocínio de construção do programa, podemos tentar agora “explicá-lo” ao Solver (uma aplicação da Frontline® para o Microsoft Office Excel®) linearmente, de forma a ser capaz de sugerir uma afectação óptima consoante as entradas. Veja-se o interface desta aplicação para que se perceba como é possível transformar este raciocínio em programação linear, de modo a que o Solver o consiga resolver (Figura 4.8).

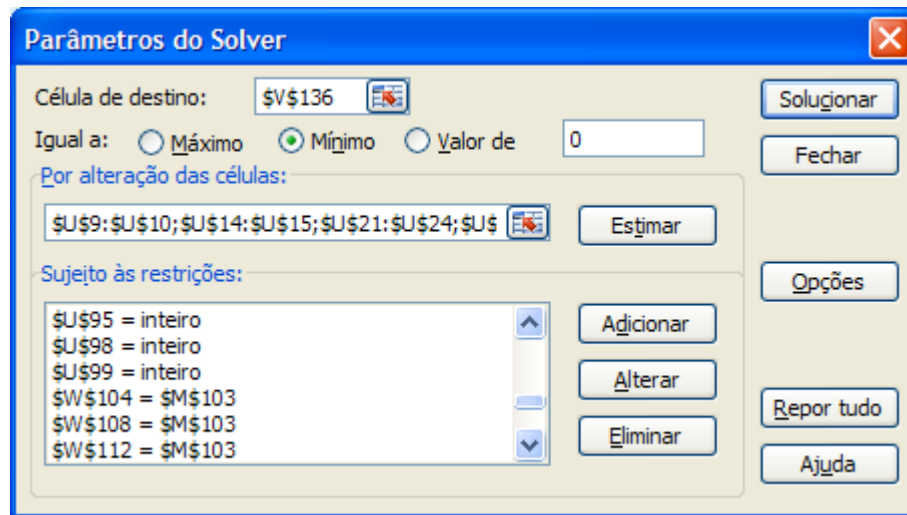


Figura 4.8 - Janela do Solver.

No campo em que é pedida a célula de destino, deve seleccionar-se a célula correspondente à nossa função objectivo, ou seja, será a função (na programação linear terá que ser linear) que reflecte o nosso objectivo. Neste problema, como já vimos anteriormente, pretende-se encontrar o tempo (ou número de dias) mínimo necessário para maquinar um dado conjunto de artigos. Portanto, a função que descreve o objectivo deste problema é minimizar os dias de trabalho necessários para que um determinado conjunto de artigos fique todo maquinado. Aliás, como entre estas máquinas também haverá uma a limitar o processo (*bottleneck*), a função objectivo será minimizar o tempo de ocupação na máquina que requeira o maior número de dias para ver cumprido o objectivo de todas as máquinas: maquinar todos os artigos introduzidos no programa (Figura 4.9).

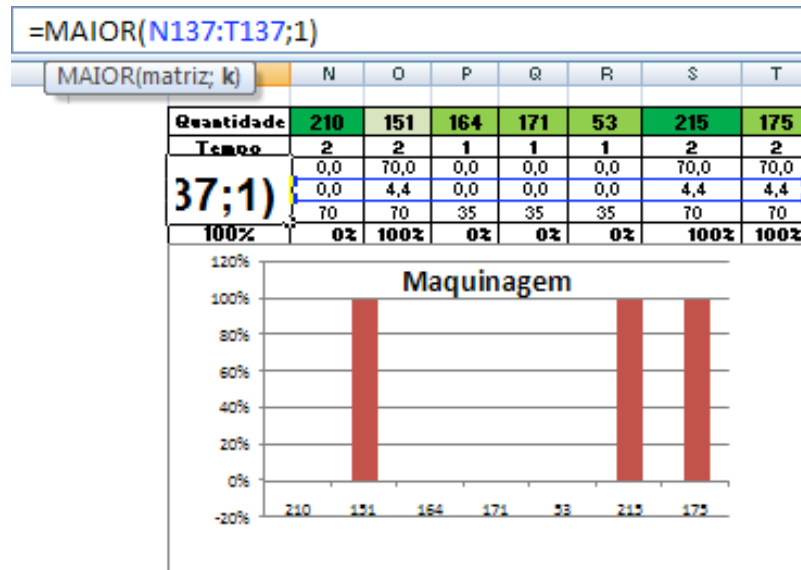


Figura 4.9 - Célula de Excel da função objectivo.

Com a célula da função objectivo definida, teremos que dar instruções para definir as células nas quais o programa está autorizado a alterar para que consiga atingir a função objectivo. Estas células serão, como visto atrás, as células da coluna “Onde”, que serão também as células de saída para sugerir o número de artigos a maquinar em cada opção de afectação

Contudo, se o problema fosse apenas definir uma função objectivo, onde se pretende minimizar o tempo total de ocupação das máquinas por alteração do número de artigos a maquinar em cada fresadora CNC, não seria necessário um computador para encontrar a solução óptima: alterando o número de artigos a maquinar em cada hipótese de afectação para zero, não teria nenhuma ocupação nas máquinas e a condição de ocupação mínima possível nas máquinas teria sido satisfeita, uma vez que, considerando uma restrição de não-negatividade (impede a alteração dos valores para números negativos), não existe valor mais baixo do que zero, ou seja, o melhor seria não maquinar nada! Por isso, terá então que se estabelecer um valor mínimo de afectação, que terá que ser obrigatoriamente igual ao valor da quantidade de artigos a maquinar introduzido pelo utilizador (Figura 4.10). Então, a função objectivo terá que estar sujeita à seguinte restrição: a soma dos artigos maquinados em cada hipótese de afectação terá que ser igual à quantidade total que se pretende maquinar desse artigo.

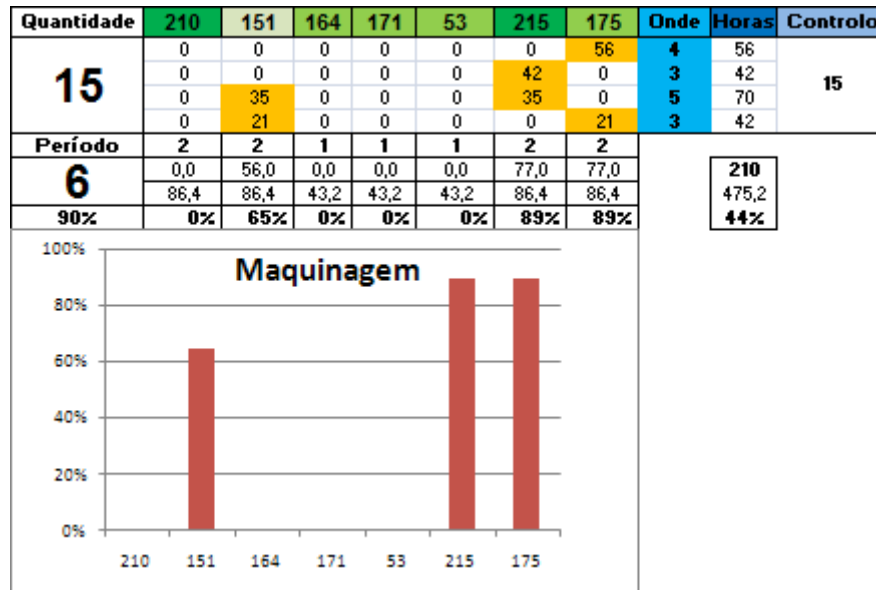


Figura 4.10 - Célula de controlo igual à célula de quantidade.

Para além desta restrição de controlo, existe também a já referida restrição de capacidade, onde a percentagem de capacidade das máquinas definida pelo utilizador não pode ser excedida e a restrição de programação inteira, que vem obrigar o programa a fazer as suas iterações por alteração de números inteiros, de forma a não sugerir fracções de hipóteses de afectação.

Todo este raciocínio de construção deste programa foi exposto para o artigo 6XQ-24366M, que corresponde à mesa das quinadoras “Guimadira” de 3 metros. Mas se nesta programação se considerar a informação acerca da maquinagem de todos os artigos que estão em espera para “entrar a maquinar”, adivinha-se que esta ferramenta pode ser extremamente poderosa e servir de apoio à afectação desses artigos às fresadoras CNC. Imagine-se que estão prontas para maquinar 3 estruturas e 3 aventais móveis da quinadora PM – 11030, 3 estruturas e 3 porta-lâminas da guilhotina SM – 0630, 3 mesas 90x70mm e ainda 3 réguas do esbarro. O programa decide qual a afectação dos artigos às máquinas para que o tempo necessário seja mínimo. Como podemos ver na figura 4.11, a coluna azul “Onde” recomenda que, por exemplo, que as estruturas das guilhorinas sejam maquinadas uma em cada máquina e que as réguas do esbarro sejam todas maquinadas na *Zayer* 215.

Descrição do Artigo	Quantidade	210	151	164	171	53	215	175	Ord	Horas	Ctrl
BASE DO CILINDRO PG-30110	3	0	0	0	0	0	0	3,75	3	3,75	3
CORPO DA ESTRUTURA PG-30110											
CORPO DA ESTRUTURA PG-30110											
CORPO DA ESTRUTURA PG-30110											
CORPO DA ESTRUTURA PG-30110		10	0	0	0	0	0	0	1	10	
CORPO DA ESTRUTURA PG-30110		0	0	0	0	0	20	2	20	3	
CORPO DA ESTRUTURA PG-30110											
AVENTAL MÓVEL PG-30110	3	0	0	0	24	0	0	0	2	24	3
AVENTAL MÓVEL PG-30110		12	0	0	0	0	0	0	1	12	
RÉGUA DO ESBARRO PM-110/16030	3	0	19,5	0	0	0	0	0	3	19,5	3
RÉGUA DO ESBARRO PM-110/16030		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MESA 90x70mm PG-30110 & PG-30160	3	0	0	0	0	0	42	0	3	42	3
MESA 90x70mm PG-30110 & PG-30160		0	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0,01	
MESA 90x70mm PG-30110 & PG-30160		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AVENTAL DO PORTA-LÁMINAS SM-0630	3	0	0	0	0	15	0	0	3	15	3
CORPO DO PORTA-LAMINAS SM-0630											
CORPO DO PORTA-LAMINAS SM-0630		0	9	0	0	12,5	0	0	1	21,5	3
CORPO DO PORTA-LAMINAS SM-0630		0	4,3	0	0	0	0	0	2	4,3	
CORPO DO PORTA-LAMINAS SM-0630											
CAIXÃO SM-0630	3	0	0	0	0	0	0	22,5	3	22,5	3
CAIXÃO SM-0630											
BARRA FIX. LÁMINA		0	0	0	0	0	0	16,5	3	16,5	3
CONJ. CAIXÃO P/ MAQUINAGEM		0	0	0	0	0	0	25,5	3	25,5	3
CONJ. CAIXÃO P/ MAQUINAGEM											
CONJ. CAIXÃO P/ MAQUINAGEM											
CORPO DA ESTRUTURA SM-0630	3	0	0	7	0	0	0	0	1	7	
CORPO DA ESTRUTURA SM-0630											
CORPO DA ESTRUTURA SM-0630		0	0	0	7	0	0	0	1	7	3
CORPO DA ESTRUTURA SM-0630		0	0	0	0	7	0	0	1	7	

Figura 4.11 - Layout do programa com artigos a produzir e respectiva afectação óptima.

Uma vez que esta afectação sugerida é a óptima, sabemos que este conjunto de produtos demorará 4 dias e meio a ser todo maquinado e que a ocupação das máquinas será a representada no gráfico da Figura 4.12.

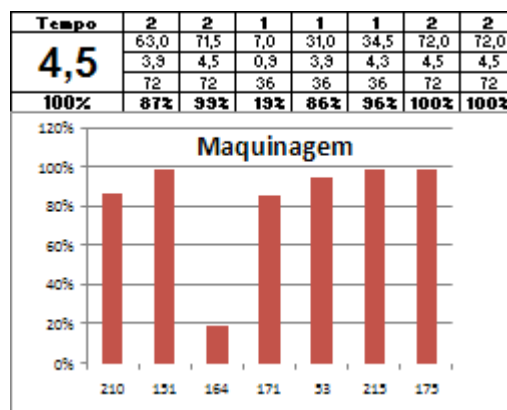


Figura 4.12 - Estado de ocupação das máquinas e o número de dias mínimo para a afectação.

Com este simples programa feito e executado em Excel conseguir-se-á escoar “optimamente” os produtos a montante desta máquinas, uma vez que indica ao utilizador que artigos deverá colocar em cada máquina de forma a conseguir maquinar o máximo de

artigos possível. Esta ferramenta consegue, portanto, afectar os artigos às máquinas de uma forma óptima, ajudando assim a Oxisol a praticar uma gestão eficiente deste parque de máquinas.

Este programa não sugere a ordem pela qual se deve colocar os artigos nas máquinas porque, em termos de capacidade, é indiferente. Será o responsável pela produção a ter os seus critérios de prioridade e decidir a ordem de afectação às máquinas. É importante referir que é uma boa política começar pelas operações mais curtas porque, para além de haver estudos mostrando que geralmente este critério tem uma média de atrasos de entrega menor do que o critério da data de entrega mais próxima, aumenta o fluxo da produção.

4.7 - Identificação do bottleneck/CCR (*Capacity Constrained Resource*)

Como já foi referido anteriormente, é de extrema importância saber em cada instante qual o recurso mais limitado que estrangula a produção. Se para a entrada do programa tivémos que consultar as gamas operatórias de cada artigo para saber a duração das suas operações de maquinagem, podemos também recolher a informação das demais operações, principalmente as de soldadura e pintura. Se multiplicarmos os tempos destas operações pelo número de artigos que se deseja maquinar conseguimos saber a carga destes artigos nessas operações. Assim, para cada conjunto de artigos que se pretende maquinar num dado período de tempo, conseguimos perceber se realmente a maquinagem é ou não o ponto mais crítico (Figura 4.13).

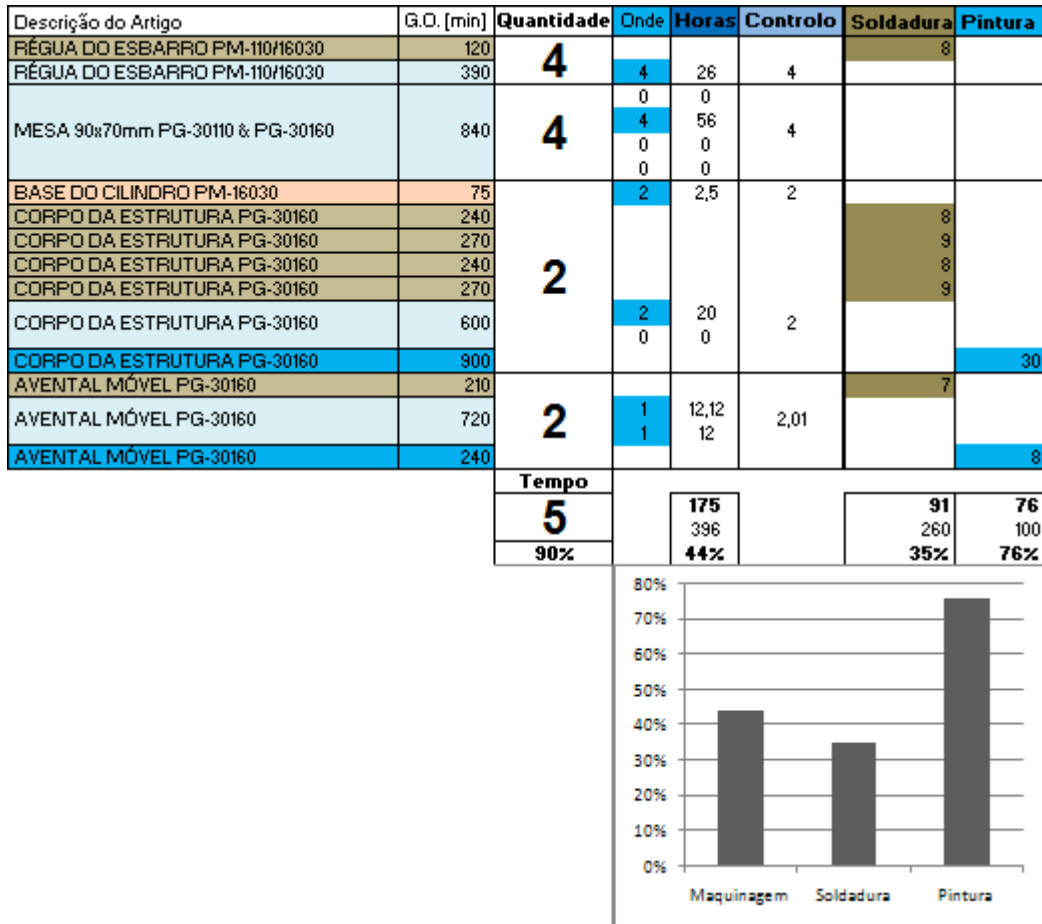


Figura 4.13 - Estado da Maquinagem, Soldadura e Pintura.

Neste caso da figura, podemos ver pelo gráfico que, com este conjunto específico de artigos, a pintura é recurso mais crítico. Perante este cenário, o responsável pelas operações poderá decidir se prefere pagar horas extra aos pintores de forma a continuar a rentabilizar o parque de fresadoras CNC ou se o melhor será abrandar a produção a montante de forma a evitar que se crie um “em curso” elevado, abdicando assim um pouco da disponibilidade das máquinas.

5. OEE – Índice de Eficiência Global do Equipamento

O OEE, iniciais da definição em Inglês *Overall Equipment Effectiveness*, é um indicador de eficiência de máquinas e/ou processos comuns. É uma forma de apresentar a eficiência de uma máquina ou conjunto de máquinas, de um modo visual, simples e intuitivo, característico da produção *lean*. Isto permite identificar problemas de produção complexos e ajuda a melhorar sistematicamente os processos através de cálculos e medições relativamente fáceis de obter.

O OEE separa o desempenho de uma unidade de produção em três componentes medíveis: Disponibilidade, Rendimento, e Qualidade. Estes são os parâmetros usados para medir a eficiência do equipamento de uma fábrica, em que cada um aponta para um aspecto do processo que pode ser melhorado. Desde o tempo disponível das máquinas para trabalhar até ao tempo em que as máquinas estão efectivamente a acrescentar valor aos produtos fabricados, o OEE consegue mostrar as perdas de produtividade que ocorrem no entretanto.

Se formos capazes de identificar e quantificar este peso (normalmente em tempo) seremos eficazes no ataque a este problema, focando-nos naqueles que são mais críticos. Para isso, torna-se muito importante saber o que as máquinas estão a produzir e perceber o porquê de quando estão paradas.

Veja-se na seguinte fórmula o cálculo do indicador OEE e como as suas três componentes se relacionam.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Rendimento} \times \text{Qualidade}$$

A parcela “Disponibilidade” da equação mede uma percentagem de tempo do equipamento ou operação que está a funcionar comparado com o tempo disponível. Por exemplo, se uma máquina está disponível para funcionar 420 minutos mas só esteve a funcionar 340 minutos, então a disponibilidade é de 81% (340/420). Os 80 minutos em que a máquina esteve parada podem representar avarias, tempo de setup ou qualquer outro tempo que tenha impedido a máquina de trabalhar (Figuras 5.1 e 5.2). Note-se que o tempo de paragem planeado previamente, como as horas de almoço, acções de manutenção preventiva e até o tempo que a empresa decidiu não pôr a máquina a trabalhar, não é contabilizado.



Figura 5.1 - Tempo disponível in *slides OEE Kaizen Institute*.



Figura 5.2 - Tempo de produção in *slides OEE Kaizen Institute*.

A parcela “Rendimento” mede a velocidade de operação (ou performance) da máquina comparada com a sua máxima capacidade. Imagine-se que esta máquina está preparada para produzir 1 peça por minuto. Se em 340 minutos só foram produzidas 270 peças, então a performance é de 79% ($270/340$), que não é mais do que a divisão do tempo de produção teórico com o real (Figura 5.3). Se descontarmos esta perda por rendimento ao tempo de produção consegue perceber-se quanto deste tempo foi o útil em que a máquina deveria produzir.



Figura 5.3 - Tempo útil in *slides Oee Kaizen Institute*.

A parcela “Qualidade” da equação é o número de peças boas produzidas comparado com o número total de peças feitas. Se dessas 270 peças só 250 delas estão dentro dos parâmetros de qualidade, então o nível de qualidade está a 93% ($250/270$) (Figura 5.4).



Figura 5.4 - Tempo efectivo in *slides OEE Kaizen Institute*.

Se aplicarmos este exemplo à fórmula do OEE, obtemos: $OEE = 81\% \times 79\% \times 93\% = 60\%$

Como se pode ver, um índice OEE de 100% requer que a máquina produza com toda a qualidade e à velocidade máxima durante todo o seu tempo disponível.

O OEE é uma excelente forma de comunicar as oportunidades de melhoria a toda a gente, incluindo operadores, técnicos de manutenção, engenheiros e gestores. A maioria das ferramentas de produção *lean* trabalham em conjuntos para criar valor no sistema e eliminar desperdício. O OEE é um bom exemplo destas ferramentas de integração. O OEE é uma poderosa ferramenta, especialmente quando combinada com outras ferramentas *lean*.

5.1 - Adaptações do cálculo do OEE na Oxisol

Como a maioria das ferramentas *lean*, o OEE foi pensado e constantemente abordado como uma ferramenta aplicável nas grandes indústrias de produção contínua e repetitiva. No caso da Oxisol, um típico ambiente de uma *job shop*, será necessário fazer algumas alterações de interpretação deste índice tão útil e intuitivo.

Recordemos as parcelas do cálculo OEE: Disponibilidade, Rendimento e Qualidade. A primeira será a parcela que requererá menos adaptações pois a abordagem clássica consegue perfeitamente adaptar-se a este parque de máquinas, uma vez que serão as avarias, os tempos de setup, as paragens pequenas e outro tipo de tempos em que a máquina esteja parada, que irão também na Oxisol diminuir o tempo de produção das máquinas.

Para contabilizar o rendimento, como o tamanho do lote é unitário, não deveremos medir o número de peças produzidas por espaço de tempo mas sim o tempo que a máquina demora a maquinar um determinado artigo. Dividindo o tempo padrão de maquinagem (referido nas gamas operatórias) e o tempo que uma determinada máquina demorou a efectuar as operações de maquinagem nesse artigo, obtemos o rendimento da máquina. Se utilizarmos os exemplos dados atrás, uma estrutura da Oxisol que, segundo a gama operatória, demore 10 horas a maquinar e foi maquinada em 20 horas, então a sua performance é de 50% (10/20).

Em relação à qualidade, também não deverá ser abordada pela percentagem de peças defeituosas, pelo que todos os artigos maquinados terão que se enquadrar na gama de qualidade definida pela empresa. O que pode acontecer é um determinado artigo não ter ficado bem à primeira e ser necessário voltar à fresadora CNC para refazer alguma operação. Neste caso de “retrabalho”, embora a fresa da máquina não esteja parada, é considerada uma perda por qualidade, uma vez que este tempo em que repete uma operação, é tempo que um novo artigo não está a ser maquinado. Assim, se a mesma estrutura que demora 10 horas a maquinar teve que voltar à fresadora CNC, porque, por exemplo, foi desbastada mais de um lado do que de outro, e demorou 2 horas para rectificar este problema, então a perda por falta de qualidade foi de 83% (10/12).

5.2 - Modo de Implementação

A grande questão neste momento é como se conseguirá obter toda esta informação em relação aos tempos de paragem, à velocidade da máquina e às perdas de qualidade. E mais: nos tipos de paragens, como descriminá-los por tipo de paragem, para que se possa saber quais as causas das paragens? Nesta fase, são os operadores das máquinas que possuem um papel e uma responsabilidade preponderante, bem ao tipo da produção *lean*. Os operadores são os responsáveis pelo registo e classificação dos tempos de paragem, operação e “retrabalho” para que depois seja analisada como vimos anteriormente. Com uma simples folha e uma caneta, os operadores das fresadoras CNC conseguem facilmente registar a informação suficiente para que se consiga posteriormente calcular com precisão o índice de eficiência das máquinas (Anexo D).

De modo a controlarmos a disponibilidade das máquinas, os operadores devem anotar o tempo de fresa parada e identificar o porquê dessa paragem. Se, por exemplo, a máquina esteve parada para mudar a peça de posição na mesa da fresadora CNC, o operador deve indicar o início e o fim dessa paragem e identificá-la com uma descrição muito simples como “Virar Peça” ou até mesmo “Virar”. As paragens mais pequenas, causadas por variados motivos correntes da operação, também devem ser contabilizadas, bastando um traço ou uma cruz por cada “microparagem”. No caso da Oxisol, o tempo de “microparagem” foi

estipulado até 5 minutos dada a gama de tempos praticados. O tempo a que uma “microparagem” corresponde terá que ser adaptado a cada caso conforme o tipo de operações praticadas. Depois, é muito importante que os operadores registem para cada artigo o início e o fim das operações de maquinagem porque permite obter duas informações de extrema relevância: 1 – permite saber o tempo real de maquinagem de um artigo e 2 - com o tempo que houver entre o final das operações num artigo e o início noutro, permite saber o tempo que foi perdido em setup. Com estas informações, para além de podermos calcular as perdas por rendimento da máquina, podemos também quantificar quanto tempo perdemos em setups de máquinas e saber entre que artigos as trocas são mais longas, de forma a evitar fazer esses artigos seguidos. Se o artigo que começar a maquinar estiver fora dos parâmetros de qualidade e for realizar um “retrabalho”, basta assinalar que essa operação é de “retrabalho” para que possamos também quantificar as perdas de qualidade.

Após a recolha destes dados, deve ser feita uma análise periódica (diária, semanal ou mensal dependendo dos casos) e tirar o máximo de informação. Normalmente o OEE é melhor interpretado quando analisado em forma de um gráfico onde possa ser clara a sua evolução. Se pretendermos obter informações acerca da performance e do estado de funcionamento da máquina de maneira a perceber a sua evolução deve elaborar-se um gráfico por cada máquina ou equipamento; mas se porventura pretendermos estudar a generalidade das paragens não planeadas da empresa e encontrar as principais áreas de melhoria será útil construir um gráfico geral ou por tipo de equipamento (Figura 5.5). Esta forma de apresentação dos resultados do OEE, quando exposta, deve também funcionar como uma ferramenta de motivação para os operadores, uma vez que conseguem assim medir a sua performance e a da sua máquina.

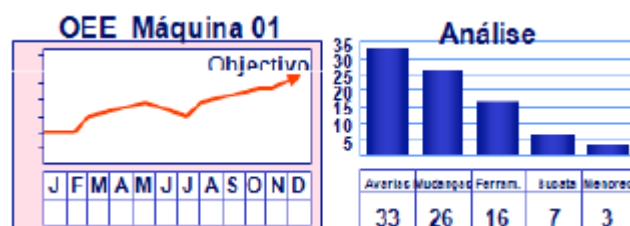


Figura 5.5 - Exemplo de visualização do OEE in slides OEE Kaizen Institute.

5.3 - Análise do OEE na Oxisol

Depois da implementação e estabilização dos registos do OEE pretende-se agora, antes de monitorizar as máquinas individualmente, fazer uma análise geral do parque de máquinas da Oxisol e estudar qual ou quais as principais causas das perdas de eficiência. Vejamos na Figura 5.6 a evolução do OEE referente ao conjunto de todas as fresadoras CNC em funcionamento durante 7 semanas.

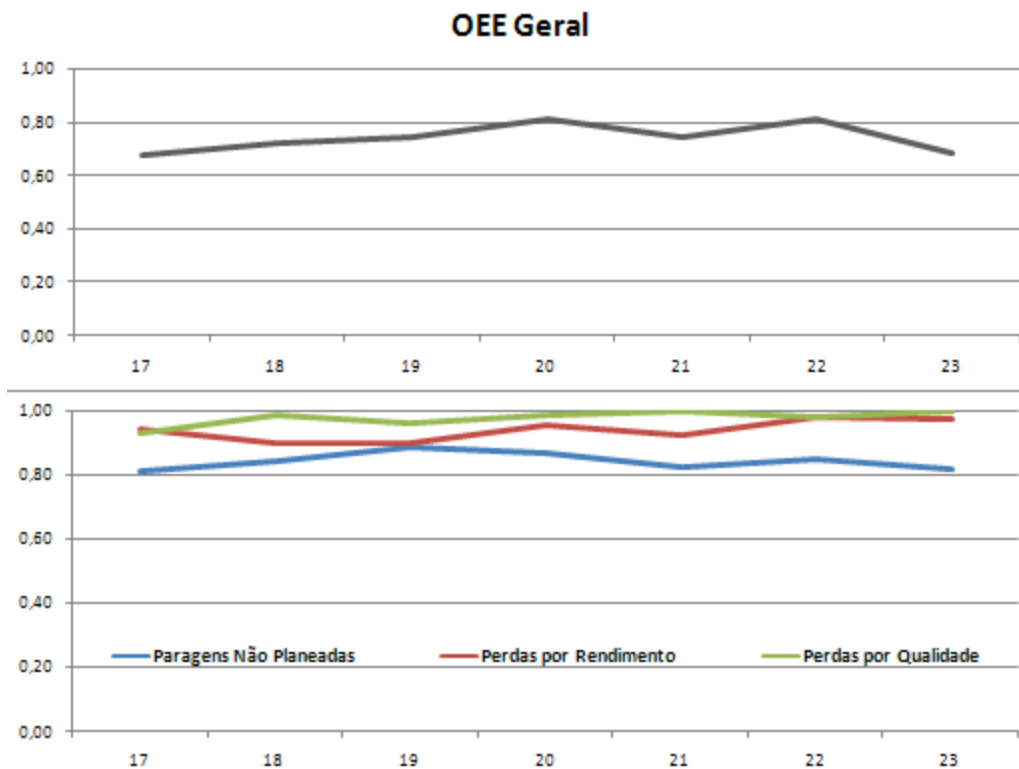


Figura 5.6 - Evolução do índice OEE geral e das suas 3 componentes durante 7 semanas.

Nenhum dos dois gráficos em cima revela qualquer tendência acentuada de maneira a que possamos tirar elações quanto ao seu ganho ou à sua perda de rendimento ao longo do tempo. Contudo, no gráfico em que as 3 parcelas do OEE geral das máquinas se encontram discriminadas conseguimos perceber que as cores referentes a cada parcela raramente se cruzam e que a cor azul, que diz respeito à disponibilidade da máquina, é constantemente o factor mais crítico. Esta afirmação é confirmada ao quantificar estes dados, representados na Figura 5.7.

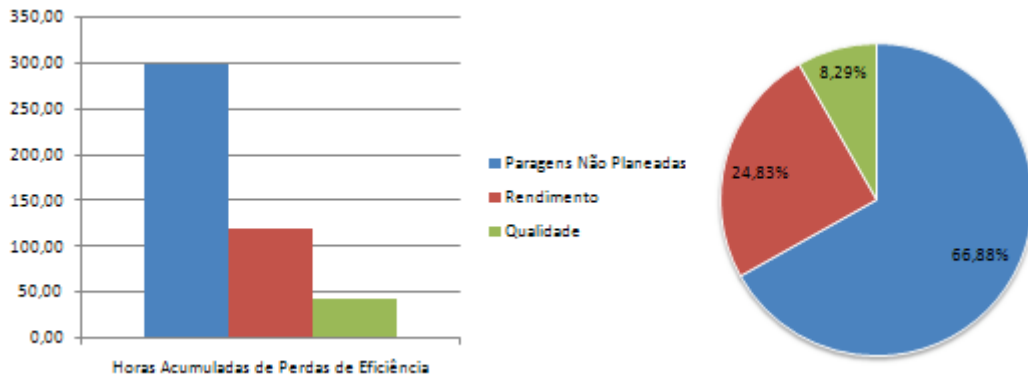


Figura 5.7 – Peso de cada uma das parcelas do OEE nas perdas de eficiência das máquinas.

Conseguimos ver que as 300 horas que a fresa se encontrou parada correspondem a sensivelmente dois terços do total das perdas de eficiência global das máquinas. Continuando este exercício de desacoplamento das causas de perda de eficiência, vamos tentar agora investigar mais a fundo e descobrir qual o tipo de paragem com maior influência entre toda esta perda de disponibilidade. Os gráficos da Figura 5.8 são o reflexo de uma análise mais detalhada dos registos dos operadores.

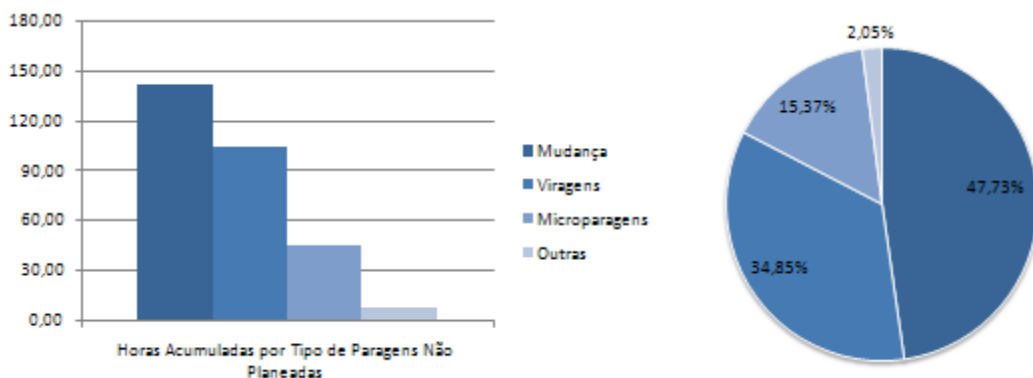


Figura 5.8 - Peso de cada tarefa nas perdas de disponibilidade das máquinas.

Estes gráficos são elucidativos quanto ao principal culpado das perdas de disponibilidade do parque de máquinas da Oxisol. O tempo de *setup*, “o suspeito do costume”, representa quase metade das paragens totais das fresas das fresadoras CNC, representando em níveis absolutos mais de 140 horas de fresa parada. Será portanto a preparação do novo trabalho ou *setup* a tarefa que a Oxisol mais terá que investir para ver aumentar os índices de eficiência das suas máquinas.

6. Aumento da disponibilidade dos equipamentos através da redução dos tempos de setup

Originalmente, as longas horas perdidas na preparação das máquinas quando alterado o tipo de artigo produzido eram as principais responsáveis pela produção em grandes lotes de produtos porque, quanto menos vezes se parasse a linha para fazer este *setup* das máquinas, mais tempo disponível se teria para produzir. A necessidade de flexibilidade na produção despoletou todo um processo dedicado à redução do tempo de *setup*. A metodologia usada foi desenvolvida por Shigeo Shingo e ganhou o nome do seu propósito: fazer uma troca de ferramentas em menos de dez minutos aplicando a metodologia SMED, Single Minute Exchange of Die (entenda-se “*single minute*” como “*minute with a single digit*”, ou seja, menos de 10 minutos). Com os tempos de *setup* cada vez mais reduzidos, o lote económico de produção tornava-se cada vez menor, o que permitia às fábricas de fluxo contínuo ter mais flexibilidade e maior rapidez de entrega ao cliente com menos stock, uma vez que não tinham que esperar tanto tempo para produzir produtos diferentes.

No caso da Oxisol, mesmo que se consiga eliminar algum tempo de *setup* maquinando duas peças iguais seguidas (pelos apertos na mesa serem iguais ou pelo automatismo ganho pelo operador), o lote não deixa de ser considerado unitário porque este ganho não seria suficiente para aumentar o tamanho do lote. Por isso, a vantagem na redução do tempo de *setup* num processo tão flexível como é o caso das *job shops* reside sobretudo no aumento de disponibilidade das máquinas.

Na produção unitária, a primeira peça produzida do lote é única e não pode, portanto, sair defeituosa. Por isso, a quantidade de tempo que for eliminado no período de *setup* representa na sua totalidade um aumento directo de capacidade das máquinas. Se o tempo de *setup* significar 20% da capacidade de uma máquina e conseguirmos reduzir o tempo de *setup* em 50%, estaremos a aumentar 10% na capacidade da máquina. Se essa máquina, por exemplo, tiver dois turnos, este aumento representa 8 horas numa semana, ou seja, mais um turno. Se em vez de uma máquina tivermos 5 máquinas, este aumento de disponibilidade é equivalente a ter mais um homem a trabalhar, mas sem salário!

6.1 - SMED, Single Minute Exchange of Dies

O SMED é uma metodologia que tem como objectivo reduzir o tempo de *setup* das máquinas e que consiste basicamente em analisar a preparação de um novo trabalho e discriminar o tempo gasto em tarefas internas e externas (Figura 6.1). As tarefas internas dizem respeito a tarefas que são executadas com a máquina a trabalhar e as tarefas externas às que são executadas com a máquina já ou ainda em funcionamento.

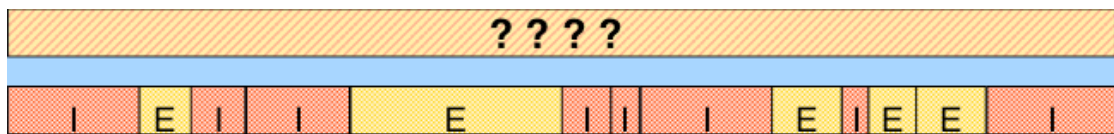


Figura 6.1 – Tempo de *setup* com tarefas internas e externas in *slides SMED Kaizen Institute*.

Se agruparmos as tarefas externas que podem ser feitas antes da máquina parar, as internas (que são feitas com a máquina parada) e as externas que podem ser feitas após o arranque da máquina, em princípio começaremos a ver já alguns resultados porque, embora não se tenha eliminado nem reduzido o tempo de nenhuma tarefa, na verdade o tempo que a máquina está parada, que é o tempo que realmente interessa considerar, deve reduzir (Figura 6.2).



Figura 6.2 – Tarefas agrupadas por tipo interno/externo in *slides SMED Kaizen Institute*.

No SMED, o principal desafio é tentar encontrar alguma forma de executar o máximo de operações possível que originalmente são feitas com a máquina parada, enquanto a máquina ainda está a trabalhar ou quando já está a executar um novo trabalho. Ou seja, é tentar transformar operações internas em operações externas (Figura 6.3).



Figura 6.3 – Transformação de tarefas internas em externas in *slides SMED Kaizen Institute*.

Embora estas “falsas tarefas internas” não sejam evidentes, muito menos para pessoas que estejam habituadas ao mesmo modo operatório todos os dias há muito tempo, algumas reuniões entre operários juntamente com elementos externos pode ser o suficiente para os identificar e tentar encontrar formas de as executar enquanto a máquina está a trabalhar.

Com o mínimo de tarefas internas no nosso modo operatório do *setup*, deve tentar-se encontrar soluções, normalmente mais técnicas, de forma a reduzir ao máximo o tempo de máquina parada (Figura 6.4).

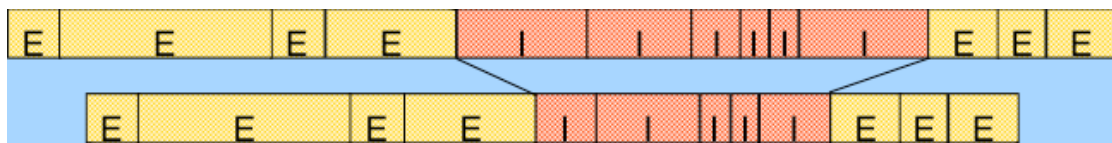


Figura 6.4 – Redução do tempo das tarefas internas in *slides SMED Kaizen Institute*.

A redução deste tempo das tarefas internas pode passar por uma melhor organização do posto de trabalho ou até mesmo por um investimento em ferramentas mais sofisticadas. Depois de já termos um tempo de *setup* muito reduzido, ou como diria Shigeo Shingo inferior a 10 minutos, poderemos então passar a uma última fase que consiste em tentar reduzir também as tarefas externas (Figura 6.5), por uma maior comodidade e um maior controlo das operações internas.

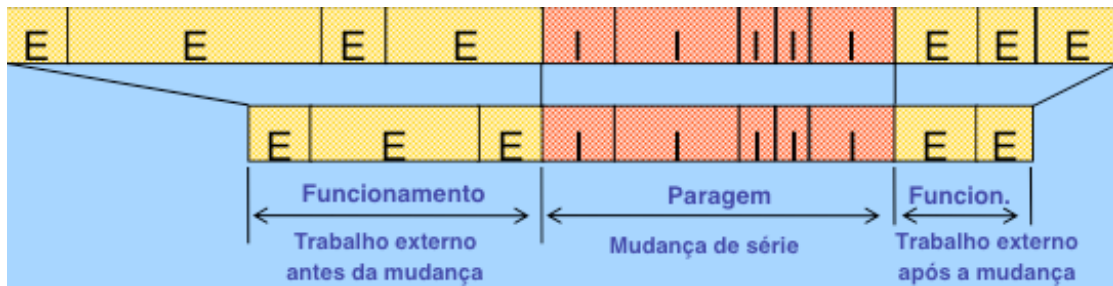


Figura 6.5 – Redução do tempo das tarefas externas in slides *SMED Kaisen Institute*.

Com esta abordagem, é muito provável que qualquer empresa consiga diminuir os seus tempos de setup.

6.2 - O modo operativo do *setup* na Oxisol

Normalmente, o primeiro passo para uma boa análise de um modo operativo é filmá-lo. Com o filme, para além de podermos observá-lo ao detalhe quantas vezes quisermos tornando a discriminação das tarefas mais fácil, podemos contabilizar o tempo de cada operação.

O filme que foi feito na Oxisol para o estudo do modo operativo diz respeito à troca de um caixão de uma guilhotina por uma estrutura de uma quinadora, a ser realizada na fresadora CNC número 210 da Oxisol. Durante a visualização do vídeo foi feita uma análise em que foram identificadas, nesta ordem, as seguintes operações e a respectiva duração que se podem ver na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Registo da filmagem do modo operativo do *setup* das máquinas da Oxisol.

Modo Operatório			
Descrição da Tarefa	T inicial [min]	T final [min]	Duração [min]
Máquina a parar	0:00:00	1:00:00	1:00:00

Limpar a peça	1:00:00	2:20:00	1:20:00
Arrumar a pistola de Ar	2:20:00	2:55:00	0:35:00
Luvas	2:55:00	3:25:00	0:30:00
Ponte Livre	3:25:00	6:50:00	3:25:00
Transporte Ponte	6:50:00	8:25:00	1:35:00
Pôr Patolas	8:25:00	9:00:00	0:35:00
Engatar guincho na peça	9:00:00	13:00:00	4:00:00
Pousar peça no chão	13:00:00	15:00:00	2:00:00
Tirar Patolas	15:00:00	18:00:00	3:00:00
Pôr Cabo de Aço c/ Agarras	18:00:00	19:20:00	1:20:00
Transportar peça nos suportes	19:20:00	24:20:00	5:00:00
Tirar Patolas	24:20:00	25:30:00	1:10:00
Arrumar Patolas	25:30:00	27:10:00	1:40:00
Arrumar Cabo de Aço	27:10:00	28:00:00	0:50:00
Tirar e Arrumar Calços de Apoio (Fixação)	28:00:00	29:40:00	1:40:00
Limpar Máquina	29:40:00	31:50:00	2:10:00
Buscar/Colocar corrente no guincho	31:50:00	33:00:00	1:10:00
Buscar peça 2 (Caixão)	33:00:00	34:25:00	1:25:00
Prender corrente ao caixão	34:25:00	36:40:00	2:15:00
Transportar caixão	36:40:00	37:50:00	1:10:00
Escolher local de aperto	37:50:00	40:30:00	2:40:00
Pôr calços de apoio	40:30:00	46:20:00	5:50:00
Tirar corrente	46:20:00	47:30:00	1:10:00
Pôr calços de nivelamento	47:30:00	50:30:00	3:00:00

Limpeza c/ pistola de Ar	50:30:00	51:20:00	0:50:00
Pôr barras de fixação e apertar a peça	51:20:00	147:30:00	96:10:00
Montar Broca	147:30:00	150:00:00	2:30:00
Começo da Maquinagem	150:00:00		

Após esta descrição das tarefas, será vantajoso tentar agrupá-las em famílias ou tipos de operações. Este exercício pode ajudar a perceber melhor as etapas deste modo operatório, em particular de forma a conseguirmos estudar estas operações como de forma genérica, comum a todos os setups em todas as máquinas. Na Tabela 6.2 podemos ver uma proposta de agrupamento em famílias de operações e perceber os pesos que representam neste tempo de setup através das percentagens. Como estas tarefas são realizadas com a fresa parada, todas elas estão classificadas com um “I” de internas.

Tabela 6.2 – Modo operatório do setup das máquinas da Oxisol por família de tarefas.

Tipo de Operação	Descrição da Tarefa	Duração [min]	Interno/Externo	%
	Máquina a parar	1:00:00		0,67%
Tira Peça 1	Limpar a peça	1:20:00	I	0,89%
Preparativos	Arrumar o "Ar"	0:35:00	I	0,39%
	Luvas	0:30:00	I	0,33%
Espera Ponte	Ponte Livre	3:25:00	I	2,28%
Preparativos	Transporte Ponte	1:35:00	I	1,06%
	Pôr Patolas	0:35:00	I	0,39%
Tira Peça 1	Engatar guincho na peça	4:00:00	I	2,67%
	Pousar peça no chão	2:00:00	I	1,33%
	Tirar Patolas	3:00:00	I	2,00%
Arrumar Peça 1	Pôr Cabo de Aço c/ Agarras	1:20:00	I	0,89%

	Transportar peça nos suportes	5:00:00		3,33%
	Tirar Patolas	1:10:00		0,78%
	Arrumar Patolas	1:40:00		1,11%
	Arrumar Cabo de Aço	0:50:00		0,56%
	Tirar e Arrumar Calços de Apoio	1:40:00		1,11%
Limpeza da Máquina	Limpar Máquina	2:10:00		1,44%
	Buscar/Colocar corrente no guincho	1:10:00		0,78%
Transporte Peça 2	Buscar peça 2 (Caixão)	1:25:00		0,94%
	Prender corrente ao caixão	2:15:00		1,50%
	Transportar caixão	1:10:00		0,78%
	Escolher local de aperto	2:40:00		1,78%
Colocação da Peça 2	Pôr calços de apoio	5:50:00		3,89%
	Tirar corrente	1:10:00		0,78%
	Pôr calços de nivelamento	3:00:00		2,00%
	Limpeza c/ pistola de Ar	0:50:00		0,56%
Aperto	Pôr barras de fixação e apertar a peça	96:10:00		64,11%
	Montar Broca	2:30:00		1,67%
	Começo da Maquinagem	150:00:00		100,00%

Com este modo operatório dividido por famílias de tarefas, é possível perceber como os operadores da Oxisol executam a troca de artigos maquinados por artigos a maquinar. Num breve relato deste modo operatório e generalizando-o a toda a fábrica, o operador espera que a fresa pare para começar a fazer os preparativos e retirar da mesa da máquina a peça

que acabou de ser maquinada para levá-la para a porta do pavilhão de pintura que é quase sempre a operação que se segue à maquinagem. Depois de varrer a limalha espalhada na mesa da máquina, o operador vai buscar a próxima peça a maquinar e começar assim um novo trabalho. Para tal, aquando da colocação da peça na mesa da máquina, é necessário que o operador verifique o posicionamento e nivelamento da peça em relação à máquina para que as operações de desbaste, rectificação, furação, etc, sejam feitas exactamente no sítio onde foram programadas, uma vez que as máquinas são de Controlo Numérico Computorizado (CNC). Com a peça devidamente colocada na mesa, segue-se apenas o aperto da peça à máquina e a mudança do tipo de broca ou de pastilhas da broca para que se possa então iniciar a maquinagem da próxima peça. Este é, de forma geral, o modo como se realizam as trocas de artigos nas máquinas da Oxisol. Todo este processo, à primeira vista complicado, pode ser resumido em quatro fases principais, representadas na Figura 6.6.

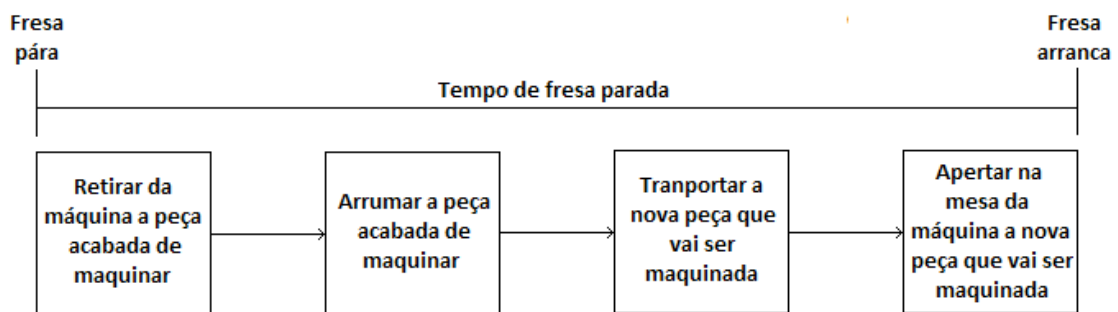


Figura 6.6 – Esquema do modo operativo do *setup* das máquinas da Oxisol.

Com um modo operativo detalhado em mãos, existem condições de iniciar uma análise destas operações internas e tentar transformá-las em tarefas externas para se conseguir alguma redução nos tempos de setup. Existirão sempre vozes que defendem este modo como o mais natural e correcto de processar os setups das máquinas e que pouco ou nada destas operações internas pode ser excluído deste tempo de paragem de fresa. Em seguida mostrar-se-á que não é bem assim.

6.3 - O que a Oxisol tem em comum com as companhias aéreas

É importante recordar que as operações internas são aquelas que são necessariamente executadas com a máquina parada ao contrário das operações externas que podem, de uma forma ou de outra, ser executadas com a máquina em funcionamento. Para avançarmos com a aplicação da metodologia SMED, considero importante fazer uma pequena analogia para que se perceba melhor os conceitos de valor e rentabilização dos equipamentos que estão por trás da construção de um novo modo operatório.

Imaginemos uma companhia aérea em que o seu grande investimento é nos seus aviões que, como se sabe, são extremamente caros. E são caros precisamente por uma razão: porque voam! Este atributo (voar) deste equipamento (avião) permite a uma companhia aérea prestar um serviço de transporte aéreo de carga e passageiros. Ou seja, este equipamento só vale o preço que se paga por ele quando está a voar com pessoas ou mercadoria e é por isso que as pessoas estão dispostas a pagar às companhias aéreas. Se os aviões estiverem parados no aeroporto, não só têm que pagar o aluguer das gares, como não há ninguém que pague por eles porque não estão a executar o serviço que se pretende deles. Por isso, quanto mais tempo um avião estiver a voar e menos tempo estiver parado, maior é a rentabilização dele e maior é o retorno do investimento inicial da sua compra.

Se compararmos este exemplo das companhias aéreas com o caso da Oxisol, à partida bem diferentes no tipo de negócio, verificamos que têm em comum a necessidade de rentabilizar os seus equipamentos. Se imaginarmos o nosso parque de máquinas fresadoras CNC como aviões que precisam de ser rentabilizados, quanto mais tempo estiverem a voar ou, neste caso, a realizar as operações que fazem a Oxisol ganhar dinheiro, como desbastar, rectificar ou furar algum artigo, mais estamos a rentabilizar o investimento da compra de uma fresadora CNC. Assim, a análise mais clara que podemos fazer, é considerar que uma máquina fresadora CNC se encontra parada quando a fresa não está a executar qualquer operação num artigo, uma vez que é com estas operações que as fresadoras CNC acrescentam valor ao produto final da Oxisol.

Percebemos que todo este tempo de fresa parada é tempo em que a máquina não se está a pagar a ela própria, ou seja, segundo a abordagem *lean* este tempo é considerado desperdício.

Ora, se voltarmos a analisar o modo operatório com esta analogia das companhias aéreas ainda presente, talvez se consiga perceber a filosofia que está por de trás do processo de transferência de operações internas para operações externas conseguindo reduzir o tempo de setup das máquinas aumentando assim a sua capacidade disponível para realizar operações de maquinagem noutros artigos.

O setup das máquinas na Oxisol é basicamente a troca de um artigo já maquinado por outro que vai maquinar a seguir. De forma análoga, o setup de um avião será deixar os passageiros no seu aeroporto de destino e fazer o embarque de passageiros que se encontram ainda no aeroporto de origem. Talvez nunca nos tenhamos apercebido do facto de que por vezes, no momento em que as pessoas começam a fazer o check-in para um determinado voo, o avião em que irão viajar ainda nem sequer aterrou nesse aeroporto.

Enquanto o avião ainda está a terminar a sua tarefa de deixar os passageiros que chegaram ao seu destino, o conjunto de pessoas que vai viajar nesse avião vai-se dirigindo para a porta de embarque para que o embarque dos passageiros que vão viajar seja feito imediatamente a seguir (Figura 6.7).

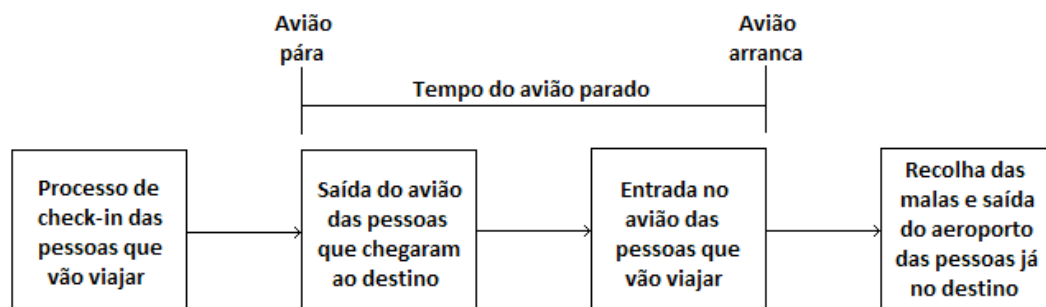


Figura 6.7 – Esquema do *setup* de um avião comercial de passageiros.

Neste caso das companhias aéreas, embora todas as operações façam parte do processo de setup os aviões, apenas a saída e entrada dos passageiros é feita com o avião parado, o que faz com que estas operações seja classificadas com internas. O check-in e a recolha das malas podem ser feitos ainda/já com avião no ar, o que faz com que estas operações sejam externas ao facto do avião estar parado.

Então, porque não seguir este exemplo de eficiência das companhias aéreas e aplicá-lo no setup da Oxisol?

6.4 - Sugestão de um novo modo operatório

A sugestão de um novo modo operatório que aqui se apresenta segue precisamente o mesmo conceito do setup dos aviões. A questão que será conveniente colocar nesta fase é seguinte: será possível, enquanto a fresadora CNC está a terminar uma operação de maquinação num determinado artigo, a peça que vai ser maquinação a seguir fazer uma espécie de “check-in” e dirigir-se para junto da máquina para que o setup seja mais rápido? Responder a esta pergunta será um dos maiores desafios deste projecto, uma vez que vai confirmar ou não a viabilidade deste novo modo operatório e revelar quais as suas implicações.

Através deste raciocínio, o princípio de um potencial novo modo operatório sugerido neste projecto pode ser facilmente entendido através da comparação com o modo operatório original da Oxisol, como podemos ver nas Figuras 6.8 e 6.9.

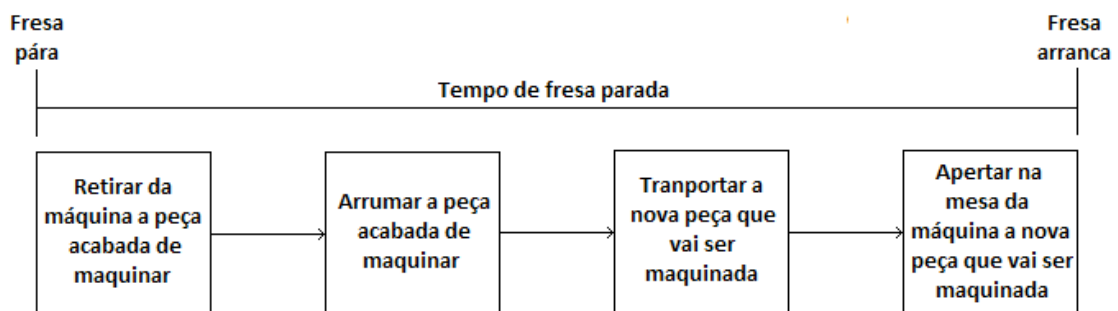


Figura 6.8 - Esquema do modo operatório do *setup* das máquinas da Oxisol.

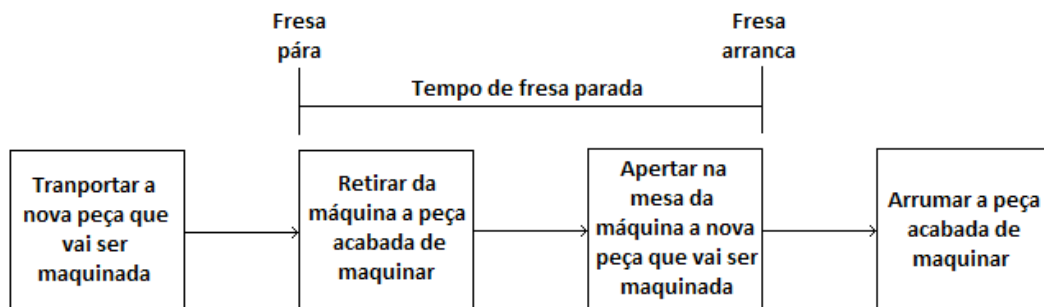


Figura 6.9 – Esquema de sugestão para um novo modo operatório do *setup* das máquinas da Oxisol.

O sucesso deste modo operatório depende praticamente na viabilidade de transformar o transporte das peças em operações externas à fresa parada. Com os tempos das tarefas do modo operatório original é possível construir uma simulação e ficar com uma ideia de como seria a performance do novo modo operatório (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 – Simulação da sugestão para um novo modo operatório.

Sugestão para um Novo Modo Operatório			
Tipo de Operação	Descrição	Duração [mm:ss]	Interno/Externo
Espera Ponte	Ponte Livre	3:25:00	E
Preparativos	Luvas	1:05:00	E
	Transporte Ponte	1:35:00	E
Transporte Peça 2	Buscar/Colocar corrente no guincho	1:10:00	E
	Buscar peça 2 (Caixão)	1:25:00	E
	Prender corrente ao caixão	2:15:00	E
	Transportar caixão	1:10:00	E
Preparativos	Pôr Patolas	0:35:00	E
Máquina pára		1:00:00	
Tira Peça 1	Limpar a peça	1:20:00	I
	Engatar guincho na peça	4:00:00	I
	Pousar peça no chão	2:00:00	I
	Tirar Patolas	3:00:00	I
Limpeza Máquina	Limpar Máquina	2:10:00	I
Preparação Aperto	Escolher local de aperto	2:40:00	I
	Pôr calços de apoio	5:50:00	I

	Tirar corrente	1:10:00	I
	Pôr calços de nivelamento	3:00:00	I
	Limpeza c/ pistola de Ar	0:50:00	I
Aperto	Pôr barras de fixação e apertar a peça	96:10:00	I
Montar Broca		2:30:00	
Começo da Maquinagem			
	Pôr Cabo de Aço c/ Agarras	1:20:00	E
	Transportar peça nos suportes	5:00:00	E
Arrumar Peça 1	Tirar Patolas	1:10:00	E
	Arrumar Patolas	1:40:00	E
	Arrumar Cabo de Aço	0:50:00	E
	Tirar e Arrumar Calços de Apoio	1:40:00	E

Se for possível, para o mesmo setup que serviu de estudo para o modo operatório original, o ganho de tempo que teoricamente se consegue ganhar com este novo modo operatório é apresentado na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Tempo de ganho teórico segundo a simulação com o novo modo operatório.

TEMPO TOTAL DE SETUP	150 min
TEMPO TOTAL DE FRESA PARADA	125 min
TEMPO GANHO ESPERADO COM SMED	25 min

Voltando um pouco à comparação das companhias aéreas, uma questão pertinente que se coloca é que as pessoas, pelo facto de terem pernas e conseguirem deslocar-se sozinhas, podem ir com facilidade até junto do avião. Agora, quando fazemos a transição deste exemplo para uma metalo-mecânica pesada, o processo de transporte dos artigos é muito

mais complicado porque obriga a superar inércias muito maiores uma vez que as estruturas soldadas fabricadas pela Oxisol, para além do facto óbvio de não andarem sozinhas, podem pesar até cerca de 15 toneladas (Figura 6.10). Este facto implica o recurso a pelo menos uma ponte móvel para deslocar o que quer que seja, o que se traduz em algum tempo gasto no transporte independentemente das distâncias.



Figura 6.10 – Transporte de uma estrutura CCL – 4020 com mais de 15 toneladas de peso.

Uma hipótese para transformar em externas estas operações de transporte poderia passar por dedicar um operador à ponte móvel, e ficar assim sempre alguém responsável pelo transporte dos artigos acabados de soldar para as máquinas, das máquinas para a pintura, da pintura para o nosso recém-criado supermercado de produto acabado e até mesmo directamente para a zona de expedição. O problema é que a Oxisol não aceita o facto de pagar um salário a um operador para efectuar única e exclusivamente as operações de transporte das peças dentro da fábrica, uma vez que este tipo de gastos não devem ser pagos pelos clientes finais e por isso são considerados desperdício. Por isso esta tarefa é partilhada por todos os trabalhadores, incluindo os operadores das fresadoras CNC que são

os responsáveis pelo transporte quer dos artigos a maquinar quer dos artigos já maquinados.

Estando assim a primeira hipótese posta de lado e já conscientes desta restrição, a base para uma segunda hipótese estava definida: o operador da máquina teria que ser capaz de executar duas operações ao mesmo tempo! Enquanto executavam as operações de maquinagem na fresadora CNC, os operadores teriam que ser capazes de transportar a próxima peça a maquinar para junto da máquina! Por muito descabida que esta hipótese possa parecer, irá provar-se aqui que realmente é possível de a executar.

Para começarmos a perceber como tal será possível, é importante perceber-se as operações de maquinagem que uma fresadora CNC executa nos artigos da Oxisol e qual a influência dos seus operadores nestas operações.

Recapitulando as operações de um centro de maquinagem, as mais frequentes na Oxisol para além das de furação, são as operações de desbaste e rectificação. Enquanto as operações de desbaste têm como principal função o arranque da aparado do material a maquinar, as de rectificação são consideradas operações mais finas de acabamento. As duas são, portanto, operações de arranque de material. A diferença é que, como os próprios termos sugerem, a operação de desbaste arranca muito mais material (aço) do que uma operação de rectificação que arranca apenas pequenas imperfeições de material (Fig. 6.11). Para além de serem normalmente executadas na parte inicial e final do processo de maquinagem, existem operações de desbaste e rectificação que demoram algum tempo devido à dimensão dos artigos da Oxisol, como é o caso das estruturas das “Guimadiras” que têm entre 3 e 4 metros de largura.



Figura 6.11 – Operação de desbaste numa estrutura de uma quinadora.

Como são de controlo numérico computadorizado (CNC), estas máquinas possuem um computador onde tem armazenado os programas de maquinagem a executar nos diferentes artigos, tendo os operadores que colocar a fresa na cota certa para que uma determinada operação (desbastar, rectificar, furar...) possa começar. Por isso, se uma operação for muito longa, o operador tem apenas que se certificar que o estado da fresa está normal.

Já que, uma vez iniciadas, as máquinas CNC encarregam-se das tarefas até ao fim, porque não aproveitar estes tempos para executar outras tarefas necessárias como, por exemplo, ir buscar a máquina que vai maquinar a seguir e traze-la para junto da máquina?

Fica assim fundamentado o porquê de acreditar na viabilidade desta proposta para um novo modo operatório que permite um setup mais rápido da máquina, eliminando tempo de fresa parada. O próximo passo será experimentar este novo operatório e verificar se realmente a execução deste modo operatório traz benefícios à Oxisol e se sim, quantificar estes benefícios.

6.5 - Um novo modo operatório à prova

A primeira etapa para conseguirmos testar e aplicar este novo modo operatório é fazer com que o operador da máquina perceba como o deve realizar e a razão de o ser. Afinal de contas, será ele e os seus colegas que o irão aplicar no seu dia-a-dia. Para isso, fomos de início apenas explicá-lo ao operador da máquina onde se iria testar o novo modo operatório (Zayer nº 210) e mais tarde exposto a todos os operários. Esta abordagem do novo modo operatório resume-se basicamente numa espécie de cartaz colocado posteriormente nos postos de trabalho, semelhante ao que podemos ver no Anexo F.

Com o operador da Zayer nº 210 esclarecido quanto à lógica deste novo modo operatório, estávamos assim em condições de por à prova o novo modo operatório. Assim como se tinha feito para o estudo do modo operatório original, esta experiência do novo modo operatório foi gravada para uma posterior análise dos tempos, falhas e outros pormenores que forem identificados, para além de poder ser um comprovativo dos resultados obtidos e de futuras análises para uma melhoria deste modo operatório. A Tabela 6.5 mostra o registo dos tempos de uma mudança entre duas quinadoras de 3 metros na máquina Zayer nº210 segundo o modo operatório sugerido.

Tabela 6.5 - Registo da filmagem da sugestão para o modo operatório do *setup* das máquinas da Oxisol.

Descrição da Tarefa	Registo no Local [hh:mm]		Registo no Filme [mm:ss]		Duração [mm:ss]	
	Início	Fim	Início	Fim		
Novo Modo Operatório						
Rectificar Mesa	9:20		0:20			
Espera Ponte	9:20	9:25	0:20	5:20	5:00	
Buscar Estrutura 2	9:25	9:32	5:20	12:20	7:00	
Rectificar Mesa		9:34		13:40	13:20	13:20
Máquina pára						

Limpar e Tirar Suportes	9:34		13:40	17:55	4:15	
Pôr Estrutura 1 no Chão		9:45	17:55	24:15	6:20	
Limpar			24:15	27:35	3:20	
Pôr Estrutura 2 na Máquina			27:35	30:50	3:15	
Endireitar/ Apertos	9:51		30:50			
Retirar Guincho da Estrutura 2			42:25	45:30	3:05	
Endireitar/ Apertos		10:22		61:20	30:30	50:45:00
Começo da maquinagem						
Desbaste da Mesa	10:22		61:20			
Transporte Estrutura 1	10:05	10:12	45:30	53:00	7:30	
Desbaste da Mesa		10:28		67:20		6:00

Total Fresa Parada	52,25
[min]	

Podemos desde já verificar que a experiência deste novo modo operativo foi um sucesso, visto ter-se conseguido comprovar a sua viabilidade. Logo as primeiras duas tarefas que necessitavam ser feitas simultaneamente foram um bom início, uma vez que o tempo de rectificação da mesa da estrutura (13 minutos e 20 segundos) permitiu que o operador fosse buscar a estrutura a maquinar (7 minutos), tendo ainda permitido esperar 5 minutos que a ponte móvel ficasse disponível. Colocando a estrutura para maquinar em frente à máquina, o operador voltou ao seu posto de trabalho para começar o processo de retirar a estrutura acabada de maquinar de cima da mesa para colocar a nova estrutura que, agora, está muito mais próxima (Figura 6.12)



Figura 6.12 – Experiência do novo modo operatório.

Depois de colocada a estrutura já maquinada no chão e a estrutura pronta a maquinar em cima da mesa da *Zayer*, o operador dá então início à operação de desbaste da mesa da estrutura. Vendo que não existe nenhuma anormalidade, o operador pode então ir arrumar a estrutura já maquinada. Neste caso, o tempo da operação realizada na máquina (6 minutos) foi inferior ao tempo de transportar a estrutura já maquinada (7,5 minutos). O facto de isto ter acontecido não destrói em nada o sucesso deste novo modo operatório porque, caso se tivesse transportado a estrutura antes de se ter iniciado a operação de desbaste, a fresa teria ficado parada os 7 minutos e meio em vez de um minuto e meio, o que representa praticamente 5 vezes menos tempo. Com a mesma linha de raciocínio, pode utilizar-se os registos dos tempos das tarefas para tentar reconstruir o modo operatório original e ver quanto tempo a fresa estaria parada nesse caso (Tabela 6.6).

Tabela 6.6 – Reconstrução do modo operatório original

Descrição da Tarefa	Registo no Local [hh:mm]		Registo no Filme [mm:ss]		Duração [mm:ss]	
	Início	Fim	Início	Fim		
Modo Operatório Original						
Rectificar Mesa	9:20	9:34	0:20	13:40	13:20	
Máquina pára						
Limpar e Tirar Suportes	9:34		13:40	17:55	4:15	
Espera Ponte	9:20	9:25	0:20	5:20	5:00	
Pôr Estrutura 1 no Chão		9:45	17:55	24:15	6:20	
Limpar			24:15	27:35	3:20	
Transporte Estrutura 1	10:05	10:12	45:30	53:00	7:30	
Buscar Estrutura 2	9:25	9:32	5:20	12:20	7:00	
Pôr Estrutura 2 na Máquina			27:35	30:50	3:15	
Endireitar/ Apertos	9:51		30:50			
Endireitar/ Apertos		10:22		61:20	30:30	
Retirar Guincho da Estrutura 2			42:25	45:30	3:05	70:15
Começo da maquinagem						
Desbaste da Mesa	10:22	10:28	61:20	67:20	6:00	

Total Fresa Parada

[min]

70,25

Agora, para além do sucesso da viabilidade do novo modo operatório, é possível também quantificar este sucesso. No caso deste setup, a redução de tempo foi cerca de 25%, o que

representa um aumento directo de 18 minutos na disponibilidade da máquina que diz respeito ao tempo de fresa parada que se conseguiu eliminar (Tabela 6.7).

Tabela 6.7 – Ganhos obtidos com o modo operatório sugerido.

Tempo ganho [min]	18 minutos
Tempo ganho [%]	25,62%

De forma a solidificar estes resultados medimos os tempos de outro *setup* entre estruturas iguais e na mesma fresadora CNC (*Zayer* nº 210) realizado segundo o mesmo modo operatório. Os tempos registados no local da troca das estruturas e aplicando o novo modo operatório e a reconstrução do modo operatório original são apresentadas nas Tabelas 6.8 e 6.9.

Tabela 6.8 – Registos dos tempos de uma nova experiência de *setup* com o modo operatório sugerido.

Descrição da tarefa	Registo Local [hh:mm]		Duração [hh:mm]
	Início	Fim	
Novo Modo Operatório			
Buscar Estrutura 2			0:07
Máquina pára			
Fresa Pára		15:50	
Limpar e desapertar peça 1	15:50	15:54	0:04
Espera da ponte	15:54	16:02	0:08
Pôr estrutura 1 no chão 1	16:02		
Limpar			
Pôr estrutura 2 na máquina			

Endireitar/ Apertos			
Fresa Arranca	16:47		
Começo da maquinagem			
Transporte da estrutura 1			0:15

Total Fresa Parada [min]	57
---------------------------------	-----------

Tabela 6.9 – Reconstrução do modo operatório original.

Descrição da tarefa	Registo Local [hh:mm]		Duração [hh:mm]
	Início	Fim	

Modo Operatório Original

Máquina pára		15:50	
Limpar e desapertar peça 1	15:50	15:54	
Espera da ponte	15:54	16:02	0:08
Pôr estrutura 1 no chão 1	16:02		
Transporte da estrutura 1			0:15
Limpar			
Buscar Estrutura 2			0:07
Pôr estrutura 2 na máquina			
Endireitar/ Apertos			
Começo da maquinagem	16:47		

Total Fresa Parada [min]	79
---------------------------------	-----------

Os resultados nesta segunda medição dos tempo do novo modo operatório vêm solidificar os resultados obtidos anteriormente visto que foram sensivelmente os mesmos, até mesmo um pouco melhores como se pode verificar na Tabela 6.10.

Tabela 6.10 – Resultados das duas experiências de setup com o modo operatório sugerido.

Teste nº 1 ao novo modo operatório		Teste nº 2 ao novo modo operatório	
Tempo ganho [min]	18 min	Tempo ganho [min]	22 min
Tempo ganho [%]	25,62%	Tempo ganho [%]	27,85%

Segundo os valores absolutos em perdas de eficiência das máquinas devido ao setup, reduzir 25% no tempo desta tarefa significa no caso da Oxisol um ganho directo de disponibilidade. Se atrás a análise do indicador OEE revelava uma perda absoluta de cerca de 140 horas em 7 semanas, significa ter quase mais uma semana de trabalho de um operador CNC uma vez que esta redução significa um aumento de 35 horas disponíveis para trabalhar nas máquinas, para além das vendas que eventualmente se possa ganhar com este aumento de disponibilidade.

7. Conclusões e previsões de trabalhos futuros

O estudo dos *lead times* que foi realizado neste projecto deve dar lugar a um processo de redução destes tempos. À medida que se conseguir diminuir os *lead times* da Oxisol, será preciso cada vez menos inventário relacionado com as “Guimadira” e menos tempo para responder aos clientes que encomendam produtos especiais. A construção de um *Value Stream Map* (Mapa da Cadeia de Valor) para as operações executadas na Oxisol pode ser uma ferramenta eficaz na redução do *lead time*.

Uma empresa que já funcione no sistema *pull* e tenha uma produção do tipo *Make to Order* pode adaptar-se muito facilmente ao *Just in Time* mesmo que seja no ramo da metalomecânica, em ambientes *job shop* ou, como vimos ao longo deste projecto, nos dois casos ao mesmo tempo. Começando por dimensionar um supermercado de produto acabado dos artigos mais rotativos, ou que pareçam oferecer a garantia de que serão vendidos repetitivamente mesmo com uma baixa frequência, deve considerar-se dimensionar também um supermercado intermédio a meio do processo de produção. Para além de desacoplar um longo *lead time* em dois períodos mais curtos, o que poderá trazer uma série de vantagens teóricas (como uma menor variação nos processos), aquela supermercado intermédio permite que se proteja um recurso limitado do processo de forma a ter sempre trabalho, ao mesmo tempo que baixa o valor total do stock em mão, dado o menor valor dos produtos a montante. Contudo, os trabalhos na implementação do *Just in Time* devem continuar na Oxisol. Tentar colocar em supermercado o número de estruturas e componentes para a montagem final das “Guimadira” dimensionado neste projecto, desenhar os limites das estruturas no chão para facilitar a gestão visual dos produtos em falta e o estudo da necessidade ou não de um cartão de *kanban* para informar o início de uma nova ordem de fabrico, são exemplos das tarefas que surgem naturalmente na sequência do que foi referido neste projecto.

A dificuldade que existe muitas vezes no planeamento da produção em ambientes flexíveis, onde um conjunto de máquinas e recursos humanos são utilizados para produzir diversos tipos de produtos (fábricas do tipo *job shop*), reside na falta de métodos e ferramentas de apoio à tomada de decisão disponíveis para o pessoal responsável pelas operações. Se o planeamento da produção girar em torno do recurso produtivo mais limitado, é possível -

com uma simples ferramenta de programação linear juntamente com o conhecimento e a experiência dos trabalhadores - construir um programa simples, mas eficiente, na sugestão da afectação óptima dos artigos a este recurso.

Será necessário continuar a aumentar a base de dados do programa de afectação dos artigos às máquinas, construído no âmbito deste projecto com o intuito de otimizar as fresadoras CNC de grande porte da Oxisol. Inserir gamas operatórias de mais produtos e continuar a inserir e/ou a modificar hipóteses de afectação será essencial para que esta ferramenta seja cada vez mais útil e completa com vista a uma gestão otimizada do parque de máquinas e de todo o conjunto de artigos da Oxisol.

O controlo e registo das operações num centro de trabalho confirmou-se também na Oxisol ser extremamente útil nos processos de melhoria contínua. Estes registos permitem quantificar e identificar as maiores perdas de eficiência dos equipamentos, o que se revelou de grande importância no ataque e posterior eliminação do desperdício.

E, finalmente, quanto à metodologia SMED concluiu-se, em função dos ganhos surpreendentes na Oxisol, ser imperativo a sua aplicação a qualquer tarefa de setup. Esta ferramenta é simples e muito poderosa, permitindo discriminar as tarefas do setup e começar a questioná-las quanto à sua necessidade, ordem e forma de execução. Este caso mostrou que se deve sempre analisar todos os processos, principalmente os mais antigos e entranhados nas empresas, porque as melhorias de eficiência e consequentes aumentos de produtividade podem perfeitamente residir nas soluções mais simples. Os resultados obtidos com a aplicação do SMED nos setups da Oxisol não devem resultar na satisfação e estagnação no trabalho pela redução dos tempos de setup. Deve sim ser um estímulo para continuar a identificar melhorias, de forma a tornar este processo ainda mais rápido e eficiente.

8. Referências e Bibliografia

Cálculo OEE Adira Nov 2008 – Julho 2009, Kaizen institute

Chase, Richard B.; Jacobs, F. Robert e Aquilano, Nicholas J., (2004), *Operations Management for Competitive Advantage*, 10ª edição, New York, International Edition.

Goldratt, Eliyahu M. e Cox, Jeff, (1999), *The goal: a process of ongoing improvement*, 2ª edição, Hampshire, Gower

Loureiro, Cátia Andreia, (2008) *Melhoria dos Recursos Produtivos, Adira S.A. e Oxisol – Construção Soldada, Lda,,* Projecto Final/ Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 126 pp.

Ohno, Taiichi, (1978), *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Portland, Productivity

Pinto, João Paulo, (2006) *Gestão de Operações na Indústria e nos Serviços*, 2ª edição, Lisboa, Lidel – edições técnicas, lda.

Shingo, Shigeo, (1988), *Non-stock production: The Shingo system for continuous improvement*, Portland, Productivity Press

SMED Kaizen institute versão 1.2

Womack, James P.; Jones, Daniel T. e Roos, Daniel, (2007) *The Machine that changed the World – How Lean Production Revolutionized the Global Car Wars*, 1ª edição, London, Simon & Schuster UK Ltd.

Páginas Web

Assis, Rui, (1999), *Como viabilizar a produção em pequenos lotes? O método SMED*,
<http://www.rassis.com/artigos/SMED.pdf>

Chanesky, Wayne S., (2004), *Using a supermarket to regulate your work flow | Modern Machine Shop*, <http://www.mmsonline.com/columns/using-a-supermarket-to-regulate-your-work-flow.aspx>

Chicago Manufacturing Center, (2009) *Lean Job Shop*,
<http://www.cmcusa.org/practice/leanjobshop.cfm>

Dixon, David, (2006), *Lean in the Job Shop*
<http://www.allbusiness.com/manufacturing/plastics-rubber-products/3938302-1.html>

Euclides (2005), *Kaizen fórum Número 9*, Coimbra,
http://pt.kaizen.com/uploads/tx_nppresscenter/Kaizen Forum Nr 9.pdf

Gray, Chris (2006), *Lean and Master Scheduling*,
<http://www.grayresearch.com/leanmps.htm>

Gathen, Gary, (2006), *What Can SMED Do for You?*,
<http://www.impomag.com/scripts/ShowPR~RID~7360.asp>

Holt, James R., (2005), *The Job Shop Game*,

<http://www.vancouver.wsu.edu/fac/holt/em530/Docs/JSGInstinfo.htm>

Industrial Andons LLC, (2003), *System Supermarket*,

<http://www.industrialandons.com/System%20Supermarket.pdf>

Irani, Shahrukh, (2006), *Job Shop Lean - A Journal for Best Practices suited to High-Variety Low-Volume Small and Medium-sized Manufacturers*, [http://mfg-](http://mfg-research.blogspot.com/2006/01/jobshoplean-journal-for-best-practices.html)

[research.blogspot.com/2006/01/jobshoplean-journal-for-best-practices.html](http://mfg-research.blogspot.com/2006/01/jobshoplean-journal-for-best-practices.html)

Jones, Daniel T., (2006), *Heijunka: Leveling Production*, [http://www.sme.org/cgi-bin/find-](http://www.sme.org/cgi-bin/find-articles.pl?&ME06ART49&ME&20060809&&SME&#article)

[articles.pl?&ME06ART49&ME&20060809&&SME&#article](http://www.sme.org/cgi-bin/find-articles.pl?&ME06ART49&ME&20060809&&SME&#article)

Kaminsky, Philip M. e Kaya, Onur, (2006), *MTO-MTS Production Systems in Supply Chains*,

<http://www.ieor.berkeley.edu/~kaminsky/Reprints/NSF06b.pdf>

Locher, Drew, (2007), *The Lean Job Shop*,

<http://www.superfactory.com/articles/featured/2007/0706-locher-lean-job-shop.html>

Miller, Jon, (2006), *Job Shop Kaizen*,

http://www.gembapantarei.com/2006/04/job_shop_kaizen.html

SCDigest editorial staff, (2006), *The Impact of Lead Time Variability*,

http://www.scdigest.com/assets/NewsViews/06-05-04-,_3.cfm?cid=172&ctype=content

Suri, Rajan (2003), *QRM and POLCA: A Winning Combination for Manufacturing Enterprises in the 21st Century*, <http://www.engr.wisc.edu/centers/cqrm/pub/qrm21st.htm>

Velaga, Prasad, (2007), *Production Scheduling for Job Shops*,

http://www.optisol.biz/job_shop_scheduling.html

Wright, Carl, (2007), *OEE – Lean Manufacturing Metric*,

<http://www.articlesbase.com/leadership-articles/oe-lean-manufacturing-metric-219215.html>

Youngman, K. J., (2003), *Theory of Constraints Production Drum Buffer Rope*,

<http://www.dbrmfg.co.nz/Production%20DBR.htm>

Zelinski, Peter, (2007), *Lean Manufacturing For The Job Shop*,

<http://www.mmsonline.com/articles/lean-manufacturing-for-the-job-shop.aspx>,

Sugai, Miguel; McIntosh, Richard Ian e Novaski, Olívio, (2007), *Metodologia de Shigeo Shingo*

(*SMED*), <http://www.scielo.br/pdf/gp/v14n2/09.pdf>

Zenjiro, Imaoka, (2008), *MTS (Make to Stock)*, [http://www.lean-manufacturing-](http://www.lean-manufacturing-japan.com/scm-terminology/mts-make-to-stock.html)

[japan.com/scm-terminology/mts-make-to-stock.html](http://www.lean-manufacturing-japan.com/scm-terminology/mts-make-to-stock.html)

Anexos

Anexo A: Simulação de Supermercado de produto acabado para artigos referentes às PM-11030, PM – 16030, PM – 20040 e SM – 0630.

SM - 0630			PM - 11030		
	Código	Valor			Valor
Porta_Laminas	6XG-18315	1634	Estrutura	6XQ-24363	3154
Estrutura	6XG-18322	3437	Avental Movel	6XQ-24364	1750
					4904

	Pedido	Rposição	Stock	Valor	Pedido	Rposição	Stock	Valor
			7				5	
7			7	35497,0			5	24520,0
08-Jan			7	35497,0	1		4	19616,0
11-Mai			7	35497,0			4	19616,0
12-Mai			7	35497,0			4	19616,0
13-Mai			7	35497,0			4	19616,0
14-Mai			7	35497,0			4	19616,0
15-Mai			7	35497,0			4	19616,0
18-Mai			7	35497,0			4	19616,0
19-Mai			7	35497,0			4	19616,0
20-Mai			7	35497,0			4	19616,0
21-Mai			7	35497,0			4	19616,0
22-Mai			7	35497,0			4	19616,0
25-Mai			7	35497,0			4	19616,0
26-Mai			7	35497,0			4	19616,0
27-Mai			7	35497,0		1	5	24520,0
28-Mai	1		6	30426,0		0	5	24520,0
29-Mai			6	30426,0		0	5	24520,0
01-Jun	1		5	25355,0		0	5	24520,0
02-Jun			5	25355,0	2	0	3	14712,0
03-Jun			5	25355,0		0	3	14712,0
04-Jun			5	25355,0		0	3	14712,0
05-Jun			5	25355,0		0	3	14712,0
08-Jun	1		4	20284,0		0	3	14712,0
09-Jun			4	20284,0		0	3	14712,0
15-Jun			4	20284,0		0	3	14712,0
16-Jun			4	20284,0		0	3	14712,0
17-Jun			4	20284,0		0	3	14712,0
18-Jun			4	20284,0		0	3	14712,0
19-Jun			4	20284,0		0	3	14712,0
22-Jun			4	20284,0		0	3	14712,0
23-Jun	1		3	15213,0		0	3	14712,0
25-Jun			3	15213,0		2	5	24520,0
26-Jun			3	15213,0		0	5	24520,0
29-Jun			3	15213,0	1	0	4	19616,0
30-Jun		1	4	20284,0		0	4	19616,0
01-Jul		0	4	20284,0		0	4	19616,0
02-Jul		1	5	25355,0		0	4	19616,0
03-Jul	1	0	4	20284,0	1,0	0	3	14712,0
06-Jul		0	4	20284,0		0	3	14712,0
07-Jul	1	0	3	15213,0		0	3	14712,0
08-Jul		0	3	15213,0	1,0	0	2	9808,0
09-Jul		1	4	20284,0		0	2	9808,0
10-Jul		0	4	20284,0	1,0	0	1	4904,0
13-Jul	1	0	3	15213,0		0	1	4904,0
14-Jul		0	3	15213,0		0	1	4904,0
15-Jul		0	3	15213,0		0	1	4904,0
16-Jul	1	0	2	10142,0		1	2	9808,0
17-Jul	1	0	1	5071,0		0	2	9808,0
20-Jul	1	0	0	0,0		0	2	9808,0
21-Jul		1	1	5071,0		0	2	9808,0
22-Jul	1	0	0	0,0		1	3	14712,0
23-Jul		0	0	0,0		0	3	14712,0
24-Jul		0	0	0,0		0	3	14712,0

	234	1186614,0		176	863104,0
	52	53,0		53	53,0
	Média de dias em SM.	Média de valor diário em SM		Média de dias em SM.	Média de valor diário em SM
	4,5	22388,9		3,3	16285,0
Dias de Rotura		0,0	Dias de Rotura		0,0

A integração de fornecedores em sistemas de produção *pull*: aplicação a uma empresa metalomecânica

PM - 16030	Código	Valor	PM - 20040	Código	Valor
Estrutura	6XQ-24357	3505	Estrutura	6XQ-24373	6505
Avental Movei	6XQ-23885	1831	Avental Movei	6XQ-23897	2678

5336				9183			
Pedido	Rposição	Stock	Valor	Pedido	Rposição	Stock	Valor
		5				2	
7		5	26680,0			2	18366,0
08-Jan		5	26680,0			2	18366,0
11-Mai		5	26680,0			2	18366,0
12-Mai		5	26680,0			2	18366,0
13-Mai		5	26680,0			2	18366,0
14-Mai		5	26680,0			2	18366,0
15-Mai		5	26680,0			2	18366,0
18-Mai	1,0	4	21344,0			2	18366,0
19-Mai		4	21344,0			2	18366,0
20-Mai		4	21344,0			2	18366,0
21-Mai		4	21344,0			2	18366,0
22-Mai		4	21344,0			2	18366,0
25-Mai		4	21344,0			2	18366,0
26-Mai		4	21344,0			2	18366,0
27-Mai		4	21344,0			2	18366,0
28-Mai		4	21344,0			2	18366,0
29-Mai		4	21344,0			2	18366,0
01-Jun		4	21344,0			2	18366,0
02-Jun	1	3	16008,0			2	18366,0
03-Jun		3	16008,0			2	18366,0
04-Jun		4	21344,0			2	18366,0
05-Jun	1,0	0,0	16008,0	1		1	9183,0
08-Jun		0,0	16008,0			1	9183,0
09-Jun		0,0	16008,0			1	9183,0
15-Jun		0,0	16008,0	1		0	0,0
16-Jun		0,0	16008,0			0	0,0
17-Jun		0,0	16008,0			0	0,0
18-Jun		0,0	16008,0			0	0,0
19-Jun		0,0	16008,0			0	0,0
22-Jun		0,0	16008,0			0	0,0
23-Jun		0,0	16008,0			0	0,0
25-Jun		1,0	21344,0			0	0,0
26-Jun		0,0	21344,0			0	0,0
29-Jun		0,0	21344,0			0	0,0
30-Jun		1,0	26680,0			0	0,0
01-Jul	1	0,0	21344,0		1	1	9183,0
02-Jul		0,0	21344,0	1	0	0	0,0
03-Jul		0,0	21344,0		0	0	0,0
06-Jul	1	0,0	16008,0		1	1	9183,0
07-Jul		0,0	16008,0	1	0	0	0,0
08-Jul		0,0	16008,0		0	0	0,0
09-Jul	1,0	0,0	10672,0		0	0	0,0
10-Jul		0,0	10672,0		0	0	0,0
13-Jul	1,0	0,0	5336,0		0	0	0,0
14-Jul	1,0	0,0	0,0		0	0	0,0
15-Jul	1,0	0,0	-1	0,0		0	0,0
16-Jul	1,0	0,0	-2	0,0		0	0,0
17-Jul		0,0	-2	0,0		0	0,0
20-Jul		1,0	-1	0,0		0	0,0
21-Jul		0,0	-1	0,0		0	0,0
22-Jul		0,0	-1	0,0		1	9183,0
23-Jul		1,0	0	0,0		0	9183,0
24-Jul		0,0	0	0,0		0	9183,0

	162	864432,0		50	440784,0
	53	53,0		53	53,0
	Média de dias em SM.	Média de valor diário em SM		Média de dias em SM.	Média de valor diário em SM
	3,1	16310,0		0,9	8316,7
Dias de Rotura	8,0	0,0	Dias de Rotura	0,0	

Anexo B: Simulação de Supermercado intermédio e de produto acabado para artigos referentes às PM-11030, PM – 16030, PM – 20040 e SM – 0630.

SM - 0630		Código			Valor	
Corpo Porta_Laminas		6XG-18315			1634	
Estrutura		6XG-18322			3437	
					5071	
Montantes		XG-18319			892	
Placa Frontal		XG-15823			471	
Conj.Caixaão		XG-18312			1632	
Blindagem		XG-15796			349	
AventalPorta-Lâminas		XG15797			564	
					3908	
Pedido	Final	Intermédio	Stock Final	Stock Interm	Valor	
Quantidade em Supermercado			4	3		
07-Mai			4	3	20284,0	11724,0
08-Mai			4	3	20284,0	11724,0
11-Mai			4	3	20284,0	11724,0
12-Mai			4	3	20284,0	11724,0
13-Mai			4	3	20284,0	11724,0
14-Mai			4	3	20284,0	11724,0
15-Mai			4	3	20284,0	11724,0
18-Mai			4	3	20284,0	11724,0
19-Mai			4	3	20284,0	11724,0
20-Mai			4	3	20284,0	11724,0
21-Mai			4	3	20284,0	11724,0
22-Mai			4	3	20284,0	11724,0
25-Mai			4	3	20284,0	11724,0
26-Mai			4	3	20284,0	11724,0
27-Mai			4	3	20284,0	11724,0
28-Mai	1		3	2	15213,0	7816,0
29-Mai			3	2	15213,0	7816,0
01-Jun	1		2	1	10142,0	3908,0
02-Jun			2	1	10142,0	3908,0
03-Jun			2	1	10142,0	3908,0
04-Jun			2	1	10142,0	3908,0
05-Jun			1	2	10142,0	7816,0
08-Jun	1		0	1	5071,0	3908,0
09-Jun			1	2	5071,0	7816,0
15-Jun		1	0	2	10142,0	7816,0
16-Jun		0	0	2	10142,0	7816,0
17-Jun		1	0	3	15213,0	7816,0
18-Jun		0	0	3	15213,0	7816,0
19-Jun		0	1	3	15213,0	11724,0
22-Jun		0	0	3	15213,0	11724,0
23-Jun	1	0	0	2	10142,0	7816,0
25-Jun		1	0	3	15213,0	7816,0
26-Jun		0	0	3	15213,0	7816,0
29-Jun		0	0	3	15213,0	7816,0
30-Jun		0	0	3	15213,0	7816,0
01-Jul		0	0	3	15213,0	7816,0
02-Jul		0	1	3	15213,0	11724,0
03-Jul	1	0	0	2	10142,0	7816,0
06-Jul		0	0	2	10142,0	7816,0
07-Jul	1	1	0	2	10142,0	3908,0
08-Jul		0	0	2	10142,0	3908,0
09-Jul		0	0	2	10142,0	3908,0
10-Jul		0	0	2	10142,0	3908,0
13-Jul	1	0	1	1	5071,0	3908,0
14-Jul		0	0	1	5071,0	3908,0
15-Jul		0	1	1	5071,0	7816,0
16-Jul	1	1	0	1	5071,0	3908,0
17-Jul	1	0	0	0	0,0	0,0
20-Jul	1	1	0	0	-1	0,0
21-Jul		0	1	0	0,0	0,0
22-Jul	1	0	0	-1	-1	0,0
23-Jul		0	0	-1	-1	0,0
24-Jul		1	1	0	0	0,0

130	100	659230,0	390800,0
53	53	53	53

Média de dias em SM.	Média de dias em SM.	Média de valor diário em SM	Média de valor diário em SM
2,452830189	1,886792453	12438,30189	7373,584906

Dias de Rotura	2	0	19811,88679
----------------	---	---	-------------

PM - 11030		Código		Valor				
Estrutura		6XQ-24363		3154				
Avental Movei		6XQ-24364		1750				
				4904				
Montantes		XQ-24361		1566				
Avental Fixo		XQ-24362		627				
Chapa Avental Móvel		XQ-24365		1525				
				3718				
		Pedido	Final	Intermédio	Stock Final	Stock Interm	Estado	Estado
Quantidade em Supermercado					3	3		
07-Mai					3	3	14712,0	11154,0
08-Mai	1				2	2	9808,0	7436,0
11-Mai					2	2	9808,0	7436,0
12-Mai					2	2	9808,0	7436,0
13-Mai					2	2	9808,0	7436,0
14-Mai					2	2	9808,0	7436,0
15-Mai					2	2	9808,0	7436,0
18-Mai				1	2	3	9808,0	11154,0
19-Mai		1	0	0	3	3	14712,0	11154,0
20-Mai		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
21-Mai		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
22-Mai		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
25-Mai		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
26-Mai		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
27-Mai		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
28-Mai		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
29-Mai		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
01-Jun		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
02-Jun	2	0	0	0	1	1	4904,0	3718,0
03-Jun		0	0	0	1	1	4904,0	3718,0
04-Jun		0	0	0	1	1	4904,0	3718,0
05-Jun		0	0	0	1	1	4904,0	3718,0
08-Jun		0	0	0	1	1	4904,0	3718,0
09-Jun		0	0	0	1	1	4904,0	3718,0
15-Jun		0	0	2	1	3	4904,0	11154,0
16-Jun		2	0	0	3	3	14712,0	11154,0
17-Jun		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
18-Jun		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
19-Jun		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
22-Jun		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
23-Jun		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
25-Jun		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
26-Jun		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
29-Jun	1	0	0	0	2	2	9808,0	7436,0
30-Jun		0	0	0	2	2	9808,0	7436,0
01-Jul		0	0	0	2	2	9808,0	7436,0
02-Jul		0	0	0	2	2	9808,0	7436,0
03-Jul	1,0	0	0	0	1	1	4904,0	3718,0
06-Jul		0	0	0	1	1	4904,0	3718,0
07-Jul		0	0	1	1	2	4904,0	7436,0
08-Jul	1,0	1	0	0	1	1	4904,0	3718,0
09-Jul		0	0	0	1	1	4904,0	3718,0
10-Jul	1,0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
13-Jul		0	0	1	0	1	0,0	3718,0
14-Jul		1	0	0	1	1	4904,0	3718,0
15-Jul		0	0	0	1	1	4904,0	3718,0
16-Jul		0	0	1	1	2	4904,0	7436,0
17-Jul		1	0	0	2	2	9808,0	7436,0
20-Jul		0	0	1	2	3	9808,0	11154,0
21-Jul		1	0	0	3	3	14712,0	11154,0
22-Jul		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
23-Jul		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0
24-Jul		0	0	0	3	3	14712,0	11154,0

110	117	539440,0	435006,0
53	53	53	53

Média de dias em SM.	Média de dias em SM.	Média de valor diário em SM	Média de valor diário em SM
2,075471698	2,20754717	10178,11321	8207,660377

Dias de Rotura	0	0	18385,77358
----------------	---	---	-------------

A integração de fornecedores em sistemas de produção *pull*: aplicação a uma empresa metalomecânica

PM - 16030		Código		Valor		
Estrutura		6XQ-24357		3505		
Avental Movel		6XQ-23885		1831		
				5336		
Montantes		XQ-24358		1648		
Avental Fixo		XQ-20227		890		
Chapa Avetal Móvel		6XQ-17773		1718		
				4256		
Pedido	Final	Intermédio	Stock Final	Stock Interm	Estado	Estado
Quantidade em Supermercado			3	2		
07-Mai			3	2	16008,0	8512,0
08-Mai			3	2	16008,0	8512,0
11-Mai			3	2	16008,0	8512,0
12-Mai			3	2	16008,0	8512,0
13-Mai			3	2	16008,0	8512,0
14-Mai			3	2	16008,0	8512,0
15-Mai			3	2	16008,0	8512,0
18-Mai	1,0		2	1	10672,0	4256,0
19-Mai			2	1	10672,0	4256,0
20-Mai			2	1	10672,0	4256,0
21-Mai			2	1	10672,0	4256,0
22-Mai			2	1	10672,0	4256,0
25-Mai			2	1	10672,0	4256,0
26-Mai		1,0	2	2	10672,0	8512,0
27-Mai		1,0	3	2	16008,0	8512,0
28-Mai		0,0	3	2	16008,0	8512,0
29-Mai		0,0	3	2	16008,0	8512,0
01-Jun		0,0	3	2	16008,0	8512,0
02-Jun	1	0,0	2	1	10672,0	4256,0
03-Jun		0,0	2	1	10672,0	4256,0
04-Jun		0,0	2	1	10672,0	4256,0
05-Jun	1,0	0,0	1	0	5336,0	0,0
08-Jun		0,0	1	0	5336,0	0,0
09-Jun		0,0	1	0	5336,0	0,0
15-Jun		1,0	1	1	5336,0	4256,0
16-Jun		1,0	2	1	10672,0	4256,0
17-Jun		0,0	2	1	10672,0	4256,0
18-Jun		0,0	2	2	10672,0	8512,0
19-Jun		1,0	3	2	16008,0	8512,0
22-Jun		0,0	3	2	16008,0	8512,0
23-Jun		0,0	3	2	16008,0	8512,0
25-Jun		0,0	3	2	16008,0	8512,0
26-Jun		0,0	3	2	16008,0	8512,0
29-Jun		0,0	3	2	16008,0	8512,0
30-Jun		0,0	3	2	16008,0	8512,0
01-Jul	1	0,0	2	1	10672,0	4256,0
02-Jul		0,0	2	1	10672,0	4256,0
03-Jul		0,0	2	1	10672,0	4256,0
06-Jul	1	0,0	1	0	5336,0	0,0
07-Jul		0,0	1	0	5336,0	0,0
08-Jul		0,0	1	0	5336,0	0,0
09-Jul	1,0	0,0	0	0	0,0	0,0
10-Jul		1,0	1	0	5336,0	0,0
13-Jul	1,0	0,0	0	-1	0,0	0,0
14-Jul	1,0	0,0	1,0	-1	0,0	0,0
15-Jul	1,0	1,0	0,0	-1	0,0	0,0
16-Jul	1,0	0,0	0,0	-2	0,0	0,0
17-Jul		0,0	1,0	-2	0,0	0,0
20-Jul		1,0	0,0	-1	0,0	0,0
21-Jul		0,0	1,0	-1	0,0	0,0
22-Jul		0,0	1,0	-1	0,0	0,0
23-Jul		1,0	1,0	0	0,0	4256,0
24-Jul		0,0	1,0	0	0,0	8512,0
			94	58	501584,0	246848,0
			53	53	53	53
			Média de dias em SM.	Média de dias em SM.	Média de valor diário em SM	Média de valor diário em SM
			1,773584906	1,094339623	9463,849057	4657,509434
Dias de Rotura			7		0	14121,35849
					0	

PM - 20040		Código		Valor		
Estrutura		6XQ-24373		6505		
Avental Movei		6XQ-23897		2678		
				9183		
Montantes		XQ-24374		2554		
Avental Fixo		XQ-16177		2101		
Caixão Reforço		XQ-20341		176		
Chapa Avental Móvel		XQ-24375		2377		
				7208		
Pedido	Rposição Final	Reposição Interm	Stock Final	Stock Interm	Estado	Estado
Quantidade em Supermercado			1	1		
07-Mai			1	1	9183,0	7208
08-Mai			1	1	9183,0	7208
11-Mai			1	1	9183,0	7208
12-Mai			1	1	9183,0	7208
13-Mai			1	1	9183,0	7208
14-Mai			1	1	9183,0	7208
15-Mai			1	1	9183,0	7208
18-Mai			1	1	9183,0	7208
19-Mai			1	1	9183,0	7208
20-Mai			1	1	9183,0	7208
21-Mai			1	1	9183,0	7208
22-Mai			1	1	9183,0	7208
25-Mai			1	1	9183,0	7208
26-Mai			1	1	9183,0	7208
27-Mai			1	1	9183,0	7208
28-Mai			1	1	9183,0	7208
29-Mai			1	1	9183,0	7208
01-Jun		0	1	1	9183,0	7208
02-Jun		0	0	1	9183,0	7208
03-Jun		0	0	1	9183,0	7208
04-Jun		0	0	1	9183,0	7208
05-Jun	1	0	0	0	0,0	0
08-Jun		0	0	0	0,0	0
09-Jun		0	0	0	0,0	0
15-Jun	1	0	0	-1	-1	0,0
16-Jun		0	0	-1	-1	0,0
17-Jun		0	0	-1	-1	0,0
18-Jun		0	0	-1	-1	0,0
19-Jun		0	1	-1	0	0,0
22-Jun	1	0	0	0	0	0,0
23-Jun		0	0	0	0	0,0
25-Jun		0	1	0	1	0,0
26-Jun		0	0	0	1	0,0
29-Jun		0	0	0	1	0,0
30-Jun		0	0	0	1	0,0
01-Jul		0	0	0	1	0,0
02-Jul	1	1	0	0	0	0,0
03-Jul		0	0	0	0	0,0
06-Jul		0	0	0	0	0,0
07-Jul	1	0	0	-1	-1	0,0
08-Jul		0	0	-1	-1	0,0
09-Jul		0	0	-1	-1	0,0
10-Jul		0	0	-1	-1	0,0
13-Jul		0	1	-1	0	0,0
14-Jul	1	0	0	0	0	0,0
15-Jul		0	0	0	0	0,0
16-Jul		0	1	0	1	0,0
17-Jul		0	0	0	1	0,0
20-Jul		0	0	0	1	0,0
21-Jul		0	0	0	1	0,0
22-Jul		0	0	0	1	0,0
23-Jul	1	0	1	1	9183,0	7208
24-Jul		0	1	1	9183,0	7208
			23	33	211209,0	237864
			53	53	53	53
	Média de dias em SM.	Média de dias em SM.	Média de valor diário em SM	Média de valor diário em SM		
	0,433962264	0,622641509	3985,075472	4488		
Dias de Rotura			10	0	8473,075472	

Anexo C: Layout do programa para a afectação dos artigos às máquinas.

Descrição do Artigo	G.D. (min)	210	151	164	171	53	215	175	215	175	175	175	Onde	Horas	Controlo	Soldadura	Pintura
		210	151	164	171	53	215	175	215	175	175						
BASE DO CILINDRO PG-30110	75												2	2,5			
CORPO DA ESTRUTURA PG-30110	240															8	
CORPO DA ESTRUTURA PG-30110	270															8	
CORPO DA ESTRUTURA PG-30110	240															8	
CORPO DA ESTRUTURA PG-30110	270															9	
CORPO DA ESTRUTURA PG-30110	600	10,0					10,0						0	0	0		
CORPO DA ESTRUTURA PG-30110	300												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	240												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	720	12,0					12,0						0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	240												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	120												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	330												0	0	0		
AVENTAL MÓVEL PG-30110	840				</												

Anexo D: Exemplo de folha de registo de paragens não planeadas.

REGISTO DE PARAGENS NÃO PLANEADAS		SMED: MONITORIZAÇÃO DO TEMPO DE SETUP										
TIPO		DESCRÇÃO		ARTIGO		DESCRÇÃO DA PARAGEM		1º TURNO		2º TURNO		OBS/TIPO
		MUDANÇA DE PEÇAS						Inicio		fim		
		VIRAGEM DE PEÇAS						Inicio		fim		
16/6	197152	X1-3363						8:10	8:26	V		
"	"	"						8:30	9:40	V		
"	"	"						15:30	16:16	V		
17/6	197151							7:20	8:13	V		
"	"	"						9:00	9:40	M		
"	"	"						10:00	10:40	M		
"	"	"						12:10	12:20	M		
"	"	"						7:00	7:40	V		
"	"	"						12:10	12:20	M		
18/6	197157	X9-										
18/6	197158	X2-2363										
18/6	"	"										
"	"	"										
"	"	"										
20/6	197152							12:20	13:20	V		
20/6	"	"										
"	"	"						19:30	20:30	M		
21/6	197254	X1-3131										
"	"	"						22:30	23:00			
"	"	"						6:30	8:00			

Anexo E: Cálculos do OEE.

215											
Semana	Mudança	Viragens	Micro	Disponibilidade	Não Planeadas	Rendimento	Qualidade	Efectivo	Perda	OEE	OEE x Capacidade
17	9	13	2,97	80,00	25,13	1,51261767	16,00	37,35	42,65	46,69%	37,3540049
18	8	3	2,50	64,00	13,67	0,00	4,33	46,00	18,00	71,88%	46
19	4	6	2,83	80,00	12,67	0,96589004	6,25	60,12	19,88	75,15%	60,11744329
20	6	5	3,67	80,00	14,50	7,555308178	2,83	55,11	24,89	68,89%	55,11135849
21	11,5	8	3,33	80,00	22,83	0,00	0,50	56,67	23,33	70,83%	56,66666667
22	10	3	3,00	80,00	16,42	0,00	0,00	63,58	16,42	79,48%	63,58333333
23	10	8	1,90	80,00	20,65	0,00	0,00	59,35	20,65	74,19%	59,35
210											
Semana	Mudança	Viragens	Micro	Disponibilidade	Não Planeadas	Rendimento	Qualidade	Efectivo	Perda	OEE	OEE x Capacidade
17	3,33	0,00	1,63	45,00	4,96	11,50761835	4,33	24,20	20,80	53,78%	24,20071499
18	5,83	0,00	0,75	28,00	6,583333333	2,66562533	0,00	18,75	9,25	66,97%	18,75101413
19	2,83	0,00	1,00	80,00	3,83	22,35309741	4,33	49,48	30,52	61,85%	49,48023592
20	6,00	0,00	0,50	80,00	6,50	0	0,00	73,50	6,50	91,88%	73,5
21	9,08	1,75	1,03	80,00	11,87	9,459315229	0,00	58,67	21,33	73,34%	58,6740181
22	7,00	0,00	1,67	80,00	8,75	4,8299375	4,67	61,75	18,25	77,19%	61,75339583
23	4,50	4,60	0,75	80,00	9,83	3,720938717	0,00	66,45	13,55	83,06%	66,44572795
151											
Semana	Mudança	Viragens	Micro	Disponibilidade	Não Planeadas	Rendimento	Qualidade	Efectivo	Perda	OEE	OEE x Capacidade
17	2,17	9,16	2,00	80,00	13,91	0	0,00	66,09	13,91	82,61%	66,09
18	4,58	8,75	1,08	64,00	16,91333333	0	0,00	47,09	16,91	73,57%	47,08666667
19										0	0
20										0	0
21										0	0
22	2,58	3,58	2,13	45,00	8,3	0	0	36,70	8,30	81,56%	36,7
23	2,92	0,91	1,25	35,00	12,08333333	0	0	22,92	12,08	65,48%	22,91666667
164											
Semana	Mudança	Viragens	Micro	Disponibilidade	Não Planeadas	Rendimento	Qualidade	Efectivo	Perda	OEE	OEE x Capacidade
17	3,00	0,00	0,42	35,00	5,416666667	0	0	29,58	5,42	84,52%	29,58333333
18	4,58	1,75	1,21	64,00	7,541666667	0	0	56,46	7,54	88,22%	56,45833333
19	4,67	6,00	1,21	80,00	11,875	1,044613504	0	67,08	12,92	83,85%	67,0803865
20	4,17	5,50	1,33	80,00	11,00	3,401408451	0,00	65,60	14,40	82,00%	65,59859155
21	2,17	4,41	1,00	80,00	7,58	9,385403737	0,00	63,03	16,97	78,79%	63,03128293
22	4,67	4,08	1,67	80,00	10,42	0,65389167	0	68,93	11,07	86,16%	68,92934417
23	2,58	0,50	0,67	35,00	3,75	3,189083753	0	28,06	6,94	80,17%	28,06091625
TOTAL											
Semana	Mudança	Viragens	Micro	Disponibilidade	Não Planeadas	Rendimento	Qualidade	Efectivo	Perda	OEE	OEE x Capacidade
17	20,50	24,16	8,05	285,00	53,46	17,21	20,33	194,00	91,00	0,68	29,58333333
18	24,66	13,61	6,54	300,00	47,38	30,61	4,33	217,68	82,32	0,73	56,45833333
19	13,25	13,00	6,38	285,00	32,38	28,72	10,58	213,32	71,68	0,75	67,0803865
20	16,17	10,50	5,50	240,00	32,00	10,96	2,83	194,21	45,79	0,81	65,59859155
21	14,16	14,16	5,37	240,00	42,28	18,84	0,50	178,37	61,63	0,74	63,03128293
22	24,25	10,66	8,47	286,00	43,88	5,48	4,67	230,97	54,03	0,81	68,92934417
23	20,00	18,20	4,57	257,95	46,32	6,91	0,00	176,77	53,23	0,69	28,06091625
20,62	15,19	6,59	37,42	270,56	37,42	17,31	5,66				
Média											

% Não Planeadas	% Mudanças	% Viragens	% Micro	% Outras	% Rendimento	% Qualidade
58,75%	38,35%	45,19%	15,06%	1,40%	18,91%	22,34%
57,55%	52,05%	28,73%	13,81%	5,41%	37,19%	5,26%
45,17%	40,92%	40,15%	19,69%	0,00%	40,07%	14,76%
69,88%	50,53%	32,81%	17,19%	0,00%	23,93%	6,19%
68,61%	53,80%	33,49%	12,69%	0,02%	30,58%	0,81%
81,21%	55,26%	24,29%	19,29%	1,15%	10,15%	8,64%
87,02%	43,18%	39,29%	9,86%	7,67%	12,98%	0,00%
66,88%	47,73%	34,85%	15,37%	2,05%	24,83%	8,29%

Anexo F: Cartaz com a descrição do modo operatório proposto.

<h1>Modo Operatório</h1>		
Operação	Descrição	Tipo de Trabalho
Início da última passagem	Deixar a operação/passagem mais longa para o final da maquinagem	
Espera da Ponte	Ponte Livre	Trabalho Externo: Enquanto a máquina dá a última passagem, fazer o que for possível antes da ferramenta parar.
Transporte da Peça a Maquinar	Buscar/Colocar corrente no guincho Ir buscar a peça que vai maquinar a seguir Prender corrente à peça Transportar a peça para junto da máquina	
Fim da última passagem	Fresa pára	
Tira Peça Maquinada	Limpar a peça Engatar guincho na peça Pousar peça no chão	Trabalho Interno: Quando a ferramenta está parada é muito importante ser o mais eficiente possível. Fazer única e exclusivamente aquilo que não possa ser feito enquanto a máquina está a trabalhar. Lembre-se que tempo de ferramenta parada é tempo desperdiçado!
Limpeza Máquina	Limpar Máquina	
Pôr Peça que vai Maquinar	Engatar guincho na peça Coloca-la em cima da mesa	
Preparação do Aperto	Escolher stio para apertar Pôr calços de apoio Tirar corrente Pôr calços de nivelamento	
Aperto	Pôr barras de fixação e apertar a peça	
Início do Novo Trabalho	Montar a ferramenta e Iniciar o novo trabalho.	
Arrumar Peça já Maquinada	Pôr Cabo de Aço c/ Agarras Transportar peça nos suportes Tirar Patolas Arrumar Patolas Arrumar Cabo de Aço Tirar e Arrumar Calços	Trabalho Externo: Aproveitar uma das primeiras passagens longas que permita ir arrumar a peça já maquinada.

Anexo G: Sequência de imagens do modo operatório proposto para os *setups* das máquinas.

