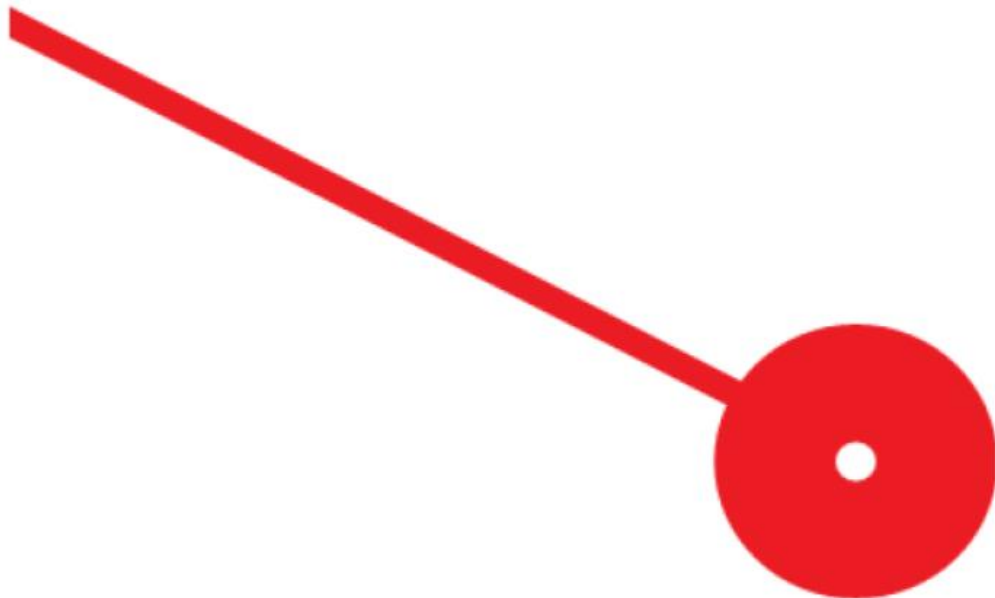


Desenvolvimento de modelo de simulação da metodologia DDMRP

Joana Costa Portela

10/2020



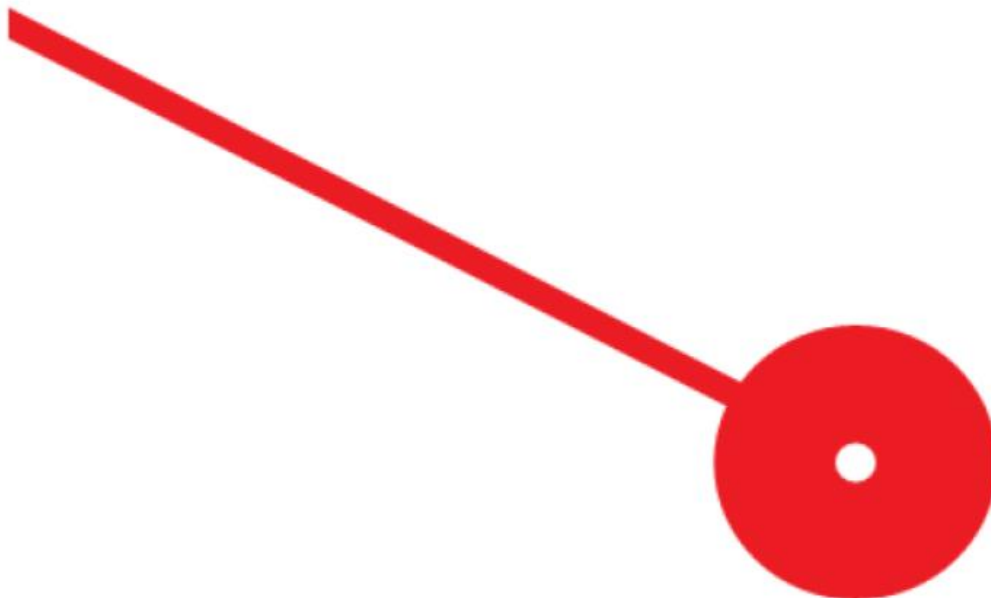
Versão final

M MESTRADO
LOGÍSTICA

Desenvolvimento de modelo de simulação da metodologia DDMRP

Joana Costa Portela

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto Politécnico do Porto para obtenção do Grau de Mestre em Logística, sob orientação do Professor Doutor Manuel Joaquim Pereira Lopes



Resumo

O Planeamento de Necessidades de Materiais Orientado pela Procura (DDMRP) foi introduzido em 2011 para melhorar o desempenho do planeamento da cadeia de abastecimento, é um método que promete ser revolucionário na área do planeamento e gestão de materiais.

De acordo com relatórios do Demand Driven Institute (DDI), o DDMRP reduz os níveis de inventário em cerca de 31% enquanto melhora os níveis de serviço em cerca de 13% e permite a redução dos prazos de entrega dos pedidos dos clientes. Esses resultados podem ter um impacto significativo no desempenho financeiro de uma empresa e fornecer vantagem competitiva.

Esta monografia tem como objetivo contribuir para a melhor compreensão do método DDMRP, bem como demonstrar e facilitar a sua implementação através do desenvolvimento de um simulador que permite criar, analisar e otimizar diferentes configurações da cadeia de abastecimento.

Palavras-chave: DDMRP; Sistema Pull; Gestão Lean; Gestão de inventário.

Abstract

The Demand-Driven Material Requirements Planning (DDMRP) was introduced in 2011 to improve the performance of supply chain planning, it is method that promises to be revolutionary in the scope of materials planning and management.

According to reports by the Demand Driven Institute (DDI), the DDMRP reduces inventory levels around 31% while improve service levels around 13% and it allows the reduction of delivery times for customer orders. Such results can have a significant impact on a company's financial performance and provide a competitive advantage.

This monograph intends contribute to a better understanding of the DDMRP method, as well, to explain and facilitate the implementation through the development of a simulator that allows to create, analyze and optimize the different configurations of the supply chain.

Keywords: DDMRP; Pull System; Lean Management; Inventory management.

Agradecimentos

Agradeço ao Professor Doutor Manuel Pereira Lopes, meu orientador, todo o apoio concedido e toda a partilha de conhecimento que me transmitiu no decorrer deste projeto.

Ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto, pela qualidade de ensino e experiências de aprendizagem que me proporcionaram.

Ao meu noivo por toda a compreensão e apoio durante todo este percurso académico.

Agradeço aos meus pais e avó pelas palavras de coragem e pelos valores que me inculcaram ao longo da vida pessoal, profissional e académica.

Aos colegas de trabalho com quem pude partilhar conhecimentos ao longo deste projeto.

Lista de abreviaturas

ADU: Uso médio diário de *stock*

ASR: *Actively Synchronized Replenishment*

ASRLT: *Actively Synchronized Replenishment Lead Time*

BOM: *Bill of Material*

CT: *Custo Total de manutenção de inventário*

DDMRP: *Demand-Driven Material Requirements Planning*

G-BOM: *General Bill of Material*

JIT: *Just-In-Time*

MRP: *Material Requirement Planning*

S-BOM: *Simple Bill of Material*

TPS: *Toyota Production System*

WIP: *Work in Progress*

Índice de conteúdos

1. Introdução.....	1
1.1. Motivações.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Metodologia.....	2
2. Revisão Bilbiográfica.....	3
2.1. Filosofia <i>Lean</i>	3
2.2. Vantagem competitiva.....	4
2.3. Valor.....	5
2.4. Desperdícios.....	6
2.5. Conceito <i>Just-In-Time</i>	8
2.6. WIP.....	10
2.7. Efeito <i>bullwhip</i>	11
2.8. Sistemas de produção.....	13
2.8.1. Sistemas <i>Push</i>	13
2.8.1.1. MRP.....	14
2.8.2. Sistemas <i>Pull</i>	16
2.8.2.1. Kanban.....	17
2.8.2.2. CONWIP.....	18
2.8.3. Sistemas Push/Pull: DDMRP.....	19
2.8.3.1. Fundamentos do DDMRP.....	20
2.8.3.2. DDMRP vs MRP.....	26
2.9. Jogos didáticos e simuladores.....	29
2.9.1. Fundamentos.....	29
2.9.2. Vantagens dos jogos e simulações.....	30
3. Simulador DDMRP.....	31
3.1. Objetivos.....	31
3.2. Modelo matemático DDMRP.....	31
3.3. Funcionamento.....	36
3.4. Simulação.....	43
4. Conclusão.....	51
Bibliografia.....	52

Índice de tabelas

Tabela 1 - Intervalos de impacto recomendados para as zonas verde e vermelha, (Rim, Jiang, & Lee, 2014).....	34
Tabela 2 - Intervalos de impacto recomendados para a segurança da zona vermelha, (Rim, Jiang, & Lee, 2014)	35
Tabela 3 - Parâmetros da simulação	36
Tabela 4 – Dados BOM A	37
Tabela 5 - Grelha de dados 1, BOM A.....	38
Tabela 6 - Grelha de dados 2, BOM A.....	39
Tabela 7 - Grelha de dados 3, BOM A.....	39
Tabela 8 - Grelha de dados 4, BOM A.....	40
Tabela 9 - Grelha de dados 5, BOM A.....	40
Tabela 10 - Grelha de dados 6, BOM A.....	41
Tabela 11 - Grelha de dados 7, BOM A.....	41
Tabela 12 - Grelha de dados 8, BOM A.....	42
Tabela 13 - Q (OBJETIVO), BOM A	42
Tabela 14 - Grelha de decisão	43
Tabela 15 - Grelha de decisão, BOM A, simulação concluída.....	43
Tabela 16 - Resultados: Relação entre CT e Q.....	44
Tabela 17 - Dados BOM B.....	46
Tabela 18- Grelha de dados 1, BOM B	46
Tabela 19 - Grelha de dados 2, BOM B	47
Tabela 20 - Grelha de dados 3, BOM B	47
Tabela 21 - Grelha de dados 4, BOM B	47
Tabela 22 - Grelha de dados 5, BOM B	47
Tabela 23 Grelha de dados 6, BOM B.....	47
Tabela 24 - Grelha de dados 7, BOM B	48
Tabela 25 - Grelha de dados 8, BOM B	48
Tabela 26 - Dados BOM C.....	49
Tabela 27 - Grelha de dados 1, BOM C	49

Índice de figuras

Figura 1 - Três estratégias genéricas, (Porter, 1985).....	5
Figura 2 – Aumento da variabilidade dos pedidos na cadeia de abastecimento, (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997).....	12
Figura 3 - Sistema Push, (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)	13
Figura 4 - Sistema Kanban, (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016).....	18
Figura 5 - CONWIP, (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)	19
Figura 6 - Fases de implementação do DDMRP, (Ptak & Chad, 2011), retirado de R. Miclo et al. (2016).....	21
Figura 7 - Codificação das zonas por cores no sistema DDMRP.....	22
Figura 8 - Zonas de estratificação de buffers, (Shofa, & Widyarto, 2017)	22
Figura 9 - Zonas efetiva/ineficaz vs. níveis de buffer, (Shofa, & Widyarto, 2017)	23
Figura 10 - Termos utilizados para explicação da BOM.....	25
Figura 11 - BOM A	37
Figura 12 - "RESULTADO", "Q (OBJETIVO)" e ASRLT "ATUAL"	42
Figura 13 - Teclas de atalho no simulador	43
Figura 14 - BOM A, simulação concluída.....	44
Figura 15 – BOM B	45
Figura 16 - BOM B, simulação concluída.....	48
Figura 17 – BOM C	48
Figura 18 - BOM C, simulação concluída.....	50

Índice de gráficos

Gráfico 1 - Relação entre CT e Q.....	45
---------------------------------------	----

1. Introdução

A logística desempenha um papel fundamental no que respeita à procura por agilizar processos internos, minimizar custos, gerar valor para o cliente e garantir o melhor desempenho das organizações.

No âmbito da gestão da produção existem diferentes modelos que são aplicados à realidade das diferentes empresas, assim como existe a adaptação de diferentes modelos por partes das empresas à sua realidade, resultado na utilização do conjunto de vários conceitos a fim de obter as maiores vantagens para a sua realidade.

O sistema MRP foi desde o seu início, o sistema com maior relevância e aplicabilidade no setor da produção, no entanto, face à dificuldade de precisão na previsão da procura, o MRP foi-se tornando uma ferramenta com maior foco em gerar necessidades de produção e compra. (Rim, Jiang, & Lee, 2014) Neste cenário, surge a metodologia DDMRP, uma metodologia recente e inovadora que visa melhorar as decisões dos gestores e atender às exigências do mercado que são cada vez maiores.

O foco do DDMRP vai muito para além de questões relacionadas com o planeamento da produção e dos inventários, o DDMRP foca-se em entender quais os pontos estratégicos onde deve ser colocado o inventário. (Rim, Jiang, & Lee, 2014)

O facto de existir inventário em processo, não garante que a data entrega do produto final ao cliente será cumprida, e é neste contexto que surge a necessidade de identificar as posições ideais do inventário e as corretas quantidades.

1.1. Motivações

Abordar um tema recente, do qual existe ainda informação e bibliografia muito limitada foi o grande desafio desta dissertação, mas em simultâneo, foi um grande fator motivador poder retirar deste trabalho o máximo de conhecimento e competências.

1.2. Objetivos

Esta dissertação tem como principais objetivos, numa primeira fase explorar esta metodologia e posteriormente, o desenvolvimento de um simulador que possa contribuir para a sua melhor compreensão e para o apoio à tomada de decisão na sua implementação em diferentes realidades.

1.3. Metodologia

Esta dissertação está dividida em três fases:

1ª fase: Revisão Bibliográfica - Serão abordados conceitos gerais e fundamentais no âmbito das organizações e da logística e apresentadas as diferentes metodologias de sistemas de produção;

2ª fase: Simulador DDMRP – Apresentação do simulador e abordagem prática mediante apresentação de algumas simulações;

3ª fase: Conclusões – Nesta fase serão apresentadas as conclusões dos resultados obtidos nas simulações tendo como vista o entendimento da relação causa-efeito dos diferentes parâmetros em análise;

Para a elaboração desta dissertação foi realizada uma pesquisa com base em artigos científicos assim como estudos realizados em contexto acadêmico e livros de autor, no sentido de trazer um contributo adicional para este tema.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Filosofia *Lean*

A filosofia *Lean* teve as suas origens no sistema de produção da *Toyota – Toyota Production System*, criado por Taiichi Ohno por volta de 1988. A sua aplicabilidade foi alargada fundamentalmente para o setor da indústria automóvel por volta de 1940. A *Toyota* surge como a empresa pioneira a abordar a filosofia *Lean* e a adotar as práticas aliadas a esta filosofia. (Womack, Jones, & Roos, 1992)

Para o autor James P. Womack o Sistema de Produção *Toyota - Toyota Production System* (TPS) – surgiu pela necessidade de eliminação completa de desperdícios e que procura a utilização dos métodos mais eficientes na produção com base no conceito *Just-In-Time*, criado por Kiichiro Toyota e o qual Taiichi Ohno levou a cabo o seu desenvolvimento, sendo considerado o “mentor” do TPS e do Sistema *Kanban*.

A filosofia *Lean*, tem como objetivo principal alcançar a perfeição no que relaciona à conceção de produtos. Para ser possível alcançar esse objetivo, aos princípios desta filosofia, aliam-se a procura pela redução de custos nos processos de fabricação, produzir com zero defeitos e ter zero produtos em inventário, permitindo sempre a satisfação das necessidades dos consumidores colocando à sua disposição exatamente os produtos que procuram, considerando sempre os melhores resultados para a situação financeira da organização.

O conceito *Lean Thinking* representa essa filosofia conhecida como “pensamento magro”, cujos princípios surgem em 1996 pelos estudos de James Womack e Daniel Jones.

A filosofia *Lean* refere-se à liderança e gestão que têm como principais objetivos:

- A eliminação dos desperdícios: o desperdício é tido como qualquer atividade que não acrescenta valor, e pela utilização de recursos utilizados de forma inadequada e que contribuem para o aumento dos custos e de tempo.

- A criação de valor: valor é considerado o ponto de partida crítico para o “*Lean Thinking*” e só pode ser definido pelo cliente final. (Womack & Jones, 2003)

James P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Roos, autores do Livro “A máquina que mudou o mundo”, expõem os motivos que originaram a queda de uma empresa de produção automóvel cuja produção não era padronizada e na qual a qualificação da mão de obra estava baseada nas habilidades dos seus operários – produção artesanal – este tipo de produção utilizava ferramentas simples para produção sob encomenda, e na qual nenhum produto era exatamente igual, gerando custos elevados numa produção não padronizada. Contrapondo a

esta, os autores apresentam os princípios da produção em série, que surgiu como meio alternativo à produção artesanal, onde o mesmo produto era produzido repetidas vezes, podendo incluir pequenos ajustes, e otimizar os custos de produção, ainda assim, era uma produção elevada, que colocava produtos no mercado, e os escoava com uma forte componente de técnicas de venda e *marketing*.

Após um período de grande triunfo desta forma de produção, o processo inverteu-se, pois, a produção não era escoada e os níveis de inventário aumentavam, originando perdas financeiras.

A filosofia Lean, tem como grande diferencial, permitir às empresas oferecerem produtos padronizados e com qualidade, mas visando sempre o conceito de não gerar desperdícios e escoar toda a produção que é realizada.

2.2. Vantagem competitiva

Para Michael Porter (1985), vantagem competitiva introduz o conceito de cadeia de valor, ou seja, serve como uma estrutura geral para pensar estrategicamente sobre as atividades envolvidas em qualquer negócio e avaliar o seu custo relativo e papel na diferenciação.

A estratégia é uma configuração consistente de atividades dentro de uma empresa que permite a distinção dela em relação aos seus concorrentes. Assim como, a capacidade de agregar valor por meio da competição em vários negócios pode ser entendida em termos de compartilhamento de atividades ou transferência de competências entre atividades. (Porter, 1985)

Segundo Michael Porter (1985), a vantagem competitiva permite uma forma de ir além das características amplas ou unidimensionais de vantagem competitiva. Muitos dos primeiros trabalhos no campo atribuíram a vantagem competitiva ao tamanho geral ou à participação da empresa no mercado. Por um lado, porque o tamanho e a participação são muito significativos para o custo ou a diferenciação em alguns setores do negócio do que em outros, por outro lado, porque as pequenas e médias empresas superam as empresas maiores em muitos setores. De uma forma geral, existem três orientações estratégias genéricas de vantagem competitiva, conforme demonstra a Figura 1.

		COMPETITIVE ADVANTAGE	
		Lower Cost	Differentiation
COMPETITIVE SCOPE	Broad Target	1. Cost Leadership	2. Differentiation
	Narrow Target	3A. Cost Focus	3B. Differentiation Focus

Figura 1 - Três estratégias genéricas, (Porter, 1985)

A vantagem competitiva pode surgir de várias fontes e mostra como todas as vantagens podem estar interligadas a atividades específicas e como as atividades se relacionam entre si, com as atividades do fornecedor e do cliente. (Porter, 1985) Quer isto dizer, que a vantagem competitiva pode surgir de uma série de atividades, na medida em que cada atividade pode contribuir de alguma forma para a posição dos custos da empresa, e as mesmas, criam também uma base para a diferenciação da empresa.

O fator mais relevante numa cadeia de valor está relacionado com as atividades de cada empresa individualmente para uma determinada indústria. Uma cadeia de valor ao nível da indústria seria demasiado agregadora pois poderia ocultar importantes fontes de vantagem competitiva.

2.3. Valor

Considera-se que tem valor, tudo aquilo que justifique atenção, tempo e esforço dedicado a algo.

A diferença entre o valor, ou seja, aquilo que os compradores estão dispostos a pagar por um produto ou serviço, e o custo para realizar as atividades envolvidas na sua criação, determina os lucros. (Porter, 1985)

A cadeia de valor permite uma forma rigorosa de entender as fontes de valor do comprador que geram um preço e permitem perceber o porquê de um produto ou serviço substituir outro. (Porter, 1985)

A logística cria valor quando origina algum grau de satisfação ao cliente ou consumidor. (Carvalho, 1996)

Para uma organização criar valor para as partes interessadas (colaboradores, clientes, fornecedores, acionistas e sociedade como um todo), deve procurar desenvolver atividades que vão de encontro com as suas necessidades e expectativas.

Todas as atividades que não gerem valor, são consideradas desperdício, pois as mesmas não são expectáveis para as partes interessadas, e por isso devem ser eliminadas. Essas atividades chamadas de MUDA, podem surgir em processos burocráticos, deslocamentos, inspeções de qualidade, tempos de espera, pelo que devem ser identificadas e quantificadas pelas organizações, e através delas encontrar oportunidades de melhoria.

2.4. Desperdícios

Uma das principais características associadas à filosofia *Lean* está relacionada com a eliminação de desperdícios. Entendem-se por desperdícios, todas as atividades e etapas que não adicionam valor ao produto ou aos serviços. (Womack, Jones, & Roos, 1992)

Eliminando os desperdícios é possível agregar valor aos sistemas de produção, dessa forma produzir produtos de qualidade visando a satisfação do cliente. (Bakri, Rahim, Yusof, & Ahm, 2012)

Ao desperdício está associada qualquer atividade que não acrescenta valor. (Slack, Chambers, Harland, & Harrison, 1997)

As fontes de desperdício estão relacionadas com as maiores fontes de perda nos sistemas produtivos e encontram-se nas atividades de: Retrabalho; Excesso de processamento; Sobreprodução; Tempos de espera/ Paragens; Movimentação de pessoas; Excesso de inventário; Transporte.

Retrabalho / Defeitos

Este tipo de desperdício acontece quando há a produção de material defeituoso ou manuseio incorreto de materiais. Isso inclui o desperdício inerente ao retrabalho de peças que não foram feitas corretamente à primeira. Também inclui perdas de produtividade associadas à interrupção da continuidade de um processo para lidar com defeitos ou retrabalho. (Bucourt, Busse, Güttler, & Wintzer, 2011)

As atividades de retrabalho e defeitos, conseqüentemente inspeção e atividades administrativas originam custos ao processo produtivo. O conceito “zero defeitos” surge

como a máxima de que é melhor evitar erros do que encontrá-los, desta forma o estado ideal é encontrar os pontos de possíveis falhas antes de acontecerem.

Excesso de processamento

São consideradas desperdício todas as atividades ou esforços executados que não são pedidos pelo cliente e não acrescentam valor ao produto, considerando-se dessa forma, excesso de processamento. Acontece quando se faz mais pelo produto do que o necessário. Este tipo de desperdício é mais difícil de identificar e eliminar. (Bucourt, Busse, Güttler, & Wintzer, 2011)

Podem estar relacionadas com atividades mais burocráticas, aprovações, políticas da empresa ou testes ao produto. Deve-se procurar estabelecer processos simples ajustados à realidade de cada organização.

Sobreprodução

Produção de componentes que não se destinam a uso ou venda imediata. (Bucourt, Busse, Güttler, & Wintzer, 2011)

A sobreprodução pode ser motivada por *lead times* de produção longos, *setups* elevados, causando a necessidade de assegurar *stock* ou pela ênfase atribuída à taxa de ocupação do equipamento em deterioramento da definição de prioridades de produção. A produção em excesso gera consumos antecipados de matéria-prima e conseqüentemente encomendas desnecessárias.

Tempos de espera/ Paragens

As paragens acontecem quando os operadores esperam por informação ou materiais para darem seguimento às suas atividades, quando estão apenas a acompanhar máquinas a trabalhar ou que fiquem disponíveis, ou quando não existe um correto balanceamento das tarefas na linha de produção. (Bucourt, Busse, Güttler, & Wintzer, 2011)

Paragem é originada pelo tempo de espera no qual não se realiza nenhuma atividade que acrescenta valor ao produto, sendo por isso considerada um desperdício.

Movimentação de pessoas

Este desperdício está associado a qualquer movimento que não seja necessário para uma operação, movimentos no próprio posto de trabalho para obter peças ou ferramentas. (Bucourt, Busse, Güttler, & Wintzer, 2011)

A movimentação desnecessária de pessoas e equipamentos durante as operações é considerada um desperdício pois não acrescenta valor, e acontece quando há uma incorreta organização do espaço físico de trabalho, ou incorreta definição e organização dos processos e operações, refletindo-se na baixa produtividade das mesmas. Para evitar este desperdício, devem manter-se o mais próximo possível do local de trabalho os equipamentos e ferramentas que são necessários, e manter o *layout* da área de trabalho o mais funcional possível. A aplicação do método 5 S's é essencial para eliminar movimentações desnecessárias, permitindo identificar quais os locais adequados para as ferramentas a serem utilizadas.

Excesso de inventário

A existência de materiais acima da quantidade necessária para satisfazer a procura do cliente é considerada excesso de inventário. O excesso de inventário acontece quando há excesso de matéria-prima, produtos em andamento e produtos acabados. (Bucourt, Busse, Güttler, & Wintzer, 2011)

Pode acontecer devido a tempos de entrega muito longos para determinados materiais, ou pela necessidade de produzir em grandes lotes de fabrico, seja para colmatar problemas de fornecimentos, avarias ou *stocks* de segurança.

Transporte

Este desperdício acontece quando há movimentação e manuseamento de materiais desnecessários, pois poderiam ser evitados. Pode ser causado por *layouts* pouco eficientes. (Bucourt, Busse, Güttler, & Wintzer, 2011)

O transporte de materiais por si só, é considerado um desperdício pois não agrega valor ao produto, ainda assim é essencial para assegurar o fluxo de produção. Quando há excesso de manuseamento dos materiais, pode refletir-se em estragos nos mesmos, maiores tempos de entrega, originando maiores custos indiretos.

2.5. Conceito *Just-In-Time*

O *Just-in-time* (JIT) é um conceito associado a uma filosofia tanto quanto a um método para controlo e planeamento de operações. (Slack, Chambers, Harland, & Harrison, 1997)

O termo JIT é um dos principais conceitos aliados à filosofia *Lean* que teve as suas origens no Japão.

Um sistema de compras a operar em JIT requer quantidades menores de pedidos e cumprimento de prazos de entrega mais curtos. Portanto, os fabricantes que operam com base nesta filosofia, devem atuar em estreita colaboração com os seus fornecedores. Para tirar o melhor proveito das operações em JIT deve existir um bom relacionamento entre fornecedor e comprador para uma estreita colaboração comercial enquanto parceiros estratégicos. (Aksoy & Öztürk, 2011)

A implementação da filosofia JIT requer o envolvimento total de todos os elementos da organização, trabalho em equipa, flexibilidade e simplicidade de processos e operações.

A aquisição de peças e materiais é uma questão muito importante para uma implementação bem-sucedida e eficaz do sistema JIT, e, conseqüentemente, a seleção de fornecedores e a avaliação de desempenho de longo prazo são aspetos críticos em ambientes de produção JIT. Muitos fabricantes empregam a filosofia JIT para serem mais competitivos no mercado global. O sucesso do JIT no chão de fábrica levou a que muitas empresas tenham expandido a filosofia JIT para toda a cadeia de abastecimento. (Aksoy & Öztürk, 2011)

O planeamento e controlo das operações em JIT visa atender à procura de forma instantânea, com a qualidade perfeita e sem gerar desperdícios – ou seja – produzir os bens no momento em que são necessários. (Slack, Chambers, Harland, & Harrison, 1997)

Operar em JIT permite uma produção eficaz no que respeita aos custos, com a qualidade correta, no lugar certo e no tempo certo, utilizando o mínimo de recursos no que respeita a instalações, equipamentos, materiais e recursos humanos.

Slack et al. (1997), descrevem que ao termo JIT surgem associados outros conceitos nomeadamente: produção em fluxo contínuo, produção de elevado valor acrescentado, produção sem inventário ou com mínimos níveis de inventário, tempos de ciclo reduzidos e produção *Lean*.

Em Slack et al. (1997), podemos perceber que, ao contrário da visão de produção clássica, na qual cada estágio de produção tem o seu inventário tornando-se por isso independente da produtividade dos estágios anteriores ou seguintes, num sistema de produção JIT todos os estágios de produção estão interligados o que significa que os níveis de produtividade de um influenciam todo o sistema de produção, assim como os problemas de um estágio rapidamente se tornam os problemas de todo o sistema, o que provoca uma maior necessidade de encontrar rapidamente o problema para trabalhar rapidamente sobre a solução.

Eventualmente, num sistema de produção a operar em JIT, a utilização da capacidade de produção pode ser colocada em causa. Num sistema de produção clássico, em que há

inventário para cada estágio de produção, um problema num dos estágios, não irá condicionar os outros pela falta de material, pelo que continua a ser utilizada a sua capacidade de produção. Já no caso da produção em JIT, um problema num dos estágios coloca em causa todas as operações, causando interrupções nas mesmas, o que levará consequentemente à reduzida utilização da capacidade de produção, pelo menos no curto prazo. Ainda assim, o grande argumento utilizado para a produção em JIT é que não há vantagem em produzir só para garantir inventário, correndo-se o risco de produzir algo que não será escoado no futuro.

A grande diferença de um sistema JIT para um sistema clássico remete-se à criação de inventário, sendo que, na visão do sistema JIT os inventários representam capital parado que recaem sobre o sistema de produção encobrendo os problemas e dificultando a sua identificação.

A implementação do sistema JIT requer um alto desempenho do sistema produtivo nomeadamente nos seguintes requisitos:

- Qualidade: de forma a evitar distúrbios na produção causados por erros de qualidade, e eliminando a necessidade de criação de inventário para suprir as necessidades em caso de falha;
- Velocidade: um rápido e ágil fluxo de materiais é necessário para se atender aos pedidos dos clientes com a produção evitando a criação de inventário;
- Confiabilidade: é um requisito essencial para se trabalhar num fluxo rápido;
- Flexibilidade: Quanto mais flexível é um sistema de produção, mais fácil é para conseguir realizar produções de lotes pequenos permitindo *lead times* curtos. (Slack, Chambers, Harland, & Harrison, 1997)

2.6. WIP

WIP é a sigla para *work in process*, que significa trabalho em processo, é o termo utilizado para os produtos em fase de fabricação. Permite reduzir os tempos de espera entre estações, mas acarreta custos de manutenção de inventário. (Jiang & Rim, 2017)

Para que o prazo de entrega exigido pelos clientes seja cumprido, é necessário haver inventário em processo WIP em quase todas as estações/postos de trabalho na maioria das linhas de produção por encomenda. Dependendo da configuração do *layout* e da própria estação/posto de trabalho e do tempo de espera em cada uma das estações, por vezes o WIP não contribui para redução do *lead time* de fabricação do produto final. Portanto, torna-se fundamental identificar o conjunto ideal de estações/postos de trabalho para manter WIP, de

modo que o custo total de inventário seja minimizado, e o *lead time* do produto final seja cumprido. (Jiang & Rim, 2016)

2.7. Efeito *bullwhip*

O efeito *bullwhip* ou “efeito chicote” acontece quando a compra pelo produto final é feita a uma taxa constante, mas as variabilidades da procura na cadeia de abastecimento são ampliadas à medida que avançam na cadeia de abastecimento. (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997) Ou seja, acontece quando com uma pequena flutuação na aquisição do produto final por parte do consumidor final ainda que tenha habitualmente uma taxa constante, há um significativo aumento no grau de variabilidade à medida que se avança na cadeia de abastecimento (Figura 2).

Para resolver este problema de informação distorcida, é necessário primeiro que as empresas entendam o que origina o “efeito chicote” para que possam neutralizá-lo.

As quatro principais causas do “efeito chicote” estão relacionadas com:

- **Atualização da previsão da procura:** Cada empresa faz geralmente a previsão da sua programação de produção, planeamento de capacidade, controlo de inventário e requisitos de material baseada no histórico de pedidos dos clientes. Os pedidos que a empresa envia ao fornecedor refletem a quantidade necessária para reabastecer os inventários para atender às necessidades do futuro, assim como contemplam os *stocks* de segurança. Quando se utiliza a técnica de suavização exponencial para abastecimento de inventário, o *stock* de segurança contribui para o “efeito chicote” pois os pedidos aos fornecedores sofrerão oscilações maiores. E quanto maior o tempo de espera entre o reabastecimento dos artigos ao longo da cadeia de abastecimento, a flutuação é ainda mais significativa. (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997)

- **Encomenda em lote:** Quando não é possível repor o inventário imediatamente, acontece o agrupamento de pedidos antes de emitir uma ordem ao fornecedor. Há duas alternativas de pedidos - pedidos periódicos e ou pedidos *push*. Esta gestão é fundamental, pois quando é feita de forma desajustada, numa situação de picos de procura, a variabilidade apresentada ao fornecedor poderá ser muito maior e desajustada. Pedidos periódicos amplificam a variabilidade e contribuem para o “efeito chicote”. (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997)

- **Flutuação de preço:** Quando os fabricantes e distribuidores apresentam promoções especiais, como por exemplo descontos no preço ou descontos por quantidade, essas promoções resultam em flutuações de preços. Essas promoções acarretam consequências

diretas na cadeia de abastecimento, pois o cliente tende a comprar em maiores quantidades durante o período de desconto, o que não reflete o seu padrão de consumo, e a variação das quantidades de compra é muito maior do que a variação da taxa de consumo, originando o “efeito chicote”. (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997)

- **Jogo de ração e escassez:** Quando a procura do produto é superior à oferta, o fabricante frequentemente consegue escoar o produto. Quando a procura é menor do que a oferta, acontece a situação contrária. Pode acontecer o cenário em que o consumidor antecipa uma escassez, realiza os pedidos e depois compra em menor quantidade (por exemplo pedindo a vários fornecedores, mas comprando apenas a um e em consequência cancelando os outros pedidos). Neste caso, o “efeito chicote” pode surgir num contexto em que os pedidos dos clientes fornecem poucas informações ao fornecedor sobre a procura real do produto. (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997)



Figura 2 – Aumento da variabilidade dos pedidos na cadeia de abastecimento, (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997)

Cada uma das quatro causas mencionadas anteriormente, em conjunto com a infraestrutura da cadeia de abastecimento e a tomada de decisão racional dos gestores criam o “efeito chicote”.

Para um melhor controlo do “efeito chicote” e para melhorar o desempenho da cadeia de abastecimento, é necessário coordenar as informações e planeamento ao longo da cadeia.

Algumas estratégias para atenuarem este efeito passam por:

- Realização de pedidos uniformes ao longo da semana;
- Reabastecimento JIT;
- Compra em menores lotes;
- Redução da frequência e do nível de desconto do preço de comércio por grosso (grandes quantidades);
- Implementar sistemas de informação integrados. (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997)

2.8. Sistemas de produção

Os sistemas de gestão de materiais podem basear-se em métodos *pull*, que orientam a produção a partir de um nível de produção *WIP*, ou métodos *push*, que realizam pedidos de previsões (*forecasts*) e pedidos firmes de um conjunto de planos de produção.

2.8.1. Sistemas *Push*

O termo “*Push*” significa “empurrar”, quer isso dizer, agir em antecipação a uma necessidade. No que respeita às técnicas de gestão de inventários, “*Push*” significa lançar um pedido com base no consumo anterior. (Bonney, Zhang, Head, & Tien, 1999)

A este sistema estão associados, tendencialmente, maiores níveis de inventário e outros desperdícios. (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

Num sistema de produção *push* os componentes são empurrados para a estação ou posto de trabalho seguinte, independentemente da procura. Neste tipo de sistema há tendência ao aumento do nível de *WIP*.

Normalmente o sistema *push* está associado a uma produção programada que tem em conta o máximo funcionamento da capacidade instalada, não dependendo da procura o consumo do produto ou componente (Figura 3).

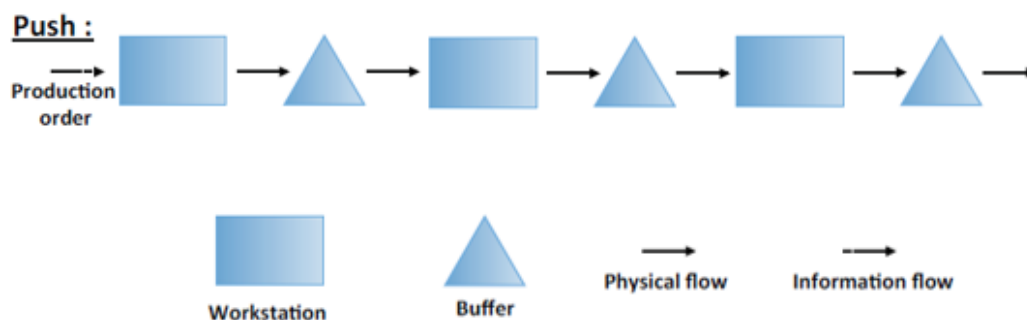


Figura 3 - Sistema *Push*, (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

2.8.1.1. MRP

Em 1964, o primeiro MRP (Planeamento de Requisitos de Materiais) foi implementado com sucesso na empresa Black & Decker. O MRP foi desenvolvido por Joseph Orlicky. Oliver Wight, em 1983 aprofundou os estudos sobre o sistema MRP, que se tornou MRP II ou *Manufacturing Resource Planning*, segundo Hopp & Spearman, 2004. O objetivo do MRP e do MRP II era acoplar as atividades de produção e fornecimento ao processo final. (Ducrot & Ahmed, 2019)

O MRP e o MRP II foram desenvolvidos na década de 1970, estes sistemas requerem previsões de procura e para as quais planeiam todas as atividades de fabricação, o que normalmente engloba uma variedade de processos tais como: planeamento do negócio, planeamento da produção (vendas e operações), planeamento de requisitos de material, planeamento de requisitos de capacidade e suporte à execução sistemas de capacidade e material. (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

Em consequência das oscilações da procura dos mercados que geram instabilidade na procura, nos fornecimentos e nos processos internos, ocorrem cada vez maiores dificuldades em se estabelecerem previsões precisas, gerando situações nominadas por “efeito chicote” (*bullwhip effect*) no sistema gerido pelo MRP. (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

Burbridge (1980), afirma que é impossível fazer previsões precisas por longos períodos. Autores como Kropp e Millen (1986), classificam a instabilidade e o nervosismo planeados como uma grande limitação nos sistemas de MRP. Carlson, Jucker e Kropp (1979), declaram que esse nervosismo ocorre devido a mudanças frequentes nos cronogramas de produção.

Entre as soluções propostas para lidar com o nervosismo, as mais utilizadas são a criação de *stocks* de segurança ou prazo de entrega ou capacidade de segurança.

Ho et al. (1995), Whybark e Williams (1976), defendem que o *stock* de segurança é a técnica adequada para controlar a incerteza quantitativa e é a principal proteção contra a incerteza. No entanto, Sridharan e LaForge (1990) apresentam uma outra perspetiva, já que o *stock* de segurança poderia também, em certas circunstâncias, ampliar a variabilidade e a instabilidade do sistema. (Ducrot & Ahmed, 2019)

O MRP foi popularizado pela primeira vez no livro da primeira edição de Joseph Orlicky em 1975, e o mesmo passou por vários desenvolvimentos:

- MRP;
- MRP II;

- ERP: Planeamento de recursos empresariais.

O MRP resulta pela conjugação dos seguintes dados de entrada:

- MPR: Planeamento mestre de produção;
- BOM;
- Ficheiro mestre de materiais;
- Encomendas.

O MRP baseia-se na suposição de que as encomendas e os prazos de entrega são determinísticos. Porém, a maioria dos sistemas de produção é relativa e até mesmo aleatória, uma vez que os cálculos são feitos sob a incerteza da procura, pela combinação do lote de produção, *stock* de segurança definido e incerteza do *lead time*. (Shofa, & Widyarto, 2017)

Relativamente ao sistema MRP, sabemos que este sistema tem como base o planeamento de materiais, enfrentando limitações como a integração com o planeamento e gestão da capacidade, e limitações na integração com outras áreas da empresa.

O sistema MRP II é um sistema de gestão de previsão para a produção que coordena todas as etapas da produção pendente, desde a compra de matérias-primas ou componentes, aos recursos materiais ou humanos. O MRP II tem três objetivos principais:

- Garantir a disponibilidade de recursos para produção e vendas de clientes;
- Redução de inventário;
- Planeamento e programação de atividades de produção e compra. (Miclo, Lauras, Fontanili, Lamothe, & Melnyk, 2019)

Apesar das técnicas de MRP e *Lean* apresentarem aspetos muito fortes na gestão de materiais, a sua integração apresenta alguns conflitos, especialmente porque no sistema MRP, os pedidos de materiais são programados antes do seu consumo. Por sua vez, a filosofia *Lean* propõe a criação de pedidos de materiais em função das encomendas. De forma a conciliar estas duas técnicas, são necessárias soluções inovadoras que possam integrar de forma coerente as melhores práticas do sistema MRP e da filosofia *Lean*.

Uma forma de potencializar essa integração é apresentada por González R., Framinan e Pierreval (2011) onde apresentam uma terceira categoria de sistemas de gestão de materiais: os sistemas híbridos. Nestes sistemas híbridos pretende-se tirar partido da produção com artigos semiacabados. Consideram-se dois tipos de sistemas híbridos:

- **Sistemas híbridos horizontais:** Consistem numa sucessão de atividades onde existem artigos semiacabados, utilizando métodos de desacoplamento, criando necessidades independentes.

- **Sistemas híbridos verticais:** Nos quais o planeamento se baseia no sistema *push* e a execução da produção efetivamente se baseia no sistema *pull*, como exemplo o planeamento de vendas no sistema MRP (*push*) versus a execução da produção com sistema *Kanban* (*pull*). (Miclo, Lauras, Fontanili, Lamothe, & Melnyk, 2019)

O surgimento do MRP orientado à procura (DDMRP) surge como a combinação de sistemas híbridos horizontais com sistemas híbridos verticais numa tentativa de superar as limitações entre MRP e sistema *Lean*.

O objetivo dos sistemas MRP é atender aos requisitos ou previsões do cliente em toda a empresa. Esses requisitos são convertidos em requisitos líquidos, que são ordens de produção e ordens de compra.

Carol Ptak e Smith Chad (2011), fundadores do DDMRP, enfatizam que, para que um sistema MRP seja executado, os requisitos do cliente são obrigatórios. No entanto, devido ao prazo de entrega, é impossível basear o plano apenas na procura real. Isso requer o uso da procura prevista (*forecast*).

2.8.2. Sistemas *Pull*

“*Pull*” ou “puxar” significa agir mediante solicitação. No que diz respeito às técnicas de gestão de inventários, “puxar” significa agir quando solicitado e a lógica na qual um pedido é lançado é tendo como base os requisitos. (Bonney, Zhang, Head, & Tien, 1999)

Os métodos *pull* visam a gestão da produção a partir da procura real, de forma a reduzirem a variabilidade criada pelo planeamento e diminuir o WIP, produzindo apenas o estritamente necessário.

Um dos métodos para conseguir produzir apenas o necessário, foi criado no Sistema *Toyota* de Produção: *Kanban*, Ohno (1982). O *Kanban* é um processo de fabricação JIT no qual os operadores são informados sobre o consumo de *buffers* (geralmente em todos os cartões *Kanban*) que se reabastecem de acordo com as prioridades de *stock* e disponibilidade das máquinas em tempo real.

O sistema *Kanban* funciona pela utilização de cartões com a referência do artigo a abastecer, permitindo controlar o funcionamento da operação seguinte, através das seguintes regras:

- A operação anterior produz os artigos na quantidade indicada no cartão *Kanban*;
- Nenhum artigo é fabricado ou transportado sem um cartão *Kanban* associado;
- Os cartões *Kanban* devem estar afixados no contentor/caixa do respetivo artigo.

(Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

Um outro método que surge no sentido de gerir a produção a partir dos dados da procura real é o CONWIP (trabalho constante em processo). Pretende-se fundamentalmente com este método reduzir os níveis de *work in process*. (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

2.8.2.1. Kanban

O sistema *Kanban* é uma das principais ferramentas para a implementação do sistema JIT, de forma a assegurar o número necessário de materiais no momento certo da sua utilização. Os *Kanbans* têm como principal função instruir processos para o fabrico de peças, nomeadamente transmitir informação aos manipuladores de materiais, como o *Mizusumashi*. (Miwa, Nomura, & Takakuwa, 2016)

O sistema *Kanban* consiste na utilização de cartões ou etiquetas sinalizadoras que permitem o controlo visual do fluxo de materiais e informação num sistema de produção, a sua aplicação permite abastecer os pontos de consumo apenas com os materiais necessários à produção, evitando excesso de inventário nos bordos de linha e transporte desnecessário de materiais (Figura 4).

Spearman (1992), salienta algumas condições que devem estar presentes para a implementação do sistema *Kanban*:

- Deve existir uma ordem que chega de um ponto de consumo que a vai utilizar;
 - Deve existir uma quantidade necessária de materiais num lugar definido como ponto de entrada (*buffer*);
 - Devem existir máquinas ou operadores prontos para dar seguimento ao processo.
- (Miwa, Nomura, & Takakuwa, 2016)

No artigo de Miwa, K., Nomura, J. & Takakuwa S. (2016), verifica-se a perspetiva de implementação do sistema de *Kanban* de cartão duplo. Os *Kanbans* apresentam, geralmente, códigos de barras onde é possível ler informações como:

- Nome da peça e número da peça;
- Fornecedor ou processo de fornecimento interno;
- Quantidade embalada;

- Endereço de armazenamento;
- Endereço do processo de consumo;
- Frequência a ser retirado.

Existem diferentes tipos de sistemas *Kanban*:

- *Kanban* de transporte: é utilizado para avisar o estágio anterior de que o material pode ser retirado do *stock* e transferido para o próximo destino. Normalmente, este tipo de *Kanban* apresenta o número e descrição do artigo, lugar de onde deve ser retirado, e o destino para onde deve ser enviado;

- *Kanban* de produção: sinaliza um processo produtivo que pode iniciar a produção do artigo. Normalmente a informação contida neste tipo de *Kanban* refere-se ao número e descrição do componente, descrição do processo, materiais necessários e destino para qual o artigo/ componente deve ser enviado depois de produzido;

- *Kanban* do fornecedor: é utilizado para avisar o fornecedor de que é necessário enviar determinado artigo para a produção, ao contrário do *Kanban* de transporte. (Miwa, Nomura, & Takakuwa, 2016)

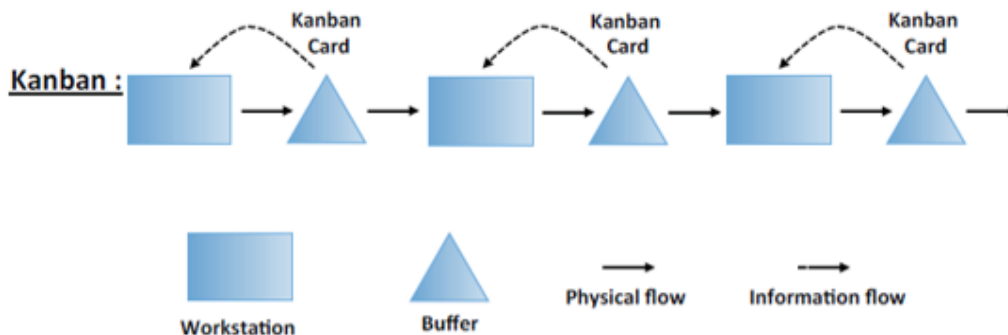


Figura 4 - Sistema Kanban, (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

2.8.2.2. CONWIP

Este método de produção realiza a gestão a partir dos dados da procura real (Figura 5). Trata-se de um método de gestão de fluxos desenvolvido no âmbito da Teoria das Restrições. Neste método, procura-se limitar o nível de WIP num processo, ainda assim, apresenta limitações. (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

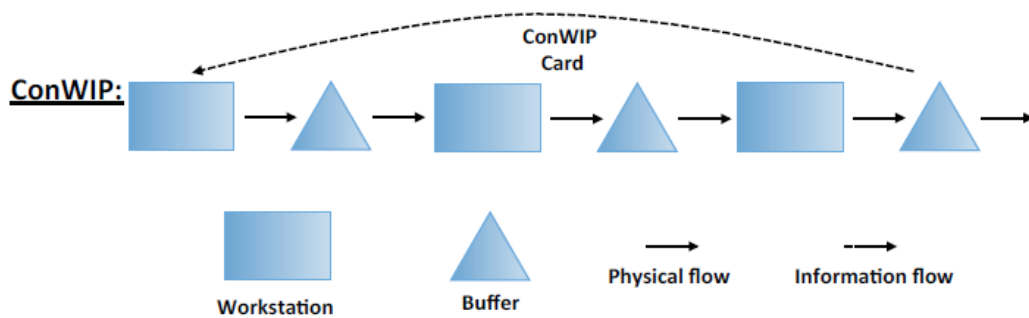


Figura 5 - CONWIP, (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

2.8.3. Sistemas Push/Pull: DDMRP

Em 2011 surge uma nova metodologia de planeamento: *Demand-Driven Material Requirement Planning* - DDMRP, introduzida em resposta à nova dinâmica da complexidade da cadeia de abastecimentos.

Carol Ptak e Smith Chad (2011) definem o DDMRP como um sistema desenvolvido para mitigar os efeitos da variabilidade e volatilidade nas operações de produção e cadeias de fornecimento e promover visibilidade, atua em diferentes níveis de procura e fornecimento.

O DDMRP propõe uma forma intuitiva de gestão fluxos de produtos e informações relevantes, posicionamento estratégico de inventário (chamados de *buffers*) e gestão de inventário. Possui um foco particular na gestão da variabilidade e nas prioridades de planeamento e execução. Substitui o Plano Mestre de Produção por um processo diário para gerar fornecimento de ordens. A remoção do inventário projetado pode ser difícil de lidar com a complexidade do planeamento, como restrições de capacidade, listas técnicas alternativas, rotas de máquinas complexas ou gargalos variáveis. (Ducrot & Ahmed, 2019)

A melhoria no nível de serviço e a contração do prazo de entrega dos pedidos dos clientes podem fornecer uma vantagem competitiva. No entanto, é necessária uma análise mais aprofundada para entender quais são as condições necessárias para atingir esse nível de melhoria. (Ducrot & Ahmed, 2019)

O DDMRP é uma nova abordagem à gestão de materiais que coloca em questão alguns aspetos do MRP. O DDMRP considera aspetos que vão para além do sistema básico de *Lean*, considerando *buffers* dinâmicos, de forma a atender melhor à procura do cliente, num ambiente que é cada vez mais exigente, instável e dinâmico. (Miclo, Lauras, Fontanili, Lamothe, & Melnyk, 2019)

O DDMRP é considerado um sistema híbrido por utilizar as melhores práticas de quatro outros sistemas: MRP, *Lean*, Seis Sigma e Teoria das Restrições. Substitui a convenção anterior de *stock* de segurança por posições estrategicamente reabastecidas. (Jiang & Rim, 2016)

2.8.3.1.Fundamentos do DDMRP

Tal como descreve Miclo et al. (2016) o principal objetivo das empresas é satisfazer os clientes e gerar lucros. Para atingir tais objetivos, as empresas procuram reunir esforços de forma a garantir: cumprimento dos prazos de entrega, redução dos mesmos, reduzir o nível de WIP, e assim, reduzir os seus custos.

Como forma de gestão dos fluxos físicos e económicos existem alguns métodos, sendo o MRP II o mais conhecido, porém o DDMRP surge como um novo método que visa uma metodologia de planeamento e execução da procura. Esta é uma metodologia recente, cuja sua praticidade tem vindo a ser aplicada desde os anos 2000 sobretudo nos Estados Unidos.

As principais características associadas a esta metodologia são: estratégias de posicionamento, dimensionamento e reposição do *buffer* do DDMRP, para que as diferentes fontes de variabilidade possam ser geridas. (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

O DDMRP combina as melhores práticas dos métodos:

- MRPII, Wallace (1984);
- *Lean*, Ohno (1987);
- Teoria das Restrições, Goldratt (1990);
- Seis-Sigma, Deming (1993). (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

Ainda assim existe muita investigação para ser realizada no que respeita a demonstrar objetivamente as diferenças entre a gestão de fluxos com DDMRP ou MRP II e outros métodos como *Kanban*, segundo Ohno (1982). (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

O DDMRP é a abordagem para lidar com esses desafios. Pode adaptar-se ao ambiente em que está inserida cada empresa.

O DDMRP foi desenvolvido a partir do MRP de Joseph Orlicky que ainda é relevante, juntamente com a inovação no encurtamento do *lead time*.

O DDMRP é uma “solução de planejamento e execução de inventário com vários escalões e materiais”. (Ptak & Chad, 2011) É implementado em 5 etapas, como demonstra a Figura 6:

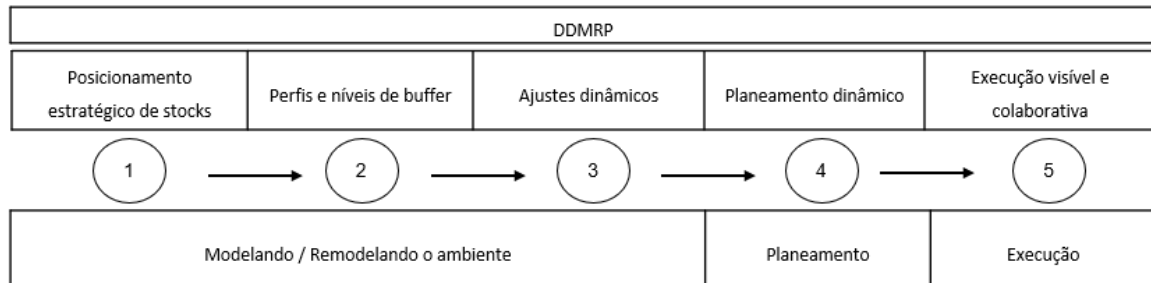


Figura 6 - Fases de implementação do DDMRP, (Ptak & Chad, 2011), retirado de R. Miclo et al. (2016)

Fases de implementação do DDMRP

1 - Posicionamento estratégico de inventário:

Nesta fase é avaliado do ponto de vista financeiro se há benefícios em posicionar ou não um *buffer* num determinado artigo de uma BOM. Trata-se do passo mais estratégico.

O êxito no posicionamento dos *buffers* no DDMRP ajuda na implementação correta do método. Assim, o princípio do DDMRP é obter reabastecimentos entre *buffers* estratégicos e reduzir e enviar ordens de plano para artigos não armazenados em *buffer*. Os *buffers* devem controlar a dispersão da variabilidade (oferta, operacional, procura e gestão) no sistema de fabricação. (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

2 - Perfis e níveis de *buffer*:

Assim que os *buffers* são posicionados, é possível definir os perfis e níveis de cada um. Cada *buffer* é reabastecido de acordo com a "Equação de *stock* disponível" (ASE - *Available Stock Equation*), Equação 1.

Equação 1 – Stock disponível

$$\text{Stock disponível} = \text{Posição do stock} - \text{Picos qualificados}$$

Picos qualificados significam grandes pedidos de procura cuja produção deve ser antecipada, ou seja, realizada sobre uma procura.

A equação de *stock* disponível é comparada com três níveis de alerta de *buffer*:

- Vermelho (*stock* de segurança)

- Amarelo (quantidade média de reabastecimento em processo) – quando o *buffer* atinge a zona amarela, é feita uma ordem de reabastecimento para atingir o nível superior da zona verde;

- Verde (tamanho do reabastecimento). (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

Existem cinco zonas codificadas por cores que compreendem o *buffer* total, tal como podemos verificar na Figura 7.

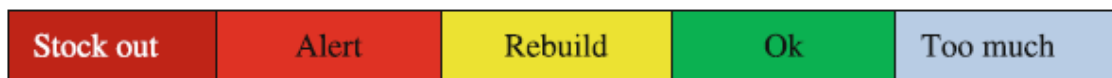


Figura 7 - Codificação das zonas por cores no sistema DDMRP

- A cor azul-clara representa uma posição com excesso de *stock*;
- A cor verde representa uma posição de *stock* que não requer ação;
- A cor amarela representa uma posição que requer reposição;
- A cor vermelha representa uma posição que está em risco e possui duas subzonas: o *stock* que está em risco e o *stock* da zona de segurança;
- A cor vermelha mais escura representa uma posição de *stock* esgotado. (Rim, Jiang, & Lee, 2014)

No DDMRP, os perfis e níveis de *buffer* fornecem uma posição apropriada de *buffer* e reabastecimento estratégico para reduzir a variabilidade da procura e da oferta. É revisado a partir da gestão de *stocks* convencional em termos de inventário no nível sazonal em três zonas codificadas por cores que compõem o *buffer* total. (Shofa, & Widyarto, 2017)

A Figura 8, permite visualizar a estratificação de cada uma das zonas, verde amarela e vermelha.

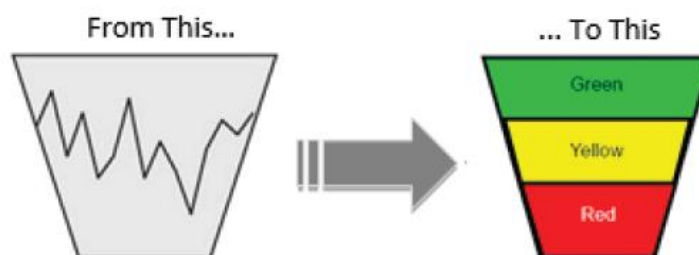


Figura 8 - Zonas de estratificação de buffers, (Shofa, & Widyarto, 2017)

A Figura 9, mostra a curva que corresponde ao nível de inventário, se é efetivo ou ineficaz com zonas codificadas por cores sobrepostas e exhibe o significado de cada zona colorida. Esse sistema de código de cores será utilizado no planeamento e execução de prioridades de gestão.

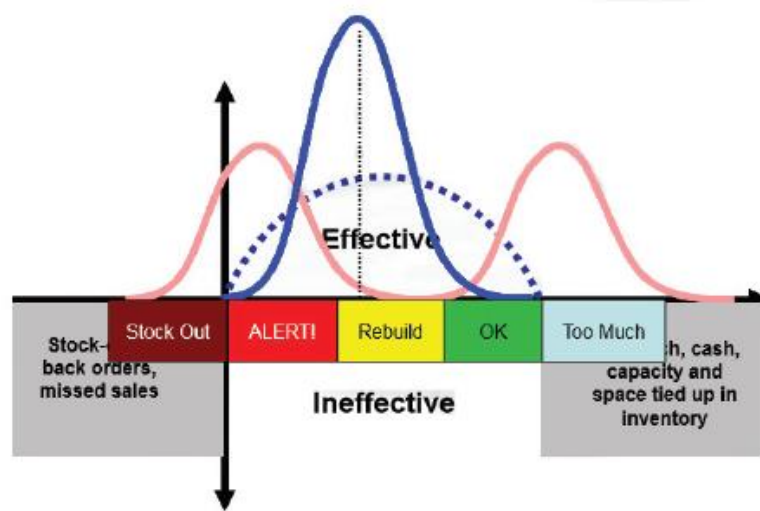


Figura 9 - Zonas efetiva/ineficaz vs. níveis de buffer, (Shofa, & Widyarto, 2017)

3 - Ajustes dinâmicos

No DDMRP o uso médio diário de *stock* (ADU) é o resultado da previsão da procura.

O ajuste dinâmico consiste em ajustar o perfil do *buffer* para adaptar o planeamento da produção da empresa a um ambiente dinâmico. Existem três tipos de ajustes: ajuste recalculado, ajuste planeado e ajuste manual.

O planeamento orientado pela procura consiste na geração de fornecimentos e baseia-se na equação de *stock* disponível. (Shofa, & Widyarto, 2017)

4 - Planeamento dinâmico:

Fatores de ajuste do plano são percentagens usadas para aumentar ou diminuir o ADU que permitem modelar e suavizar grandes variabilidades e podem ser considerados como o resultado de um planeamento de capacidade.

O fator de variabilidade é usado para proteger a incerteza: faz parte da zona vermelha e representa o *stock* de segurança.

O fator *lead time* é diferente para produtos com *lead time* longo ou *lead time* curto: quando o ASRLT é longo, o fator *lead time* é pequeno (para produzir frequentemente produtos de *lead time* com uma quantidade pequena de pedidos). (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

5 - Execução visível e colaborativa:

Por fim, quando as zonas DDMRP são definidas, os planejadores e operadores podem decidir visualmente a quantidade a necessária a reabastecer (na perspectiva de planejamento) e os pedidos a priorizar (na perspectiva de execução/produção). (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

O DDMRP propõe reduzir a variabilidade transferida entre os níveis, posicionando estrategicamente *buffers* dinâmicos e promovendo uma abordagem centrada no fluxo. (Ducrot & Ahmed, 2019)

Diferentes categorias de materiais

Os materiais dividem-se nas categorias como: sendo *buffer* ou não *buffer*.

Os materiais com *buffer* são os considerados estratégicos atendendo: ao tempo de tolerância do cliente, *lead time* de mercado, variabilidade externa, alavancagem de *stock*, proteção de recurso.

Os materiais sem *buffer* não são estratégicos: são peças de volume insuficiente, tempo de entrega relativamente curto.

Importa definir corretamente quais são os materiais considerados estratégicos, e qual o *stock* planejado para os materiais com *buffer*. (Miclo, Lauras, Fontanili, Lamothe, & Melnyk, 2019)

Diferentes categorias de lead times

Existem duas categorias de *lead times*:

- Para materiais sem *buffer*, são utilizados os prazos de produção conforme a lógica tradicional do MRP.

- Para materiais com *buffer* existe um novo *lead time*, pois considera o desacoplamento do *lead time* (que é definido na BOM como o prazo de entrega mais longo e sem *buffer*), e o ASRLT. (Miclo, Lauras, Fontanili, Lamothe, & Melnyk, 2019)

Buffers dinâmicos

Os *buffers* de *stock* associados a peças estratégicas podem flutuar para refletir o impacto de fatores como a sazonalidade, volatilidade da procura, balanceamento de carga e aumento ou redução da produção. (Miclo, Lauras, Fontanili, Lamothe, & Melnyk, 2019) É importante definir quais os *buffers* que devem flutuar e que ajustes devem ser feitos.

ASRLT

O DDMRP introduz o conceito de ASRLT, que significa *Actively Synchronized Replenishment Lead Time*, e se refere ao tempo mais longo, considerando a soma total dos prazos de entrega, assim sendo, o pior cenário no que respeita ao abastecimento de artigos considerados no *buffer*. (Shofa, & Widyarto, 2017) Ou seja, trata-se da sequência mais longa sem proteção ou sem *buffer* na BOM para um determinado artigo “pai” (Figura 10).

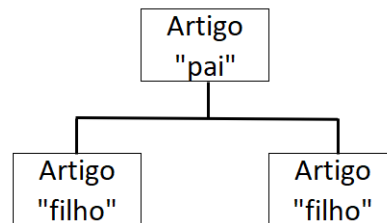


Figura 10 - Termos utilizados para explicação da BOM

Os termos artigo “pai” e artigo “filho” são utilizados como forma de simplificar a comunicação e entendimento da respetiva BOM.

O ASRLT servirá como base para definição da posição ideal e quantidade de WIP para uma determinada lista de materiais. (Rim, Jiang, & Lee, 2014)

Suk-Chul Rim, Jingjing Jiang & Chang Lee (2014) apresentam um modelo matemático que visa determinar a posição e quantidade ideais de inventário para uma S-BOM (nas quais um determinado artigo i,j “filho” abastece apenas um determinado artigo i,j “pai”) utilizando o algoritmo genético. O estudo permite verificar o cálculo do ASRLT à medida que vão sendo definidos *buffers* em determinados nós da BOM. O modelo matemático desenvolvido neste estudo serviu como ponto de partida para o desenvolvimento do simulador deste trabalho e será apresentado mais adiante.

Jingjing Jiang & Suk-Chul Rim (2016), apresentam o modelo de determinação da posição e quantidade ideais de inventário para uma G-BOM (nas quais um determinado artigo i,j “filho” pode abastecer determinados artigos i,j “pai”), no seguimento do estudo supra mencionado, também tendo por base o algoritmo genético. Os autores definem um modelo matemático para resolução do problema de posicionamento estratégico de inventário (SIP) para as G-BOM’s. Os autores demonstram que existe um maior grau de complexidade ao abordar uma G-BOM, em comparação com uma S-BOM. O modelo permite obter o menor custo total de manutenção de inventário satisfazendo o requisito do cliente. Os autores

percebem que, à medida que aumenta o tempo de espera do produto final solicitado pelo cliente, o número de soluções viáveis também aumenta.

Jingjing Jiang & Suk-Chul Rim (2017), apresentam um modelo para o problema de posicionamento estratégico de inventário que se aproxima mais da realidade. Para os autores, é mais realista na maioria dos casos considerar os tempos de processamento como estocásticos devido a vários fatores, como defeitos, reprocessamento, configuração do equipamento e / ou variações do tempo de calibração, conseqüentemente, desenvolvem um modelo para o problema SIP considerando o tempo de processamento estocástico para uma S-BOM. Para este problema SIP os tempos de processamento dos nós da BOM seguem uma certa distribuição de probabilidade, sendo por isso aleatórios, tendo sido assumida uma distribuição normal, contrariamente aos dois estudos anteriores, nos quais os tempos de processamentos foram assumidos como determinísticos, gerando custos totais também determinísticos. Para este modelo, o custo total de manutenção de inventário mínimo final é a média dos diferentes custos totais de manutenção de inventário mínimos. Os autores salientam a relevância em realizar um modelo para o problema SIP considerando o tempo de processamento estocástico para uma G-BOM.

2.8.3.2.DDMRP vs MRP

Desde 1964, investigações extensivas foram conduzidas sobre o MRP. O sistema garante a disponibilidade de materiais para atender à procura de fabricação e de mercado. Utilizando o cronograma mestre de produção (MPS) e a lista técnica (BOM) como dados de entrada, o MRP determina quando e como muitos artigos devem ser produzidos ou adquiridos no MPS. (Jiang & Rim, 2016)

O MRP tem sido desde a sua introdução, amplamente utilizado na maioria das indústrias de transformação para gerar um cronograma detalhado de produção e necessidades de compras. (Jiang & Rim, 2016)

Alguns autores estudaram os resultados do MRP e DDMRP em ambiente de fabricação. As semelhanças entre DDMRP e MRP são que ambos requerem uma lista técnica precisa, sistema de gestão de inventário e sistema de contabilidade. (McCullen & Eagle, 2015)

Segundo Miclo et al. (2016), nos casos em que a procura é constante, o MRP tem um desempenho melhor com a procura real e poucas previsões para um curto período de tempo e é capaz de absorver com precisão picos.

Com variações sazonais, o DDMRP é mais adequado (Miclo, Fontanili, Lauras, Lamothe, & Milian, 2016)

Romain Miclo, Matthieu Lauras, Franck Fontanili, Jaques Lamothe & Bernard Milian (2016), levaram a cabo um estudo tendo por base a Simulação de Eventos Discretos que inclui referências múltiplas, componentes, peças de submontagem e uma atividade de montagem, como forma de avaliar o impacto dos métodos MRP II e DDMRP. O cálculo do MRP pode ser feito considerando a procura real para a primeira semana e as previsões (*forecasts*) para o restante planeamento, o que resulta em produtos montados sob encomenda e *stocks* de segurança reduzidos. No entanto, o DDMRP, como considera os picos de procura na Equação de *stock* disponível uma semana antes da procura real gera pedidos de reposição antecipados de uma semana (o equivalente ao tempo de montagem), consequentemente, apenas os pedidos de picos de procura são preparados sob procura. O estudo permitiu verificar que os pedidos de reabastecimento são menores no sistema DDMRP, e que o tamanho dos pedidos tem uma pequena variabilidade para produtos acabados (como consequência dos picos de procura), e quase nenhuma variabilidade para componentes, pois os *buffers* regulam a variabilidade do sistema. Ainda que o MRP II tenha gerado apenas um pedido por semana e o DDMRP tenha gerado vários pedidos por semana, o estudo conclui que o DDMRP permite atingir o mesmo nível de entrega (satisfação do requisito do cliente) que permite o MRP II, mas com menos *Working Capital* (cerca de menos 10%) e menos nervosismo.

Mohamad Shofa & Wahyu Widyarto (2017), considerando um produto de alta procura de uma indústria real de produção automóvel para comparar o desempenho do DDMRP e do MRP em termos de nível de inventário efetivo no sistema e *lead time*, concluíram que o DDMRP é mais eficaz para controlar o inventário de produção do que o MRP. A pesquisa permitiu concluir que o DDMRP reduziu o *lead time* de 52 para 3 dias (94% de redução) e o nível de inventário apresentou uma condição eficaz.

Estudos reafirmam que:

- Existem melhorias a serem realizadas ao DDMRP;
- As empresas devem desenvolver programas de treino;
- Operações simplificadas são essenciais para manter o nível de serviço alto e o nível de inventário baixo ao longo do tempo;

O DDMRP pode ter um bom desempenho no planeamento em capacidade finita sob incerteza. O DDMRP pode reduzir o *Working Capital* e oferecer vantagem competitiva. (Ducrot & Ahmed, 2019)

Leo Ducrot & Ehtesham Ahmed (2019), compararam os resultados obtidos pelo sistema DDMRP e pelo Sistema de Planejamento Avançado (APS) relativamente ao nível de serviço e nível de inventário, com base num estudo qualitativo e quantitativo, tendo em vista analisar como o DDMRP atua em ambientes de capacidade limitada sob incerteza. A simulação permitiu avaliar o impacto da disponibilidade de capacidade em cenários com diferentes níveis de variabilidade, mostrando que o DDMRP é robusto em situações de variabilidade ou restrição de capacidade. Os autores concluíram que, apesar de o DDMRP ter apresentado um resultado 1,7% inferior em termos de nível de serviço, contribui para a vantagem competitiva das empresas, na medida em que consegue os melhores resultados, conjugando os fatores nível de serviço e prazo de entrega, e como consequência permite melhores receitas possibilitando aumentar o ROI (*Return on Investment*). Salientam a importância do foco e alinhamento dos objetivos em toda a cadeia de abastecimento no âmbito de uma implementação do sistema DDMRP.

Uma relevante analogia ao sistema MRP é: “Produzir o que podemos”; A analogia associada ao DDMRP é: “Produzir o que vendemos”. (Shofa, & Widyarto, 2017)

O MRP planeia por dependência através da BOM. No DDMRP planeia-se diariamente nas posições de independência (*buffers*) considerando o fluxo líquido, mas, entre *buffers*, o planeamento ocorre como MRP. (Miclo, Lauras, Fontanili, Lamothe, & Melnyk, 2019)

O repensar da lógica MRP levou a que se questionasse a existência do *stock* de segurança, como uma base do sistema MRP, em prol da criação de sistemas com *buffers* dinâmicos que acompanham a procura – resultando no MRP orientado pela procura – DDMRP. (Miclo, Lauras, Fontanili, Lamothe, & Melnyk, 2019)

Romain Miclo, Matthieu Lauras, Franck Fontanili, Jaques Lamothe & Steven Melnyk (2019), avaliaram a eficácia do DDMRP em comparação com outros sistemas como o MRP e o *Kanban*. O estudo permitiu realizar simulações baseadas em dois tipos de experiência: por tipo de sistema de planeamento (nos quais são testados DDMRP, *Kanban / Lean* e MRP II) e por variabilidade da procura (elevada ou reduzida), tendo como objetivo comparar os resultados obtidos e verificar o desempenho do DDMRP. O DDMRP apresentou resultados mais favoráveis independentemente do nível de variabilidade da procura: tanto nas simulações de menor variabilidade, onde parecia mais propício um sistema *Kanban*, como nas simulações de maior variabilidade, onde apesar de todos os métodos terem apresentado resultados menos favoráveis, o método menos afetado foi o DDMRP. O MRP II apresentou

resultados menos eficazes em termos de desempenho. Para a alta variabilidade da procura, o *Kanban* apresentou um nível de WIP ligeiramente inferior ao DDMRP (com alta variabilidade da procura), para os autores, isso acontece porque o DDMRP procura atender da melhor forma ao requisito de entrega do cliente, ou seja, cumprimento do *lead time*. A simulação permitiu verificar que o DDMRP integra vários aspetos do MRP, *Lean*, *Six-Sigma* e Teoria das Restrições. Além disso, acrescentam que como os *buffers* são dinâmicos, podem ser alterados em resposta a fatores como níveis crescentes de variabilidade da procura, ou seja, o sistema permite através do uso seletivo de *buffers*, aplica-los apenas onde são necessários. Para os autores, o DDMRP apresenta resultados muito favoráveis, mas precisa ser testado em ambientes e condições alternativas (por exemplo, aumentando o nível de variação de processamento no chão de fábrica ou variação dos prazos de entrega dos fornecedores) o que justifica a necessidade de mais estudos académicos.

2.9. Jogos didáticos e simuladores

2.9.1. Fundamentos

Existe uma série de modelos de simulação no âmbito da filosofia *Lean* que surgem no sentido de representar as principais dificuldades e salientar os principais obstáculos que surgem na implementação de um sistema *Lean*, evidenciando o impacto da incerteza no que respeita à produtividade e funcionalidade do projeto em causa.

Por mais importante que seja no desenvolvimento de um projeto, cumprir todo o seu cronograma de atividades, desde as mais gerais, às mais específicas, acontece que muitas vezes, por diversos motivos os escalonamentos das atividades não seguem o seu curso normal, sejam elas atividades em atraso, ou realizadas antes do tempo, sem antes ter sido realizado o estudo da viabilidade das mesmas. (Alarcon & Ashley, 1999)

Como meios facilitadores com o fim de evidenciar as dificuldades existentes e salientar as mudanças necessárias, os modelos de simulação assumem este papel orientador.

Os modelos de simulação são utilizados para prever o impacto de estratégias, e seguem normalmente, alguns objetivos como:

- Avaliar estratégias de produção (decisão);
- Definição de níveis de *buffer*;
- Análise da capacidade de produção;
- Redução do nível de incerteza;
- Visualização do impacto de custos;

- Visualização do impacto no cronograma do projeto.

Deste modo, um modelo de simulação personalizado pode ser utilizado para definir o tamanho e a localização dos *buffers*, aumento da capacidade de produção ou redução da incerteza num sistema de produção do projeto. (Alarcon & Ashley, 1999)

2.9.2. Vantagens dos jogos e simulações

Os jogos e simulações permitem:

- Experiência e reflexão como aspetos importantes da aprendizagem;
- Um aprendizado ativo baseado na imersão de situações que simulam a realidade;
- Pedagogia baseada em experiências com problemas e contextos semelhantes aos da realidade;
- Participação dos jogadores de tal forma que ocupam papéis e executam tarefas que de outra forma não estariam ao seu alcance.
- Desenvolvimento de novas habilidades e valores, uma vez expostos à forma como os profissionais lidam com problemas em situações reais;
- A partilha de ideias, onde conseqüentemente ocorre a definição e a resolução de problemas em grupo. (Oblinger, 2006)

3. Simulador DDMRP

3.1. Objetivos

O modelo de simulação terá por base o modelo matemático apresentado pelos autores Rim, Jiang, & Lee, 2014, e será implementado na plataforma *excel*, com o objetivo de permitir a qualquer decisor criar, analisar e otimizar estratégias de gestão de inventários na cadeia de abastecimento.

Simultaneamente, foi desenvolvida uma ferramenta que pode ser aplicada noutros contextos, com os principais objetivos:

- Seja versátil e intuitiva;
- Permita aplicabilidade a outras BOM's, nomeadamente no que respeita à configuração da própria BOM, assim como para o preço unitário de cada artigo;
- Permita obter facilmente o cálculo do ASRLT, tanto para o produto final, quanto para os seus componentes;
- Permita alterar e visualizar instantaneamente as consequências associadas à tomada de decisão entre determinado ponto estratégico (ter ou não ter inventário, relativamente aos custos totais de manutenção de inventário);
- Permita alterar e visualizar instantaneamente as consequências de uma tomada de decisão entre determinado ponto estratégico ter ou não ter inventário, relativamente ao ASRLT do produto final e dos seus componentes;
- Considere todos os outros fatores que influenciam o processo de decisão nomeadamente: o consumo médio diário do produto final, o custo anual de *stock*, o *lead time* do produto final requisitado pelo cliente, a percentagem de uso do artigo i, j durante o ASRLT e a percentagem da base da zona vermelha do artigo i, j .

3.2. Modelo matemático DDMRP

O estudo apresentado pelos autores Suk-Chul Rim, Jingjing Jiang e Chan Ju Lee no artigo “*Strategic Inventory Positioning for MTO Manufacturing Using ASR Lead Time*” propõe um modelo que possibilita determinar a posição e a quantidade de WIP para uma determinada BOM utilizando como base ASRLT, e desta forma apresentar um procedimento de solução usando um algoritmo genético. O simulador terá por base este modelo matemático.

O método apresentado pretende demonstrar em quais dos nós da BOM do artigo o inventário deve ser mantido de forma a minimizar os custos de manutenção de inventário e satisfazer o prazo de entrega determinado do produto final.

Notação matemática

$peça_{i,j}$	O material j contado a partir da esquerda para no nível i da BOM;
$t_{i,j}$	Tempo de processamento do artigo i, j ;
$a_{i,j}$	ASRLT do artigo i, j ;
$r_{i,j}$	Quantidade necessária do artigo i, j para produzir um artigo “pai” imediatamente seguinte;
$n_{i,j}$	Quantidade necessária do artigo i, j para produzir o produto final;
$p_{i,j}$	O número contado a partir da esquerda na lista técnica da parte “pai” imediata do artigo i, j ;
$s_{i,j}$	O conjunto de números contados a partir da esquerda na lista técnica do “filho” imediato do artigo i, j ;
$adu_{i,j}$	Consumo médio diário de <i>stock</i> do artigo i, j ;
$c_{i,j}$	Custo anual de inventário do artigo i, j ;
$ai_{i,j}$	Quantidade média de <i>stock</i> do artigo i, j ;
$v_{i,j}$	Preço unitário do artigo i, j ;
$ltp_{i,j}$	Porcentagem de uso do artigo i, j durante o ASRLT;
$vp_{i,j}$	Porcentagem da base da zona vermelha do artigo i, j ;
$h_{i,j}$	Custo anual de inventário;
$u_{i,j}$	Consumo médio diário do produto final;
Q	<i>Lead time</i> do produto final requisitado pelo cliente;
$y_{i,j}$	<i>Stock</i> na zona amarela do artigo i, j ;
$g_{i,j}$	<i>Stock</i> na zona verde do artigo i, j ;
$rb_{i,j}$	<i>Stock</i> da base da zona vermelha do artigo i, j ;
$rs_{i,j}$	<i>Stock</i> na zona vermelha do artigo i, j ;

Modelo de programação matemática

O cálculo do Custo Total de manutenção de inventário (CT) permitirá conhecer o custo total de manutenção de inventário dependendo dos nós estratégicos onde irá existir inventário:

Equação 2 - Custo Total de manutenção de inventário

$$CT = \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} c_{i,j} \cdot x_{i,j}$$

O TC obtém-se pela multiplicação do custo anual de inventário ($c_{i,j}$) para o somatório de todos os artigos i,j , e do respetivo valor de $X_{i,j}$, que será 0 ou 1, com o seguinte significado:

$X_{i,j} = 1$: o artigo deve ter *stock*

$X_{i,j} = 0$: o artigo não deve ter *stock*

O valor de $c_{i,j}$ obtém-se pela multiplicação do preço unitário do artigo i,j ($v_{i,j}$), pelo custo anual de inventário (h), e, pela quantidade média de *stock* do artigo i,j ($ai_{i,j}$):

Equação 3 - Custo anual de inventário do artigo i, j

$$c_{i,j} = v_{i,j} \cdot h \cdot ai_{i,j}$$

Carol Ptak e Smith Chad (2011), definem os perfis de *buffer* como as famílias ou grupos de peças para os quais faz sentido criar um conjunto de regras, diretrizes e procedimentos que podem ser aplicados da mesma forma a todos os membros de um determinado perfil de *buffer*.

No sistema DDMRP, a quantidade de *stock* disponível é a média na metade inferior da zona amarela, de forma a que a quantidade média de *stock* possa ser calculada com a quantidade total da zona vermelha mais a metade da zona verde. Ou seja, a quantidade média de *stock* do artigo i,j deve ser igual a metade do *stock* na zona verde do artigo i,j somando o *stock* da base da zona vermelha do artigo i,j e o *stock* na zona vermelha do artigo i,j . : É isso que mostra a seguinte equação:

Equação 4 - Quantidade média de stock do artigo i, j

$$ai_{i,j} = 0,5g_{i,j} + rb_{i,j} + rs_{i,j}$$

A zona amarela para todos os perfis de *buffer* calcula-se pela multiplicação do consumo médio diário de *stock* do artigo i, j pelo ASRLT do artigo i, j :

Equação 5 - Stock na zona amarela do artigo i, j

$$y_{i,j} = adu_{i,j} \cdot a_{i,j}$$

A definição da categoria do *lead time* tem impacto direto na dimensão das bases das zonas verde e vermelha. Quanto maior for o tempo de entrega do artigo, maior será o inventário do produto. A Tabela 1, descreve as faixas de impacto recomendadas para as bases da zona verde e vermelha para cada categoria de *lead time*:

Tabela 1 - Intervalos de impacto recomendados para as zonas verde e vermelha, (Rim, Jiang, & Lee, 2014)

Intervalos de impacto recomendados para as zonas verde e vermelha	
Prazo de execução longo (L LT – Long Lead Time)	uso de 20-40% sobre o LT
Prazo de execução médio (M LT – Medium Lead Time)	uso de 41-60% sobre o LT
Prazo de execução curto (S LT – Short Lead Time)	uso de 61-100% sobre o LT

De seguida, a base da zona vermelha ($rb_{i,j}$) e da zona verde ($g_{i,j}$) são expressas pelas seguintes equações:

Equação 6 - Stock da base da zona vermelha do artigo i, j

$$rb_{i,j} = ltp_{i,j} \cdot y_{i,j}$$

Equação 7 - Stock na zona verde do artigo i, j

$$g_{i,j} = ltp_{i,j} \cdot y_{i,j}$$

A categoria de variabilidade servirá para dimensionar a quantidade da zona vermelha de segurança. A zona vermelha de segurança é uma expressão de percentagem da base da zona vermelha. A Tabela 2, mostra como a zona vermelha de segurança é dimensionada:

Tabela 2 - Intervalos de impacto recomendados para a segurança da zona vermelha, (Rim, Jiang, & Lee, 2014)

Intervalos de impacto recomendados para a segurança da zona vermelha	
Variabilidade alta	61-100% da base da zona vermelha
Variabilidade média	41-60% da base da zona vermelha
Variabilidade baixa	20-40% da base da zona vermelha

A zona vermelha de segurança é calculada pela seguinte equação:

Equação 8 - Stock na zona vermelha do artigo i, j

$$rs_{i,j} = vp_{i,j} \cdot rb_{i,j}$$

Para a BOM podemos expressar o seguinte:

O cálculo de $n_{i,j}$ é igual à multiplicação da quantidade necessária do artigo i,j para produzir um artigo “pai” imediatamente seguinte com o valor de $n_{i-1,p i,j}$.

Equação 9 - Quantidade necessária do artigo i, j para produzir o produto final

$$n_{i,j} = r_{i,j} \cdot n_{i-1,p i,j}$$

O consumo médio de diário de *stock* do artigo i,j resulta da multiplicação do consumo médio diário do produto final com a quantidade necessário do artigo $n_{i,j}$ imediatamente anterior.

Equação 10 - Consumo médio diário de stock do artigo i, j

$$adu_{i,j} = u \cdot n_{i,j}$$

A seguinte expressão sugere que o ASRLT do artigo i,j é o tempo da sequência mais longa sem *buffer* para um determinado artigo “pai”.

Equação 11 - ASRLT do artigo i, j

$$a_{i,j} = \begin{cases} \text{Max}_{m \in S_{i,j}} [(1 - x_{i+1,m}) a_{i+1,m} + t_{i,j}], & \text{se } s_{i,j} \neq \varphi \\ a_{i,j} = t_{i,j} & \text{se } s_{i,j} = \varphi : \text{end node} \end{cases}$$

É importante referir ainda que queremos encontrar os *buffers* estratégicos que permitam minimizar o custo total de manutenção de inventário:

Equação 12 - Quantidade média de stock do artigo i, j

$$ai_{i,j} = (1,5 + vp_{i,j}) \cdot ltp_{i,j} \cdot adu_{i,j} \cdot a_{i,j}$$

Ainda assim, em simultâneo, o ASRLT do produto final não pode ser superior ao tempo de serviço especificado pelo cliente (Q).

A condição terá de ser cumprida, ou seja, o *lead time* de $a_{i,j}$ para $a_{1,1}$ não pode ser superior ao valor estipulado para Q :

Equação 13 - Condição Q

$$a_{1,1} \leq Q$$

Esta formulação apresentada trata-se de um modelo de programação não linear (PNL) e por isso é utilizado o cálculo do algoritmo genético para resolver com eficiência o modelo apresentado.

3.3. Funcionamento

O simulador permite testar diversos cenários e assim obter diferentes resultados, para os quais o objetivo é sempre satisfazer a condição do cliente (Q), ao menor custo possível (CT).

Podem ser testadas BOM's com até 5 níveis para i , e 5 níveis para j . Este simulador funciona para BOM's do tipo S-BOM. Em todo o simulador, só devem ser inseridos dados nos campos que estão em branco nas "Grelhas de dados".

Irão ser realizadas simulações com a BOM A (Figura 11), BOM B (Figura 15) e BOM C (Figura 17).

O simulador utiliza o algoritmo evolucionário (algoritmo genético) do "Solver" do *excel* para encontrar o valor mínimo de CT considerando as restrições do valor Q , e utilizando como parâmetros do algoritmo genético os valores da Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros da simulação

Convergência	0,0001
Taxa de mutação	0,1
Tamanho da população	500

Para utilizar o simulador o primeiro passo é transcrever para a “Grelha de dados 1” a BOM da forma como demonstra a Tabela 5. Será utilizada a “BOM A” (Figura 11)

Simulação: BOM A

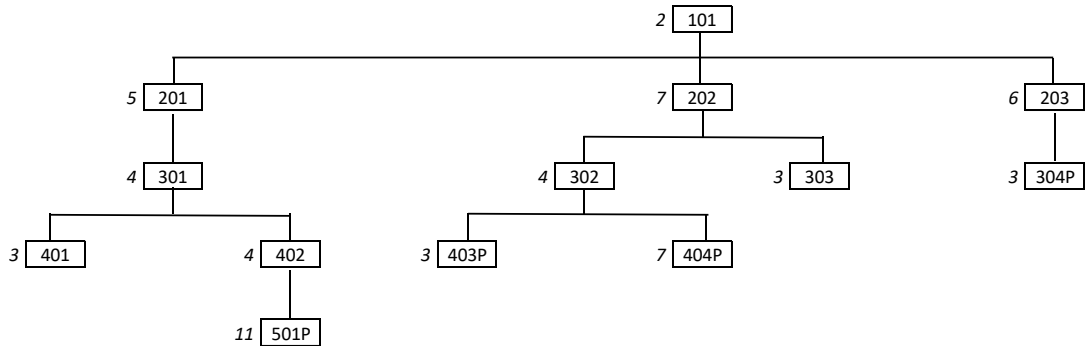


Figura 11 - BOM A

A Tabela 4 permite verificar os parâmetros de base utilizados para a demonstração com a BOM A.

Tabela 4 – Dados BOM A

ARTIGO	101	201	202	203	301	302	303	304P	401	402	403P	404P	501P
<i>t</i>	2	5	7	6	4	4	3	3	3	4	2	7	11
<i>r</i>	1	1	1	3	2	4	1	1	1	1	2	4	6
<i>v</i>	700	120	250	100	65	80	110	40	24	16	21	27	9
<i>Q</i>	10												
<i>h</i>	0,25												
<i>vp</i>	0,5												
<i>u</i>	1												
<i>ltp</i>	L LT	26	30%										
	M LT	25	50%										
	S LT	10	80%										

Tabela 5 - Grelha de dados 1, BOM A

Grelha de dados 1					
$s(i, j)$	1	2	3	4	5
$s(1, 1)$	1	1	1		
$s(2, 1)$	1				
$s(2, 2)$		1	1		
$s(2, 3)$				1	
$s(2, 4)$					
$s(2, 5)$					
$s(3, 1)$	1	1			
$s(3, 2)$			1	1	
$s(3, 3)$					
$s(3, 4)$					
$s(3, 5)$					
$s(4, 1)$					
$s(4, 2)$	1				
$s(4, 3)$					
$s(4, 4)$					
$s(4, 5)$					
$s(5, 1)$					
$s(5, 2)$					
$s(5, 3)$					
$s(5, 4)$					
$s(5, 5)$					

Em cada uma das linhas da “Grelha de dados 1”, identifica-se com “1” se esse artigo tem um artigo “filho”. Por exemplo:

- O artigo $a_{1,1}$ (101) tem um artigo “filho” na posição 1, tem um artigo “filho” na posição 2, e tem um artigo “filho” na posição 3 (que são 201, 202 e 203 respetivamente) – será representado na linha $s(1,1)$;

- O artigo $a_{2,1}$ (201) tem um artigo “filho” na posição 1 (que é o artigo 301) – será representado na linha $s(2,1)$;

- O artigo $a_{2,2}$ (202) tem um artigo “filho” na posição 2, e tem um artigo “filho” na posição 3 (que são 302 e 303 respetivamente) – será representado na linha $s(2,2)$;

- O artigo $a_{3,2}$ (302) tem um artigo “filho” na posição 3, e tem um artigo “filho” na posição 4 (que são 403 e 404 respetivamente) – será representado na linha $s(3,2)$.

De seguida, preenche-se a “Grelha de dados 2” (Tabela 6), com o tempo de processamento do artigo i, j ;

Tabela 6 - Grelha de dados 2, BOM A

Grelha de dados 2					
$t_{i,j}$	1	2	3	4	5
1	2				
2	5	7	6		
3	4	4	3	3	
4	3	4	3	7	
5	11				

Em cada uma das linhas da “Grelha de dados 2” identifica-se o tempo de processamento do artigo, de acordo com a sua posição. Por exemplo:

- O artigo $a_{1,1}$ (101) tem um tempo de processamento igual a 2 - será representado na linha 1, posição 1, pois ocupa a primeira posição verticalmente e a primeira posição horizontalmente;

- O artigo $a_{2,1}$ (201) tem um tempo de processamento igual a 5 - será representado na linha 2, posição 1, pois ocupa a segunda posição verticalmente e a primeira posição horizontalmente;

- O artigo $a_{2,2}$ (202) tem um tempo de processamento igual a 7 - será representado na linha 2, posição 2, pois ocupa a segunda posição verticalmente e a segunda posição horizontalmente;

- O artigo $a_{5,1}$ (501P) tem um tempo de processamento igual a 11 - será representado na linha 5, posição 1, pois ocupa a quinta posição verticalmente e a primeira posição horizontalmente.

Em seguida preenche-se a “Grelha de dados 3” (Tabela 7), referente à quantidade necessária do artigo i, j para produzir um artigo “pai” imediatamente seguinte, seguindo a mesma lógica de preenchimento da “Grelha de dados 2”.

Tabela 7 - Grelha de dados 3, BOM A

Grelha de dados 3					
$r_{i,j}$	1	2	3	4	5
1	1				
2	1	1	3		
3	2	5	1	1	
4	1	1	2	4	
5	6				

Em cada uma das linhas da “Grelha de dados 3” identifica-se a respetiva quantidade do artigo necessária para produzir a peça “pai” correspondente, ou seja, o fator de integração, de acordo com a sua posição. Por exemplo:

- O artigo $a_{1,1}$ (101) tem um fator de integração igual a 1 - será representado na linha 1, posição 1, pois ocupa a primeira posição verticalmente e a primeira posição horizontalmente;
- O artigo $a_{2,1}$ (201) tem um fator de integração igual a 1 - será representado na linha 2, posição 1, pois ocupa a segunda posição verticalmente e a primeira posição horizontalmente;
- O artigo $a_{2,2}$ (202) tem um fator de integração igual a 1 - será representado na linha 2, posição 2, pois ocupa a segunda posição verticalmente e a segunda posição horizontalmente;
- O artigo $a_{5,1}$ (501P) tem um fator de integração igual a 6 - será representado na linha 5, posição 1, pois ocupa a quinta posição verticalmente e a primeira posição horizontalmente.

A “Grelha de dados 4” (Tabela 8), deve ser preenchida com o valor referente ao consumo médio diário do produto final, para esta simulação assumiu-se o valor de 1 unidade.

Tabela 8 - Grelha de dados 4, BOM A

Grelha de dados 4	
u	1

Em seguida preenche-se a “Grelha de dados 5” (Tabela 9), com os valores referentes aos tempos de *lead time de stock*.

Tabela 9 - Grelha de dados 5, BOM A

Grelha de dados 5		
LTP	dias	%
L LT	26	30%
M LT	25	50%
S LT	10	80%

- Para um ASRLT de até 10 dias, considerou-se uma percentagem de 80%;
- Para um ASRLT de até 25 dias, considerou-se uma percentagem de 50%;
- Para um ASRLT de a partir de 26 dias, considerou-se uma percentagem de 30%.

Em seguida preenche-se a “Grelha de dados 6” (Tabela 10), a qual para cada artigo, insere-se o valor da percentagem da base da zona vermelha do artigo i,j seguindo a mesma lógica de preenchimento das Grelhas de dados 2 e 3. Neste caso o valor será de 0,5 para todos os artigos da BOM.

Tabela 10 - Grelha de dados 6, BOM A

Grelha de dados 6					
$vp_{i,j}$	1	2	3	4	5
1	0,5				
2	0,5	0,5	0,5		
3	0,5	0,5	0,5	0,5	
4	0,5	0,5	0,5	0,5	
5	0,5				

Em seguida, preenche-se a “Grelha de dados 7” (Tabela 11), com os valores do preço unitário de cada artigo seguindo a mesma lógica de preenchimento das Grelhas de dados 2 e 3.

Tabela 11 - Grelha de dados 7, BOM A

Grelha de dados 7					
$v_{i,j}$	1	2	3	4	5
1	700				
2	120	250	100		
3	65	80	110	40	
4	24	16	21	27	
5	9				

Em cada uma das linhas da “Grelha de dados 7” indica-se o respetivo preço unitário do artigo. Por exemplo:

- O artigo $a_{1,1}$ (101) tem um preço unitário de 700 - será representado na linha 1, posição 1, pois ocupa a primeira posição verticalmente e a primeira posição horizontalmente;
- O artigo $a_{2,1}$ (201) tem um preço unitário de 120 - será representado na linha 2, posição 1, pois ocupa a segunda posição verticalmente e a primeira posição horizontalmente;
- O artigo $a_{2,2}$ (202) tem um preço unitário de 250 - será representado na linha 2, posição 2, pois ocupa a segunda posição verticalmente e a segunda posição horizontalmente;
- O artigo $a_{5,1}$ (501P) tem um preço unitário de 9 - será representado na linha 5, posição 1, pois ocupa a quinta posição verticalmente e a primeira posição horizontalmente;

A “Grelha de dados 8” (Tabela 12) deve ser preenchida com o valor referente ao custo anual de inventário, para esta simulação considerou-se o valor de 0,25.

Tabela 12 - Grelha de dados 8, BOM A

Grelha de dados 8	
<i>h</i>	0,25

O último dado a inserir antes de iniciar a simulação é o valor de Q , ou seja, o valor referente ao *lead time* do produto final requisitado pelo cliente, para o qual, o valor do ASRLT do produto final, deve ser menor ou igual. Preenche-se a tabela “ Q (OBJETIVO)” (Tabela 13).

Tabela 13 - Q (OBJETIVO), BOM A

Q (OBJETIVO)
10

A tabela “ Q (OBJETIVO)” é comparada com o resultado da tabela “ATUAL” instantaneamente à medida que o decisor avalia posições de inventário estratégico na “Grelha de decisão”, e, conseqüentemente mostra na tabela “RESULTADO” se o resultado é viável (apresentando o termo “OK”), ou não é viável (apresentando o termo “NOK”). (Figura 12).

RESULTADO	RESULTADO
NOK	OK
Q (OBJETIVO)	Q (OBJETIVO)
10	10
ATUAL	ATUAL
16	8

Figura 12 - "RESULTADO", " Q (OBJETIVO)" e ASRLT "ATUAL"

Na “Grelha de decisão” (Tabela 14), preenche-se com “1” as posições para as quais o decisor pretende verificar os resultados com inventário deixando-se com “0” as posições nas quais o decisor pretende verificar os resultados sem inventário.

Tabela 14 - Grelha de decisão

Grelha de decisão					
x_{ij}	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

No simulador, a tecla “ZERAR” permite ao decisor apagar os valores da “Grelha de decisão” e dessa forma iniciar novas opções de decisão estratégica de inventário. A tecla “RESET” permite ao decisor eliminar todos os dados inseridos. (Figura 13)



Figura 13 - Teclas de atalho no simulador

3.4.Simulação

O simulador permite ao decisor testar as várias possibilidades de definição dos pontos estratégicos de inventário. O resultado ótimo apresentado pelos autores Rim, Jiang, & Lee (2014), para o CT é de 1654,6 permitindo o cumprimento do requisito do cliente $a_{1,1} \leq 10$. Através da simulação, é possível verificar esse valor e identificar os artigos onde deve ser mantido inventário, sendo eles: 202, 301, 304, 401 e 402 (Tabela 15).

Tabela 15 - Grelha de decisão, BOM A, simulação concluída

Grelha de decisão					
x_{ij}	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	1	0	0	1	0
4	1	1	0	0	0
5	0	0	0	0	0

Conforme é possível verificar na Figura 14, o ASRLT obtido é de 8, assim, satisfaz a condição $a_{1,1} \leq Q$.

Grelha de decisão						Tabela de resultado do Custo Total						
x_{ij}	1	2	3	4	5	CT	1	2	3	4	5	TOTAL
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1654,6
2	0	1	0	0	0	2	0	1125	0	0	0	
3	1	0	0	1	0	3	208	0	0	144	0	
4	1	1	0	0	0	4	57,6	120	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	

Tabela de resultado de ASRLT por artigo						Grelha de dados 2					
a_{ij}	1	2	3	4	5	t_{ij}	1	2	3	4	5
1	8					1	2				
2	5	18	6	0	0	2	5	7	6		
3	4	11	3	3	0	3	4	4	3	3	
4	3	15	3	7	0	4	3	4	3	7	
5	11	0	0	0	0	5	11				

RESULTADO
OK
Q (OBJETIVO)
10
ATUAL
8

Figura 14 - BOM A, simulação concluída

Como forma de demonstrar a aplicabilidade deste simulador como ferramenta de apoio à decisão e a título de exemplo para compreensão do Custo Total em função do valor do Q , foram desenvolvidas 25 simulações para diferentes valores de Q , conforme se verifica na Tabela 16.

Tabela 16 - Resultados: Relação entre CT e Q

Nº Simulação	Sim.1	Sim.2	Sim.3	Sim.4	Sim.5	Sim.6	Sim.7	Sim.8	Sim.9	Sim.10	Sim.11	Sim.12	Sim.13
Q	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
CT	2469,0	2469,0	2469,0	2469,0	2469,0	2374,6	1654,6	1654,6	1654,6	1302,6	1277,6	1277,6	1220,0
Q Obtido	2	2	2	2	2	7	8	8	8	11	12	12	14
Nº Simulação	Sim.14	Sim.15	Sim.16	Sim.17	Sim.18	Sim.19	Sim.20	Sim.21	Sim.22	Sim.23	Sim.24	Sim.25	
Q	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
CT	1220,0	1220,0	1220,0	1220,0	1220,0	120	120	120	120	120	120	0	
Q Obtido	14	14	14	14	14	20	20	20	20	20	20	26	

Quando o valor de Q aumenta, ou seja, quando aumenta o prazo de entrega do produto ao cliente final, tendencialmente, o valor de CT diminui, existe portanto uma relação direta entre estes dois parâmetros (Gráfico 1). Este facto acontece pela existência de uma maior margem para gestão do inventário, assim como gestão do planeamento de produção e planeamento logístico de todas as operações envolvidas na conceção do produto, o que possibilita alcançar menores custos.

Verifica-se através do Gráfico 1 que nem sempre cada vez que há um aumento do valor de Q , há uma diminuição do valor CT. Tal facto evidencia de que é necessária uma análise por parte do decisor mediante cada caso. Por exemplo, aumentar o *lead time* de entrega do produto final de 15 para 16, não resultará na redução de custos.

Os resultados obtidos tornam evidente de que é necessário um grande envolvimento entre a empresa e o seu cliente final na medida em que isso possibilita uma maior comunicação, permitindo acordos e negociações específicas e mais favoráveis de forma a

que ambas as partes fiquem satisfeitas. A empresa, pelo facto de conseguir menores custos, e o cliente pelo facto de ver o seu requisito cumprido.

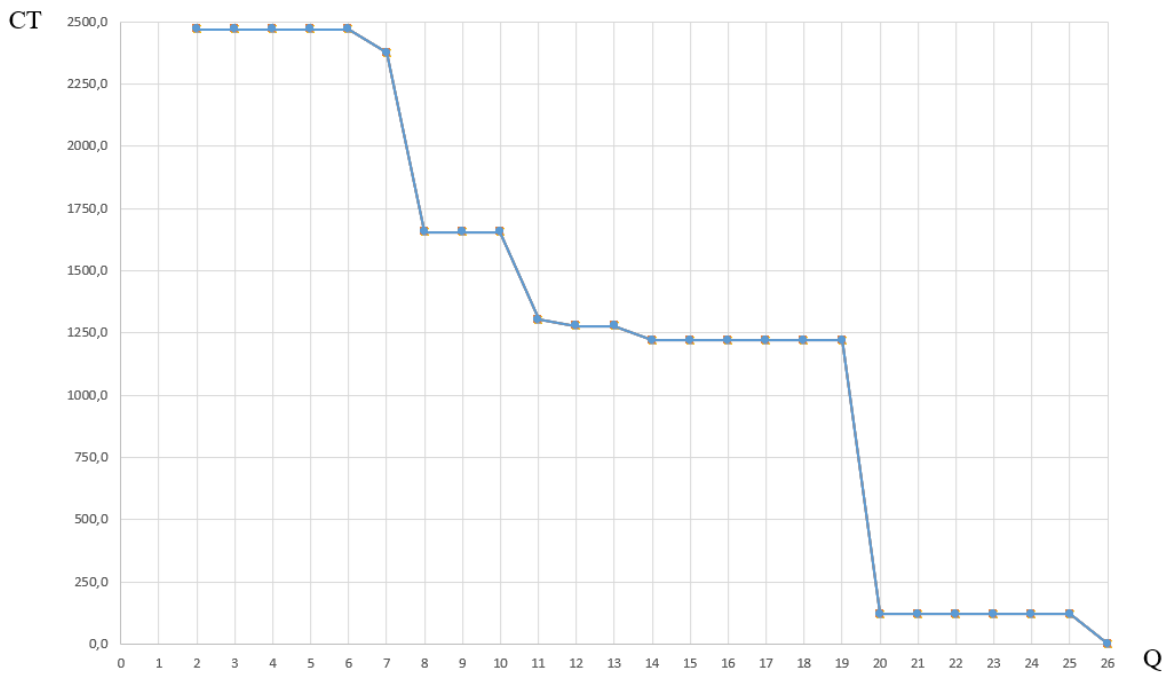


Gráfico 1 - Relação entre CT e Q

Simulação: BOM B

A BOM B é ilustrada na Figura 15.

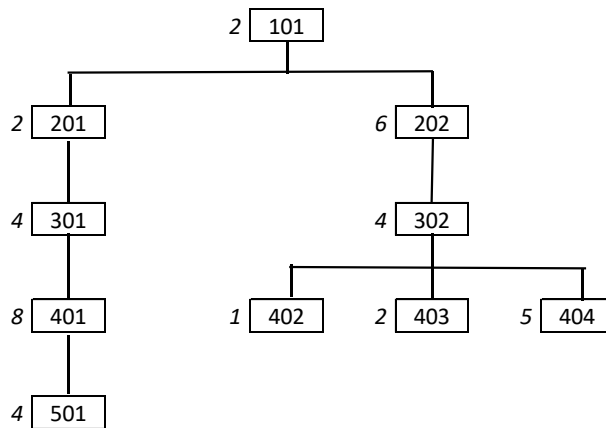


Figura 15 – BOM B

Para este exemplo serão considerados os dados apresentados na Tabela 17. Estes dados foram transferidos para o simulador, preenchendo-se tal como representam a: Tabela 18, Tabela 19, Tabela 20, Tabela 21, Tabela 22, Tabela 23, Tabela 24 e Tabela 25.

Tabela 17 - Dados BOM B

ARTIGO	101	201	202	301	302	401	402	403	404	501
t	2	2	6	4	4	8	1	2	5	4
r	1	1	1	2	5	1	2	4	4	3
v	605	200	180	75	120	25	12	35	20	10
Q	9									
h	0,25									
vp	0,55									
u	1									
ltp	LLT	20	40%							
	MLT	15	55%							
	SLT	10	75%							

Tabela 18- Grelha de dados 1, BOM B

Grelha de dados 1					
$s(i, j)$	1	2	3	4	5
$s(1, 1)$	1	1			
$s(2, 1)$	1				
$s(2, 2)$		1			
$s(2, 3)$					
$s(2, 4)$					
$s(2, 5)$					
$s(3, 1)$	1				
$s(3, 2)$		1	1	1	
$s(3, 3)$					
$s(3, 4)$					
$s(3, 5)$					
$s(4, 1)$	1				
$s(4, 2)$					
$s(4, 3)$					
$s(4, 4)$					
$s(4, 5)$					
$s(5, 1)$					
$s(5, 2)$					
$s(5, 3)$					
$s(5, 4)$					
$s(5, 5)$					

Tabela 19 - Grelha de dados 2, BOM B

Grelha de dados 2					
$t_{i,j}$	1	2	3	4	5
1	2				
2	2	6			
3	4	4			
4	8	1	2	5	
5	4				

Tabela 20 - Grelha de dados 3, BOM B

Grelha de dados 3					
$r_{i,j}$	1	2	3	4	5
1	1				
2	1	1			
3	2	5			
4	1	2	4	4	
5	3				

Tabela 21 - Grelha de dados 4, BOM B

Grelha de dados 4	
u	1

Tabela 22 - Grelha de dados 5, BOM B

Grelha de dados 5		
LTP	dias	%
L LT	20	40%
M LT	15	55%
S LT	10	75%

Tabela 23 Grelha de dados 6, BOM B

Grelha de dados 6					
$vp_{i,j}$	1	2	3	4	5
1	0,55				
2	0,55	0,55			
3	0,55	0,55			
4	0,55	0,55	0,55	0,55	
5	0,55				

Tabela 24 - Grelha de dados 7, BOM B

Grelha de dados 7					
v_{ij}	1	2	3	4	5
1	605				
2	200	180			
3	75	120			
4	25	12	35	20	
5	10				

Tabela 25 - Grelha de dados 8, BOM B

Grelha de dados 8	
h	0,25

Na simulação para a BOM B utilizando os parâmetros apresentados, o CT mínimo obtido é de 930,2, o ASRLT é de 8, e as posições de inventário situam-se nos artigos 202 e 401, conforme se verifica na Figura 16.

Grelha de decisão						Tabela de resultado do Custo Total						
x_{ij}	1	2	3	4	5	CT	1	2	3	4	5	TOTAL
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	930,2
2	0	1	0	0	0	2	0	761,06	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	4	169,13	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0

Tabela de resultado de ASRLT por artigo						Grelha de dados 2					
a_{ij}	1	2	3	4	5	t_{ij}	1	2	3	4	5
1	8					1	2				
2	6	15				2	2	6			
3	4	9	0			3	4	4			
4	12	1	2	5	0	4	8	1	2	5	
5	4	0	0	0	0	5	4				

RESULTADO	OK
Q (OBJETIVO)	9
ATUAL	8

Figura 16 - BOM B, simulação concluída

Simulação: BOM C

A BOM C é ilustrada na Figura 17.

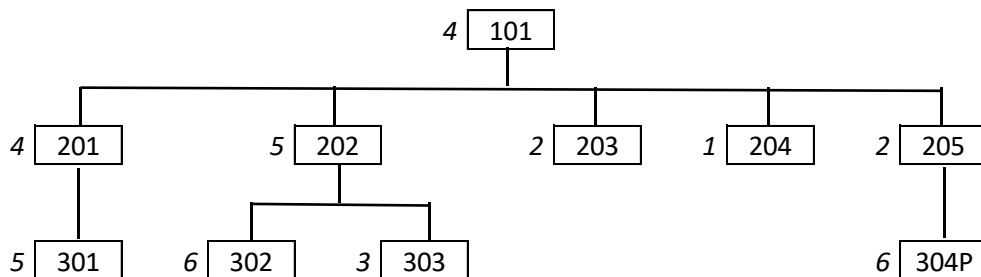


Figura 17 – BOM C

Para este exemplo serão considerados os dados apresentados na Tabela 26. A Tabela 27, demonstra a configuração no simulador.

Tabela 26 - Dados BOM C

ARTIGO	101	201	202	203	204	205	301	302	303	304
<i>t</i>	4	4	5	2	1	2	5	6	3	6
<i>r</i>	1	1	1	3	2	4	2	5	1	4
<i>v</i>	400	140	190	120	50	50	35	25	30	10
<i>Q</i>	7									
<i>h</i>	0,3									
<i>vp</i>	0,6									
<i>u</i>	1									
<i>ltp</i>	LLT	15	30%							
	MLT	10	50%							
	SLT	7	80%							

Tabela 27 - Grelha de dados 1, BOM C

Grelha de dados 1					
<i>s</i> (<i>i j</i>)	1	2	3	4	5
<i>s</i> (1 1)	1	1	1	1	1
<i>s</i> (2 1)	1				
<i>s</i> (2 2)		1	1		
<i>s</i> (2 3)					
<i>s</i> (2 4)					
<i>s</i> (2 5)				1	
<i>s</i> (3 1)					
<i>s</i> (3 2)					
<i>s</i> (3 3)					
<i>s</i> (3 4)					
<i>s</i> (3 5)					
<i>s</i> (4 1)					
<i>s</i> (4 2)					
<i>s</i> (4 3)					
<i>s</i> (4 4)					
<i>s</i> (4 5)					
<i>s</i> (5 1)					
<i>s</i> (5 2)					
<i>s</i> (5 3)					
<i>s</i> (5 4)					
<i>s</i> (5 5)					

Na simulação para a BOM C utilizando os parâmetros apresentados, o CT mínimo obtido é de 1275,8, o ASRLT é de 6 e as posições de inventário situam-se nos artigos 201, 202 e 304, conforme se verifica na Figura 18.

Grelha de decisão						Tabela de resultado do Custo Total						
x_{ij}	1	2	3	4	5	CT	1	2	3	4	5	TOTAL
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1275,8
2	1	1	0	0	0	2	396,9	395,01	0	0	0	
3	0	0	0	1	0	3	0	0	0	483,84	0	
4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	

Tabela de resultado de ASRLT por artigo						Grelha de dados 2					
a_{ij}	1	2	3	4	5	t_{ij}	1	2	3	4	5
1	6					1	4				
2	9	11	2	1	2	2	4	5	2	1	2
3	5	6	3	6	0	3	5	6	3	6	
4	0	0	0	0	0	4					
5	0	0	0	0	0	5					

RESULTADO
OK
Q (OBJETIVO)
7
ATUAL
6

Figura 18 - BOM C, simulação concluída

O simulador não está limitado apenas às BOM's e parâmetros apresentados. É possível ao decisor estudar o impacto da variação de diversos fatores no desempenho da cadeia de abastecimento.

4. Conclusão

Ao longo destes capítulos demonstrou-se de uma forma geral o papel desempenhado pela logística nas organizações e a importância da sua atividade para os processos internos.

Abordaram-se alguns conceitos da logística *Lean* que permitem entender o enquadramento atual dos sistemas de produção.

Foi possível perceber que existem duas formas distintas na gestão dos fluxos de produção, através de sistemas “*pull*” e sistemas “*push*”, e perceber que ambas têm prós e contras, e que, o conjunto das duas pode ser mais benéfico. Uma empresa pode ter mais do que um cenário de produção para que possa tirar partido do melhor de cada um dos dois sistemas, sendo para isso importante ter um sistema e processos de trabalho flexíveis.

No que respeita à metodologia DDMRP, a qual mereceu principal foco, esta é de facto uma metodologia com diversas vantagens, e que permite uma nova visão sobre aquilo que podem ser os sistemas de produção, e o quanto contribuem para orientar os interesses da produção e da gestão de fluxo de materiais em conformidade com os interesses financeiros das empresas.

Através das simulações realizadas na ferramenta desenvolvida, retiram-se importantes conclusões: como a relação do *lead time* de entrega do produto final, com o custo de inventário; e como as respetivas soluções passam pelos diferentes reajustes de definição de posição de inventários estratégicos.

Como o método DDMRP é recente, há ainda muitos estudos a realizar no sentido de compreender e utilizar a sua metodologia, nomeadamente a sua aplicabilidade num sistema G-BOM.

É com grande satisfação que termino este capítulo académico, e com um sentimento de dever cumprido, mas também com uma grande certeza da importância de que é procurarmos sempre aprender e conhecer novos conceitos e realizar novas aprendizagens, para que as mesmas acompanhem sempre a nossa vida pessoal e profissional.

Bibliografia

- Aksoy, A., & Öztürk. (2011). Supplier selection and performance evaluation in just-in-time production environments. pp. 6351-6359.
- Alarcon, L. F., & Ashley, D. B. (1999). Playing games: Evaluating the impact of lean production strategies on project cost and schedule. pp. 263-274.
- Bakri, A. H., Rahim, A. R., Yusof, N. M., & Ahm. (2012). Boosting lean production via TPM. pp. 485-491.
- Bonney, M. C., Zhang, Z., Head, M. A., & Tien, C. C. (1999). Are push and pull systems really so different? pp. 53-64.
- Bucourt, M., Busse, R., Güttler, F., & Wintzer, C. (2011). Lean manufacturing and Toyota Production System terminology applied to the procurement of vascular stents in interventional radiology. pp. 415-423.
- Carvalho, J. C. (1996). *Gestão logística*. Lisboa: Edições Sílabo Lda.
- Ducrot, L., & Ahmed, E. (2019). *Investigation of potential added value of DDMRP in planning under uncertainty at finite capacity*.
- Jiang, J., & Rim, S. C. (2016). Strategic Inventory Positioning in BOM with Multiple Parents Using ASR Lead Time.
- Jiang, J., & Rim, S. C. (2017). Strategic WIP Inventory Positioning for Make-to-Order Production with Stochastic Processing Times. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017., p. 017.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (1997). The bullwhip effect in supply chains. pp. 93-102.
- McCullen, P., & Eagle, S. (2015). *Demand-Driven Innovation in Material Planning and Control: A Review of Early Implementations*. 0-0.
- Miclo, R., Fontanili, F., Luras, M., Lamothe, J., & Milian, B. (2016). An empirical comparison of MRPII and Demand-Driven MRP. pp. 1725-1730.
- Miclo, R., Luras, M., Fontanili, F., Lamothe, J., & Melnyk, S. A. (2019). Demand Driven MRP: assessment of a new approach to materials management. pp. 166-181.
- Miwa, K., Nomura, J., & Takakuwa, S. (2016, Dezembro). Module-based modeling and analysis of a manufacturing system adopting a dual-card Kanban system with a delivery cycle. pp. 2832-2843.
- Oblinger, D. (2006). Simulations, games, and learning. p. 1.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York, U.S.A.: Simon and Schuster Inc.
- Ptak, C., & Chad, S. (2011). Topic: Lean and Demand Driven MRP - Lean Finds a Friend in Demand Driven MRP.

- Rim, S. C., Jiang, J., & Lee, C. J. (2014). Strategic inventory positioning for MTO manufacturing using ASR lead time. pp. 441-456.
- Shofa,, M. J., & Widyarto, W. O. (2017, Junho). Effective production control in an automotive industry: MRP vs. demand-driven MRP. p. 20004.
- Slack, N., Chambers, S., Harland, C., & Harrison, A. (1997). *Administração da Produção*. São Paulo: Editora Atlas S.A.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. USA: Simon and Schuster Inc.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1992). *A Máquina que Mudou o Mundo*. Rio de Janeiro: Campus.