U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

DIGITALIZAÇÃO DO PLANEAMENTO DE AQUISIÇÃO DOS MATERIAIS PARA O INCREMENTO DA EFICIÊNCIA NA CONSTRUÇÃO

GONÇALO CÉSAR ANJOS SANTOS DE CASTRO TORRES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Miguel Jorge Chichorro Rodrigues Gonçalves

JUNHO DE 2021

Assinado por : **Miguel Jorge Chichorro Rodrigues Gonçalves**
Num. de Identificação: 06609671
Data: 2021.07.26 12:11:45+01'00'

CHAVE MÓVEL

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2020/2021

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌍 http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À memória do meu tio Paulo.

O gênio é um por cento de inspiração e noventa e nove por cento de suor.

Thomas Edison

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostava de agradecer ao meu orientador, Professor Miguel Jorge Chichorro Rodrigues Gonçalves pelo seu acompanhamento, compreensão e a disponibilidade durante a realização da presente dissertação.

Gostaria de agradecer aos meus amigos e colegas que me acompanharam ao longo destes anos.

Aos meus pais por todo os conselhos, todo o apoio e o carinho dado durante todo o meu percurso académico.

À Bárbara por todo o carinho, apoio e incentivo que foi importante para a realização desta dissertação.

RESUMO

A indústria da construção tem uma grande influência na economia nacional, e nos últimos anos tem vindo a crescer consecutivamente em termos de peso no Valor Acrescentado Bruto de Portugal tendo sido em 4,5 % em 2019 segundo a PORDATA. As empresas Portuguesas na indústria da construção têm por vezes dificuldade em arriscar na inovação e em particular na digitalização, mantendo-se acomodadas a processos que já estão ultrapassados. Esta demora para progredir e a tornarem-se mais produtivas tem encargos que as próprias empresas não se apercebem até que a mudança ocorra.

O desenvolvimento tecnológico obriga à necessária evolução por parte das empresas, de forma a conseguirem acompanhar essa evolução e a tornarem-se cada vez mais competitivas e consequentemente produtivas. Para se tornarem competitivas neste ramo, é necessário que melhorem os processos, a mão-de-obra e a gestão de materiais, sendo essencial que evoluam de forma a se tornarem cada vez mais digitalizadas.

Sendo a indústria da construção muito competitiva é necessário, entre muitos outros fatores, ter em atenção à gestão dos materiais, que é um dos pontos fulcrais na realização de qualquer obra e é muitas das vezes descurado. A cadeia de gestão logística para aquisição de materiais para a realização de uma obra tem suficiente importância para se evitarem problemas na execução da mesma, nomeadamente: atrasos, alteração de planeamento, perturbação no desempenho das tarefas, aumento de custos, etc.

Tendo em conta a importância desta gestão logística pretende-se nesta dissertação mostrar uma metodologia reconhecida internacionalmente: o *Demand Driven Material Requirement Planning* e comparar com metodologias mais tradicionais salientado as principais diferenças. Para além disso pretendem-se expor as componentes deste método, e a sua aplicabilidade na gestão de materiais em obra. O uso deste método através de softwares será também abordado para entender o seu funcionamento e a sua viabilidade. Todo este trabalho baseou-se principalmente em consulta bibliográfica existente sobre este método.

Finalmente apresenta-se a aplicação desta metodologia a 2 casos de estudo para se avaliar o impacto e a importância da metodologia adotada na elaboração do planeamento e execução de uma obra através da digitalização da logística dos materiais e consequentemente no aumento da produtividade

PALAVRAS-CHAVE: *Demand Driven Material Requirement Planning*, gestão de materiais, digitalização*, Lean Construction*, *Material Requirement Planning.*

ABSTRACT

The construction industry has a great influence on the national economy, and in recent years it has been growing consecutively in terms of its weight in the Gross Value Added of Portugal, having been 4.5% in 2019, according to PORDATA. Portuguese companies in the construction industry sometimes find it difficult to take risks in innovation and in particular in digitalization, remaining accommodated to processes that are already outdated. This delay in progressing and becoming more productive has burdens that companies themselves do not realize until the change takes place.

Technological development requires the necessary evolution on the part of companies, in order to be able to keep up with this evolution and become increasingly competitive and consequently productive. To become competitive in this field, they need to improve processes, labour and materials management, and it is essential that they evolve in order to become increasingly digital.

As the construction industry is very competitive, it is necessary, among many other factors, to pay attention to the management of materials, which is one of the key points in carrying out any work and is often neglected. The logistics management chain for the acquisition of materials to carry out a work is of sufficient importance to avoid problems in its execution, namely: delays, change in planning, disturbance in the performance of tasks, increase in costs, etc.

Taking into account the importance of this logistical management, this dissertation intends to show an internationally recognized methodology: *Demand Driven Material Requirement Planning* and compare it with more traditional methodologies, highlighting the main differences. Furthermore, it is intended to expose the components of this method, and its applicability in the management of materials on site. The use of this method through software will also be addressed to understand its operation and feasibility. All this work was based mainly on existing bibliographic consultation on this method.

Finally, the application of this methodology to 2 case studies is presented to assess the impact and importance of the methodology adopted in the preparation of the planning and execution of a work by digitizing the logistics of materials and consequently increasing productivity.

KEYWORDS: *Demand Driven Material Requirement Planning*, Material Management, Digitization, *Lean Construction*, *Material Requirement Planning.*

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i

RESUMO iii

ABSTRACT v

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. MOTIVAÇÃO 1

1.2. OBJETIVO E METODOLOGIA 1

1.3. ESTRUTURAÇÃO TESE 2

2. ABORDAGEM DA LOGÍSTICA NA CONSTRUÇÃO 3

2.1. INTRODUÇÃO 3

2.2. A IMPORTÂNCIA DO LEAN CONSTRUCTION 3

2.2.1. Redução das Atividades que não Agregam Valor 5

2.2.2. Aumentar o Valor do Produto na Perspetiva do Cliente 5

2.2.3. Reduzir a Variabilidade 5

2.2.4. Reduzir o Tempo do Ciclo 6

2.2.5. Simplificar Através da Redução do Número de Passos ou Partes 7

2.2.6. Aumentar a Flexibilidade de Saída 7

2.2.7. Aumentar a Transparência do Processo 8

2.2.8. Focar o Controlo no Processo Global 8

2.2.9. Introduzir uma Melhoria Contínua no Processo 8

2.2.10. Manter o Equilíbrio entre Melhorias de Fluxo e Conversões 8

2.2.11. Benchmarking 9

2.3. MATERIAL REQUIREMENT PLANNING I E O MANUFACTURING REQUIREMENT PLANNING II 9

2.3.1. Introdução 9

2.3.2. Como Funciona o MRP II? 10

2.3.2.1. Production Planning 11

2.3.2.2. Master Production Schedule 11

2.3.2.3. Material Requirements Planning 11

2.3.2.4. Capacity Requirements Planning 11
2.3.2.5. Shop Floor Control 11
2.4. AS FILOSOFIAS MRP II 12
2.5. MRP VERSUS LEAN 12

3. DEMAND DRIVEN MATERIAL REQUIREMENT PLANNING 15
3.1. O PRINCÍPIO BASE DO DDMRP 15
3.2. PONTOS ESTRATÉGICOS DE INVENTÁRIO – 1º COMPONENTE DO DDMRP 16
3.3. BUFFERS ESTRATÉGICOS – 2º COMPONENTE DO DDMRP 19
3.3.1. Introdução 19
3.3.2. Perfis de Buffers 20
3.3.3. Atributos Específicos de cada item 22
3.3.3.1. Consumo Diário Médio (CDM) 22
3.3.3.2. Tempo de Espera 23
3.3.3.3. Quantidades Mínimas de Encomenda 23
3.3.3.4. Localização 23
3.3.4. Cálculo dos Perfis e Zonas dos Buffers 24
3.3.4.1. Introdução 24
3.3.5. A Zona Verde 25
3.3.6. A Zona Amarela 25
3.3.7. A Zona Vermelha 25
3.4 AJUSTES DOS BUFFERS – 3º COMPONENTE DO DDMRP 26
3.4.1. Ajuste do Fator de Procura 26
3.4.2. Ajuste do Fator das Zonas 27
3.4.3. Ajuste do Fator do Tempo de Espera 27
3.5 PLANEAMENTO – 4º COMPONENTE DO DDMRP 27
3.5.1. A Equação das Potenciais Existências 28
3.5.2. Geração de Encomendas Baseado na Equação das Potenciais Existências 28
3.5.3. Cálculo do Inventário em Armazém 29
3.5.4. Explosões de Desacoplamento 30
3.6 EXECUÇÃO E GESTÃO – 5º COMPONENTE DO DDMRP 31
3.6.2. Alertas dos Estados dos Buffers 32

3.6.3. Planeamento Versus Execução 33
3.6.4. Alerta da Quantidade de Material Atual 33
3.6.5. Alerta da Quantidade de Material Projetada 33
3.6.6. Alertas de Sincronização 34
3.6.7. Alertas de Sincronização de Materiais 34
3.6.8. Alertas de Tempo de Espera 34
4. APLICAÇÃO DE SOFTWARE COM FUNCIONALIDADES DDMRP 35
4.1. INTRODUÇÃO 35
4.1. APLICAÇÃO EM SOFTWARE SAP COM FUNCIONALIDADES DDMRP 35
5. CASOS DE ESTUDO 43
5.1. INTRODUÇÃO 43
5.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO DDMRP 43
5.3. SEGUNDO CASO DE ESTUDO 49
5.3.1. Introdução 49
5.3.2. Aplicação do Caso de Estudo 50
6. CONCLUSÕES 55
6.1. CONCLUSÕES FINAIS 55

BIBLIOGRAFIA 57

ÍNDICE DE FIGURAS

2. ABORDAGEM DA LOGÍSTICA NA CONSTRUÇÃO 3

Fig. 2.1 – Modelo do Processo Lean 4

Fig. 2.2 – Tempo de Ciclo progressivamente diminuindo através da eliminação de atividades que não agregam valor e redução da variabilidade 7

Fig. 2.3 – Comparação da metodologia MRP e Lean 13

3. DEMAND DRIVEN MATERIAL REQUIREMENT PLANNING 15

Fig. 3.1 – Os 6 pilares do DDMRP 15

Fig. 3.2 – Os cinco componentes do DDMRP 16

Fig. 3.3 – Exemplos de lista de materiais de parede dupla e parede ETICS 18

Fig. 3.4 – Zona dos Buffers 20

Fig. 3.5 – Fatores do tempo de espera 21

Fig. 3.6 – Fatores de variabilidade 22

Fig. 3.7 – Perfis dos buffers 22

Fig. 3.8 – Localização dos itens 23

Fig. 3.9 – Caraterísticas do Tijolo 24

Fig. 3.10 – Método de cálculo do buffer e das várias zonas 24

Fig. 3.11 – Cálculo das zonas do tijolo 24

Fig. 3.12 – Equações de cálculo da zona verde 25

Fig. 3.13 - Equação de cálculo da zona amarela 25

Fig. 3.14 – Equações de cálculo da zona vermelha 26

Fig. 3.15 – Perfil do buffer e devidas nomenclaturas 29

Fig. 3.16 - Exemplo de cálculo das zonas do buffer 30

Fig. 3.17 – Diferença das explosões de desacoplamento 31

Fig. 3.18 – Data de entrega de materiais 32

Fig. 3.19 – Datas de Entrega e estado do buffer 32

4. APLICAÇÃO DE SOFTWARE COM FUNCIONALIDADES DDMRP 35

Fig. 4.1 – Janela de introdução do material 36

Fig. 4.2 – Janela de Introdução de Classificações 36

Fig. 4.3 – Janela de Informação de cada produto 37
Fig. 4.4 – Janela de Introdução de Classificações do tempo de espera 37
Fig. 4.5 – Janela para o cálculo dos níveis do buffer 38
Fig. 4.6 – Janela para gestão dos buffers 38
Fig. 4.7 – Janela de consulta de consulta dos níveis de cada zona 39
Fig. 4.8 – Janela de consulta do buffer 39
Fig. 4.9 – Janela de consulta do consumo diário médio 39
Fig. 4.10 – Janela de consulta do tempo de espera desacoplado 40
Fig. 4.11 – Janela de consulta do perfil do buffer e das classificações 40
Fig. 4.12 – Janela de consulta da necessidade de encomendas ao nível do planeamento 41
Fig. 4.13 – Janela de consulta da necessidade de encomendas ao nível da execução 41

5. CASOS DE ESTUDO 43

Fig. 5.1 – Lista de materiais da fachada ETICS 44
Fig. 5.2 – Fatores de Tempo de Espera e de Variabilidade 44
Fig. 5.3 – Caraterísticas do EPS (Caso 1) 44
Fig. 5.4 – Equações de cálculo do nível das três zonas 45
Fig. 5.5 – Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica (Caso 1) 45
Fig. 5.6 – Cronograma de Encomendas 46
Fig. 5.7 – Caraterísticas do EPS (Caso 2) 47
Fig. 5.8 – Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica (Caso 2) 47
Fig. 5.9 – Caraterísticas do EPS (Caso 3) 47
Fig. 5.10 – Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica (Caso 3) 47
Fig. 5.11 – Mapa Comparativo dos três casos 48
Fig. 5.12 – Caraterísticas da Pintura Final 49
Fig. 5.13 – Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica 49
Fig. 5.14 – Cronograma de Encomendas 49
Fig. 5.15 – Lista de Materiais de Parede Exterior (1º Iteração) 50
Fig. 5.16 – Caraterísticas do buffer da parede exterior (1º Iteração) 50
Fig. 5.17 – Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica 51
Fig. 5.18 – Lista de Materiais de Parede Exterior (2º Iteração) 51
Fig. 5.19 – Características do buffer da parede exterior após o desacoplamento 51
Fig. 5.20 – Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica 52

Fig. 5.21 – Caraterísticas do buffer da argamassa de assentamento 52
Fig. 5.22 – Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica 52
Fig. 5.23 – Comparativo dos Buffers 53

ABREVIATURAS

ERP – *Enterprise Resource Planning*

DDMRP – *Demand Driven Material Requirement Planning*

MRP I – *Material Requirement Planning I*

MRP II – *Manufacturing Requirement Planning II*

IC – Indústria da Construção

MPS – Master Production Schedule

CRP – Capacity Requirements Planning

SFC – Shop Floor Control

DRP – *Distribution Requirements Planning*

CDM – Consumo Diário Médio

TED – Tempo de Espera Desacoplado

TDV – Topo do Verde

TDA – Topo do Amarelo

TDVE – Topo do Vermelho

1
INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO

A gestão de materiais é um processo essencial na indústria da construção, pois desempenha um papel fulcral para que exista um fluxo contínuo nos trabalhos, e não existam perturbações no desempenho das tarefas. Existem vários métodos que permitem efetuar a gestão de materiais, porém sempre com os seus prós e os seus contras. O método que irá ser abordado nesta dissertação traz uma junção de várias metodologias, e tenta agregar as valias de cada método e formar um método mais robusto e com mais informação. Este método pretende que exista um controlo muito maior sobre todos os processos e que exista uma otimização de todo o controlo e gestão de materiais, e que por sua vez permita a quem o utiliza tirar o máximo proveito de todas as particularidades.

A gestão de materiais é essencial para o processo de construção e por vezes não é gerida da forma correta, o que provoca perdas de produtividade e consequentemente o acréscimo nos valores pagos por materiais. Esta metodologia, traz algo de inovador e pode ser facilmente introduzida no mercado e tornar-se numa grande vantagem o utilizador.

Podendo aliar esta metodologia com a digitalização obtém-se a combinação perfeita na gestão dos materiais na indústria da construção. As empresas através do *Enterprise Resource Planning* podem acrescentar as funcionalidades *Demand Driven Material Requirement Planning,* conseguindo efetuar, para além de gestão financeira, também a gestão de materiais fazendo com que a informação fique centralizada, não existindo perda de informação ao longo do tempo.

1.2. OBJETIVO E METODOLOGIA

Com este trabalho pretende-se de uma forma simples, abordar as potencialidades do uso do *Demand Driven Material Requirement Planning* no âmbito da construção, especificamente na gestão dos materiais.

Pretende-se demonstrar as potencialidades que o uso desta metodologia pode trazer para o paradigma da construção, através da gestão dos materiais de forma distinta diferenciando-se de outras metodologias já usadas e conhecidas.

Vão ser abordadas as quatro componentes principais do DDMRP e qual a sua importância neste método.

Será feita uma aplicação a dois casos de estudo, de forma a entender a aplicabilidade da metodologia na gestão de materiais na construção e quais as nuances que possam advir na gestão dos diferentes materiais usados.

Pretende-se também efetuar uma abordagem de como este método é aplicado num software ERP como o [SAP], usado internacionalmente. O ERP SAP para além de gestão financeira da empresa também possibilita a gestão de materiais, usando a metodologia DDMRP deste trabalho.

1.3. ESTRUTURAÇÃO TESE

A presente dissertação está organizada da seguinte forma:

No primeiro capítulo é enquadrado o tema do trabalho, os objetivos que se pretendem atingir, a metodologia usada, a motivação para a realização deste trabalho, e a forma como está organizada a dissertação.

No segundo capítulo é feito uma explicação de duas metodologias da gestão de materiais bastante usadas no âmbito da construção e uma comparação entre elas, nomeadamente a *Lean Construction* e o *Material Requirement Planning*.

No terceiro capítulo são abordadas as influências de diversas metodologias no DDMRP e todas as componentes da metodologia DDMRP.

No quarto capítulo será explicado como é materializada a introdução de dados e a gestão dos mesmos no software SAP, na perspetiva da gestão dos materiais.

No quinto capítulo são apresentados dois casos de estudo, onde foram aplicadas as funcionalidades do DDMRP.

No último capítulo são feitas as conclusões finais.

2
ABORDAGEM DA LOGÍSTICA NA CONSTRUÇÃO

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo irá ser abordada a importância do Lean Construction e de que forma a sua implementação trouxe uma mudança no paradigma da construção. Para ser possível entender melhor serão abordados os princípios necessários para a sua implementação.

O Material Requirement Planning I e o Manufacturing Requirement Planning II serão abordados com o intuito de entender as bases de ambos e assim serem percetíveis os prós e os contras de ambos. Por último será feita uma comparação entre o Lean Construction e o Material Requirement Planning para ser possível entender quais as discordâncias entre eles.

2.2 A IMPORTÂNCIA DO LEAN CONSTRUCTION

A indústria da construção (IC) tendo tido uma grande quebra entre 2008 e 2010, desde 2014 a economia tem crescendo. A IC tem, como em quase todos os países, um grande impacto na economia nacional, sendo que este setor em Portugal têm um peso no Valor Acrescentado Bruto de 4,5 % em 2019 em linha com a média europeia de 5,6% segundo dados do Eurostat. O desenvolvimento tecnológico tem provocado um aumento da competitividade das empresas, emergindo uma necessidade de evolução por parte da indústria da construção para acompanhar essa evolução tecnológica de forma a aumentar a sua produtividade. Porém uma das dificuldades das empresas está na capacidade de serem competitivas na adoção e acompanhamento dessa implementação tecnológica sem que sejam prejudicados os custos, a duração e a qualidade dos projetos.

Para ser possível existir uma mudança substancial no paradigma da construção é essencial ter em conta a produtividade atual no mercado nacional. Segundo dados da PORDATA, a produtividade do trabalho por hora é 65,3 em 2019, em 1995 era de 68,6 e a média da União Europeia é 100. Estes índices vêm demonstrar a pouca evolução existente.

Daí surge a necessidade de uma melhoria substancial em termos da gestão e controlo de custos, surgindo diversos métodos que visam auxiliar esse desenvolvimento para o aumento de produtividade.

Durante vários anos foram surgindo novas soluções e visões que tentassem implementar a produtividade na construção. A industrialização, a automação e a integração da construção foram as várias soluções apresentadas. A manufaturação é o ponto em comum de todas estes novos desenvolvimentos, porém

novos avanços têm sido dados com o desenvolvimento da manufaturação que se baseiam não numa nova tecnologia, mas sim de o aparecimento de uma nova filosofia.

Esta filosofia obteve a sua primeira aplicação em 1950, essa aplicação foi a *Toyota Production System*. A ideia básica deste sistema é eliminação de inventários, redução de desperdícios, redução de tempo, a cooperação com fornecedores e outras técnicas como o uso de máquinas semiautomáticas. (Koskela, 1992)

No início dos anos 1990, uma nova filosofia de produção conhecida por diferentes nomes (*World Class Manufacturing, Lean Production, New Production System*) emergiu como a nova visão. Esta visão foi adotada por diversas empresas na América e na Europa. Esta abordagem evolui para vários setores, tais como serviços, administração e no desenvolvimento de produtos.

Lean Thinking é uma abordagem inovadora, que tem como objetivo a eliminação gradual do desperdício através da implementação de procedimentos simples, procurando a perfeição dos processos. O pensamento *Lean* consiste num conjunto de princípios para simplificar os processos entre organização e cliente, eliminando todos os desperdícios. O pensamento fulcral desta abordagem é que apenas uma fração do tempo e esforço de uma tarefa é transformada em valor. Logo, após ser definido o valor de um produto na perspetiva do cliente, todos os desperdícios devem ser eliminados.

O sector da construção é um dos meios onde mais incertezas existem, e a solução geralmente utilizada é a de "desenrascar". Esta solução só coloca mais incertezas tornando o processo menos produtivo. Olhando para o processo como uma divisão em múltiplas tarefas e não existindo uma coordenação entre tarefas e trabalhadores provoca também uma degradação, aumentando o tempo de conclusão de obra e sobretudo diminuindo a produtividade global, que em geral em Portugal é baixa.

Lean Construction surge a partir de duas filosofias básicas, o *Total Quality Management* e o *Just in Time*.

O modelo *Lean Construction* pode ser definido como um fluxo de materiais/informação desde a matéria-prima até ao produto acabado, sendo constituído por atividades de execução, inspeção, transporte e espera. O mais importante neste processo é gerar valor, as atividades de transporte, espera e inspeção não agregam valor ao produto, são denominadas de atividades de fluxo.

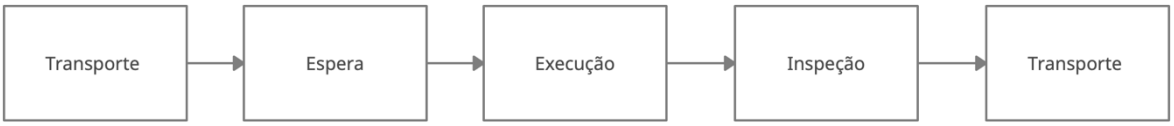


Fig.2.1 - Modelo do Processo Lean (Adaptada de Koskela, L. (1992))

A ideia central deste modelo é o de eliminar o desperdício e tornar as atividades de processamento mais eficientes, as restantes atividades não agregam valor logo devem ser reduzidas ou eliminadas. Porém para aplicar esta nova filosofia, deve-se ter por base os seguintes princípios:

- Redução das atividades que não agregam valor
- Aumentar o valor do produto na perspetiva do cliente
- Redução da variabilidade
- Redução do tempo de Ciclo
- Simplificação através da redução do número de passos ou partes

- Aumentar a flexibilidade de saída
- Aumentar a transparência do processo
- Focar o controlo no processo global
- Introduzir uma melhoria contínua no processo
- Manter o equilíbrio entre melhorias de fluxo e conversões
- Benchmarking

2.2.1 Redução das Atividades Que Não Agregam Valor

O princípio fundamental do Lean Construction é precisamente o da Redução das Atividades Que Não Agregam Valor, segundo o qual a eficiência dos processos pode ser melhorada e as suas perdas reduzidas ao máximo, tendo em conta a melhoria das atividades de fluxo e conversão e a eliminação das atividades de fluxo.

Este princípio não pode ser usado de uma forma simplista pois determinadas atividades de fluxo não agregam valor para o cliente final, contudo têm um papel fundamental na eficiência global do processo, tais como o planeamento de obra, o controlo de custos e os planos de segurança. Atividades como acidentes e defeitos, essas sim devem ser eliminadas pois não agregam valor para nenhuma parte do processo.

A maioria dos princípios que irão ser referidos posteriormente estão ligados ao objetivo de reduzir a parcela de atividades que não agregam valor, porém é possível obter uma noção das atividades de fluxo que não agregam valor simplesmente efetuando uma representação do fluxo de processos e assinalar essas atividades para poderem ser minimizadas ou eliminadas.

2.2.2 Aumentar o valor do Produto na Perspetiva do Cliente

Aumentar o valor do produto na perspetiva do cliente é outro princípio fundamental da *Lean Construction*, onde é abordado o conceito de processo como um gerador de valor. Neste processo é necessário a identificação das necessidades dos clientes internos e externos que posteriormente deve ser considerada durante a fase de projeto e na gestão da produção.

Para a sua aplicação é necessário um planeamento da produção que envolva os clientes e os seus requisitos para cada fase do processo.

Durante a fase de projeto, devem ser obtidos dados relativos às preferências dos clientes finais. Esses dados devem ser comunicados à equipa de projetistas com o objetivo de serem tidos em conta durante a fase de projeto.

Durante a fase de produção, este princípio pode também ser aplicado se as equipas de trabalho subsequentes de um determinado processo forem consideradas como clientes internos. Como por exemplo, se a equipa que executa a estrutura em betão armado não respeitar as tolerâncias dimensionais toleráveis, a equipa subsequente pode ter o seu trabalho dificultado. É importante que exista uma comunicação constante entre as diferentes equipas de forma a que os requisitos de cada uma delas sejam cumpridos.

2.2.3 REDUZIR A VARIABILIDADE

Os processos de produção são muito variáveis, por essa mesma razão existem duas razões para reduzir a variabilidade.

Primeiramente, um produto uniforme traz mais satisfação ao cliente pois a qualidade do produto corresponde às especificações dadas por ele.

Em segundo lugar, a variabilidade tende a aumentar o número de atividades que não agregam valor e o tempo necessário para a execução de um determinado processo, pelas seguintes razões:

a) Interrupção de fluxos de trabalho, normalmente causada por atrasos de uma equipa antecedente o que obriga a equipa a ficar parada ou deslocar-se para outra frente de trabalho, provocando atrasos.
b) Não aceitação de produtos fora da especificação do cliente, resultando em correções ou produtos rejeitados.

No contexto da construção civil, variabilidade é um fator crucial devido ao caráter único da obra e dos seus procedimentos. É possível reduzir esta variabilidade através da padronização de processos, diminuindo assim a variabilidade, porém é impossível eliminá-la por completo cabendo assim à gestão da produção minimizar os impactos da variabilidade.

2.2.4 REDUZIR O TEMPO DE CICLO

O tempo é uma das formas de controlo de todo o processo de produção. O tempo de ciclo pode ser definido como a soma dos tempos de processamento, inspeção, armazenamento e transporte para produzir um determinado produto.

O princípio básico do *Lean Construction* é reduzir o tempo de ciclo, "comprimindo" atividades como a inspeção, armazenamento e transporte. Esta redução traz outras vantagens:

a) Entrega mais rápida ao cliente: Invés de se espalharem por toda a obra, as equipas focam-se na conclusão de um pequeno conjunto de unidades, formando lotes de produção menores. Por vezes, é possível entregar aos clientes mais cedo, o que tende a reduzir o valor da empreitada;
b) A estimativa da procura futura é mais precisa: sabendo que os lotes de produção são mais reduzidos, por sua vez o tempo de realização vai ser menor fazendo com que a empresa trabalhe com uma estimativa mais precisa, tornando o sistema mais estável;
c) O sistema de produção torna-se menos vulnerável à mudança da procura: pode-se obter uma maior flexibilidade para atender a nova procura, pois a alteração de produtos pode ser enquadrada nos lotes de produção subsequentes;
d) A gestão dos processos torna-se mais simples: o volume de trabalhos de progresso é menor, o que tende a diminuir o número de trabalhos a realizar nas várias frentes de trabalhando, facilitando o controlo dos processos.

A implementação desta redução do tempo de ciclo implica um conjunto de ações tais como:

- Redução do tamanho dos lotes;
- Alteração da disposição do estaleiro para as distâncias entre frente de trabalho e estaleiro sejam otimizadas;
- Mudanças nas relações de dependência entre atividades, evitando a interdependência das atividades, de forma a que possam ser executadas em paralelo;

A implementação destas ações pode provocar uma redução do desperdício de tempo, aumentando a produtividade como se pode perceber na Figura 2.2.

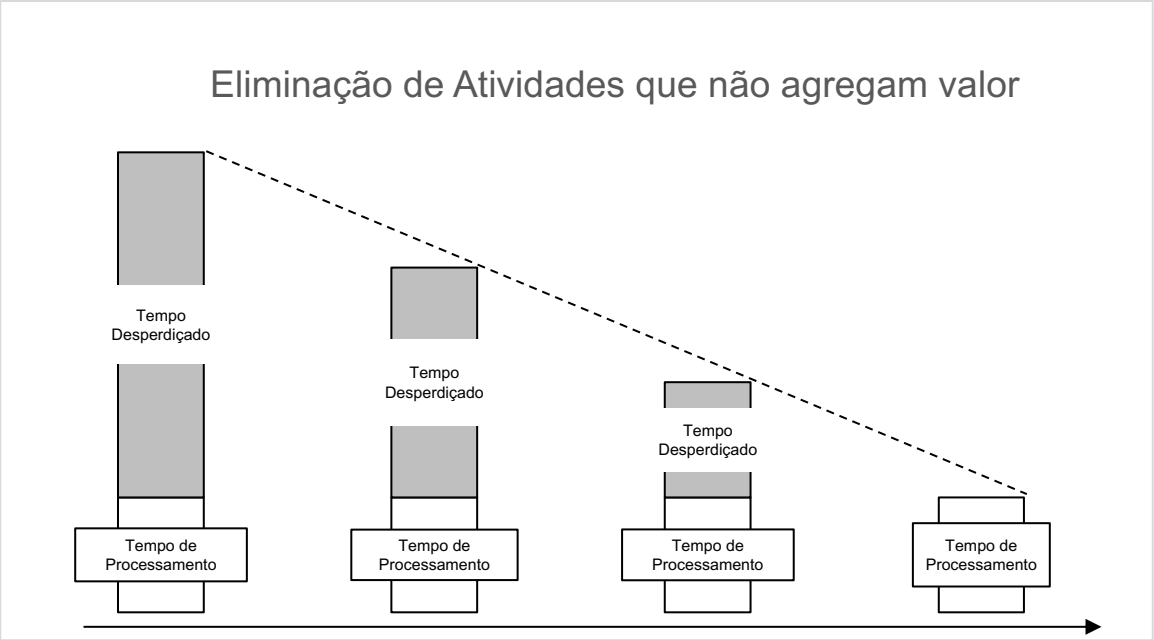


Fig. 2.2- Tempo de Ciclo progressivamente diminuindo através da eliminação de atividades que não agregam valor e redução da variabilidade (Adaptada de Koskela, L. (1992))

2.2.5 Simplificar Através Da Redução do Número de Passos ou Partes

O princípio Simplificar Através Da Redução do Número de Passos ou Partes tem por base a ideia de que o aumento de complexidade de um determinado produto ou processo aumenta o seu custo para além do somatório de custos do número de passos. Quanto mais complexo o processo, menos fiável se torna em relação a um sistema mais simples. Além disso, a capacidade humana para lidar com processos mais complexos é mais diminuta.

Existem várias abordagens para atingir a simplificação como por exemplo:

a) Uso de equipas polivalentes e autónomas, em vez de várias equipas especializadas;
a) Uso de matérias padronizados ou pré-fabricado, facilitando a sua execução com menos passos;
b) Reduzir o número de informação de controlo necessária;

2.2.6 Aumentar a Flexibilidade de Saída

Aumentar a flexibilidade está relacionado ao processo de agregar valor. Isto refere-se à possibilidade de alterar certas caraterísticas finais dos produtos, sem que os custos aumentem e a qualidade diminua. À primeira vista, aumentar a flexibilidade de saída aparenta ser contraditório com o aumento de simplificação. Porém o uso deste princípio demonstra que é possível aumentar a flexibilidade e manter bons níveis de produtividade.

Isto pode ser obtido através de:

a) Redução do tamanho dos lotes, para reduzir o tempo de ciclo;

b) Redução da dificuldade de mudança de processos construtivos sem provocar grandes distúrbios na produção;
c) Uso de mão de obra polivalente, capaz de se adaptar facilmente às mudanças na procura;
d) Finalização do produto o mais tarde possível.

2.2.7 Aumentar a Transparência do Processo

A falta de transparência no processo aumenta a propensão de errar, reduz a visibilidade dos erros e diminui a motivação para melhorias. Sabendo isto o objetivo é de tornar a produção um processo mais observável permitindo à mão de obra ter uma visão clara e compreensível de todo o processo desde o seu início até ao seu término.

As várias formas de aumentar a transparência são os seguintes:

a) Implementação de programas de melhoria de organização e limpeza;
b) Utilização de dispositivos visuais, tais como sinalização luminosa e demarcação de áreas;
c) Implementação do uso de indicadores de desempenho, que tornem visíveis parâmetros do processo, tais como o índice de produtividade, a satisfação do cliente, etc.;
d) Colocação de informação do processo em locais de trabalho, tais como zonas de trabalho, contentores, materiais e ferramentas.

2.2.8 Focar o Controlo no Processo Global

A preocupação em melhorar as etapas de forma isolada não tendo em conta o processo como um todo provoca mais falhas. Deve obter-se a perceção do processo como um todo para conseguir entender como uma mudança pontual pode afetar todo o processo, que por sua vez deve ser sempre medido e controlado.

2.2.9 Introduzir uma Melhoria Contínua No Processo

O esforço de redução de perdas e aumento do valor do processo tem um caráter incremental, interno à empresa e que deve ser conduzido continuamente com a participação da equipa responsável.

Existem diversos métodos necessários para a aplicação da melhoria contínua, tais como:

a) Definição de metas claras com objetivo de definir prioridades para obter melhorias;
b) Definição de procedimentos padrão, de forma a consolidar boas práticas e servir de referência para futuras melhorias;
c) Utilização de indicadores de desempenho.

2.2.10 Manter O Equilíbrio Entre Melhorias de Fluxo e Conversões

Os fluxos são ações que se desencadeiam por uma certa ordem e ritmo, neste processo existem vários fluxos tais como o fluxo de montagem, fluxo de materiais, fluxo de informações e fluxo de trabalho. As conversões. As conversões são os processos que transformam um matéria-prima num produto final que estão diretamente relacionadas com os fluxos.

Para a melhoria da produtividade dos processos, a eficiência das conversões e dos fluxos devem ser tidas em conta, deve ser sempre mantido um equilíbrio entre as melhorias dos fluxos e conversões. Um bom fluxo necessita menos capacidade de conversão e menos investimento de equipamento. Tendo fluxos

mais controlados implementam-se novas tecnologias de conversão mais facilmente. Uma nova tecnologia de conversão proporciona uma variabilidade mais reduzida e dessa forma benefícios no fluxo. A racionalização deste processo deve procurar avaliar a possibilidade de inovação tecnológica.

2.2.11 BENCHMARKING

O Benchmarking pode ser definido como uma técnica que visa a identificação e implementação de boas práticas de gestão, com o propósito de estabelecer, a partir de comparações de desempenho. Se é possível melhorar ou não o trabalho desenvolvido numa organização, podendo ajudar na identificação de oportunidades de melhoria e proporcionar um melhor controlo de custos.

Existe uma ampla bibliografia sobre como aplicar o benchmarking, mas ficam aqui os passos gerais do processo que deve ser bem estruturado:

- Conhecer os processos da empresa, sabendo os pontos fortes e fracos dos subprocessos;
- Conhecer as boas práticas de empresas similares;
- Incorporar as melhores práticas encontradas na realidade da empresa.

2.3 MATERIAL REQUIREMENT PLANNING I E O MANUFACTURING REQUIREMENT PLANNING II

2.3.1 INTRODUÇÃO

Material Requirement Planning I (MRP I) e o *Manufacturing Requirement Planning II* (MRP I) são os sistemas de produção adotadas desde os anos 70. Irá ser abordado mais profundamente o MRP II, que é uma extensão do MRP aplicado aos vários recursos.

Segundo (Gianesi, 1992), os objetivos principais destes sistemas de cálculo de necessidades são de permitir o cumprimento dos prazos de entrega ao cliente, recorrendo ao mínimo de stocks, planeando todas compras e a produção de componentes em obra de forma a ocorrerem nos momentos e nas quantidades necessárias.

O princípio básico por trás do MRP II é o princípio do cálculo de necessidades, sendo um processo computorizado que permite o cálculo de quantidades e momentos em que são necessários recursos de manufatura (matérias, mão-de-obra, equipamentos, entre outros), de forma a cumprir os prazos de entrega, com o mínimo de stocks.

O cálculo das necessidades é sempre feito a partir das necessidades dos produtos finais. Suponhamos que um determinado processo produtivo X é dividido em três etapas: compra de materiais, leva 1 dia, fabricação do componente, leva 2 dias e montagem do produto final X que leva 1 dia.

Existindo um pedido de uma unidade do produto X para sexta-feira, é necessário que existam montadores disponíveis nesse dia. Prosseguindo no mesmo raciocínio, para que o produto possa ser montado na sexta-feira é necessário que ele comece a ser fabricado na quarta-feira (a fabricação leva dois dias), para isso é necessário que os operários e as ferramentas estejam disponíveis quarta e quinta-feira e é também necessário que os materiais necessários para a produção estejam comprados e disponíveis na quarta-feira. Para isso é necessário que as compras decorram entre segunda e terça-feira (as compras levam 1 dia).

Este é um exemplo ilustrativo da lógica deste sistema de cálculo de necessidades que tem por base os seguintes aspetos:

a) Começa-se das necessidades de entrega dos produtos finais (quantidade e datas);

b) Calculam-se a partir do fim, as datas de início e término das etapas do processo;
c) Determina-se os recursos necessários para que se execute cada etapa.

Esta lógica de cálculo de necessidades é bastante simples e conhecida há muitos anos. Porém a sua utilização era limitada devido à falta de armazenagem e processamento de dados. Com o aumento de capacidade de processamento de dados dos computadores, o cálculo de necessidades tornou-se mais viável. As aplicações computorizadas foram desenvolvidas a partir de um "processador de listas de materiais" que convertia um plano de produção de um produto final (procura independente) em um plano de compras ou produção de seus itens componentes (procura dependente).

É importante perceber os conceitos de procura dependente e independente.

Itens de procura independente, são aqueles que a sua procura não depende da procura de nenhum outro item. Um exemplo destes itens são os produtos finais, que normalmente dependem de aspetos do mercado e não de procura de qualquer outro item.

Os Itens de procura dependente, são aqueles cuja procura está associada à procura de algum outro item. A procura de um componente de um produto final depende diretamente da procura desse produto final.

A diferença entre estes dois itens é que a procura do primeiro tem de ser prevista, com base nas caraterísticas do mercado. A procura do segundo item, não necessita de ser prevista, pois como é dependente de um outro item, pode ser calculada tendo em conta a procura desse outro item.

Outro conceito essencial deste método é o "Lead-Time" ou tempo de aprovisionamento de um item. "lead-time" refere-se ao tempo decorrido entre o pedido de compra até à sua receção. Caso se trate de um item fabricado, o "lead-time" refere-se ao tempo decorrido desde o início da ordem de produção até que o item esteja fabricado e disponível para uso.

Tendo estes conceitos presentes, tanto o "lead-time" como a estrutura do produto e as necessidades dos produtos finais, são possíveis calcular todas as necessidades dos itens.

Com a popularização da técnica de cálculo de necessidades dos materiais e com mais pesquisa relativa à aplicação dos princípios do MRP em situações de produção, foi notado que essa lógica poderia ser também adotada no planeamento de outros recursos de produção (como as necessidades de mão-e-obra e de equipamentos). O passo adicional para isso ser consumado é a necessidade de obter informações adicionais relativos à alocação de mão-de-obra, taxas consumo de recursos por item produzido, entre outras. Com todas estas informações e com a lógica utilizada no MRP, é possível efetuar essa técnica. Esta extensão do conceito de cálculo de necessidades a todos os recursos e não apenas aos materiais, para que ficasse claro que se tratava de uma extensão do MRP, apelidou-se de "*Manufacturing Resources Planning*" – MRP II.

2.3.2 COMO FUNCIONA O MRP II?

Os sistemas MRPII, geralmente estão disponíveis no mercado na forma de softwares. Estes são divididos em módulos com funções diferentes, porém mantêm relações entre si.

O MRPII divide-se em 5 módulos:

- *Production Planning*
- *Master Production Schedule*
- *Material Requirements Planning*
- *Capacity Requirements Planning*
- *Shop Floor Control*

2.3.2.1 Production Planning

Este módulo tem como objetivo auxiliar as decisões do planeamento relativos aos níveis de stocks e em termos de previsões da procura dos produtos. É o nível mais geral do planeamento de produção, todas as previsões são feitas recorrendo a unidades monetárias. Os planos de desagregação, estabelecidos pelos dois módulos seguintes devem ser consolidados e confrontados com o plano de produção para que a equipa de planeamento perceba se as suas decisões estão a contribuir para atingir as metas a longo prazo.

2.3.2.2 Master Production Schedule

Este módulo auxilia as decisões referentes ao planeamento de quantidades de itens de procura independente a serem produzidos e aos níveis de stock. Por norma, este planeamento é preliminarmente verificado em termos da capacidade de produção. O mecanismo usado é chamado de "rough-cut capacity planning", que avalia se o plano de materiais é proposto é viável.

2.3.2.3 Material Requirements Planning

Tendo em vista os resultados do plano anterior, o MRP calcula, "explodindo" as necessidades de produtos em necessidades de compras e de produção de itens de forma a cumprir os planos e a minimizar a formação de stocks. O sistema faz isso programando ordens de compra e produção para o momento mais tarde possível, de maneira a que não existam atrasos nos prazos de entrega.

2.3.2.4 Capacity Requirements Planning

Neste módulo, partindo do resultado da "explosão" dos itens componentes e a partir dos dados relevantes sobre a capacidade de produção da empresa, o CRP calcula as necessidades de capacidade produtiva para cumprir com o plano de materiais. Com todos os fatores avaliados o CRP pode identificar situações que invalidem o plano de materiais, assim como ocorrências de excesso de recursos inativos, sinalizando para que se proceda aos ajustes do plano de materiais.

2.3.2.5 Shop Floor Control

Existindo um plano de materiais viável ao nível do CRP, o módulo SFC tem o objetivo de garantir o seu cumprimento. O SFC vai carregar todas as ordens de um certo período de tempo nos softwares segundo prioridades pré-definidas e segundo uma lógica de programação finita baseada em regras de sequenciação. A partir de dados ao nível da fábrica vai procurar tomar medidas corretivas locais, sinalizando situações onde existam inviabilidades para o cumprimento do plano original.

2.4 As Filosofias MRP II

É sempre essencial entender mais do que os procedimentos, a filosofia por trás dos sistemas de MRP II. Pode-se dizer, que a sua tomada de decisão é bastante centralizada, visto ser baseado num software. A ideia é que toda a mão-de-obra cumpra os programas estabelecidos pelo sistema de forma fiel, em termos de tarefas e prazos. Isto pode trazer um efeito de desresponsabilização por parte dos trabalhadores e influenciar na qualidade dos trabalhos e na capacidade de resolução de problemas no local. Um sistema centralizado permite muito poucos ajustes efetuados no local.

Como abordamos anteriormente o MRP II tem uma abordagem de planeamento "para trás" ("backward schedulling"), programando as atividades da frente para trás, no tempo, de forma a realizá-las sempre na data mais tarde possível. Daqui podem advir complicações, pois um sistema que programa assim as suas atividades fica mais frágil aos atrasos e aos problemas de qualidade.

Os tempos de aprovisionamento ("lead-times") dos itens são dados de entrada do MRP II, posto isto estes dados devem ser avaliados à priori da programação, avaliando os tempos de espera que por sua vez são utilizados para fazer a sua própria programação. Conforme a situação da fábrica, estes tempos podem sofrer desvios e fazer com que os dados utilizados possam ser diferentes da realidade.

O sistema MRP II privilegia certos critérios de desempenho, em detrimento de outros, tais como a minimização de stocks e o cumprimento de prazos. Todas as ordens são planeadas pelo sistema, sem considerar se essa ordem é benéfica, podendo a levar a constrangimentos em obra. Estas situações podem comprometer a eficácia do MRP II.

2.5 MRP VERSUS LEAN

Os princípios básicos destas alternativas são mais percetíveis quando exploramos as diferenças entre ambos. É possível comparar as duas abordagens na Figura 2.3. No lado do MRP, pode ser observado que a previsão da procura é a base do *Master Production Schedule*. O MPS cria uma lista do que vai ser construído, o MRP "explode" essa lista obtendo uma lista de materiais, criando as ordens de compra (data e quantidade) sincronizadas. Stocks de segurança são usados em produtos finalizados para diminuir a variabilidade.

A abordagem Lean estabelece Kanban positions que são posições de inventário independentes normalmente colocadas na posição definida de cada material. Os kanbans são estabelecidos de acordo com o takt time. Estes tempos podem ser definidos tendo em conta previsões, ou consumos passados. Os kanbans estão interligados entre si, fazendo com que seja mais fácil saber quando é necessário produzir.

MRP é visto como uma abordagem inapropriada, que não gera valor e completamente o oposto do que o Lean tenta atingir. Porém visto por outra perspetiva, sem a habilidade de ver e coordenar ambientes complexos é difícil de observar erros e levar a existirem faltas ou excessos de inventário. O Lean também é visto como uma simplificação grosseira para um cenário de planeamento em ambientes bastantes voláteis. Na Figura 2.3 é percetível a diferença entre estes dois métodos, o MRP baseia-se numa previsão inicial de quantidades necessárias e caso exista alguma alteração durante o decorrer da obra, as alterações podem causar constrangimentos devido às dependências do processo. O Lean é um processa totalmente independente e focado em processos repetitivos que se focam nos tempos e na atual procura de cada material ou tarefa. Na indústria da construção torna-se difícil de aplicar devido à constante alteração de processos.

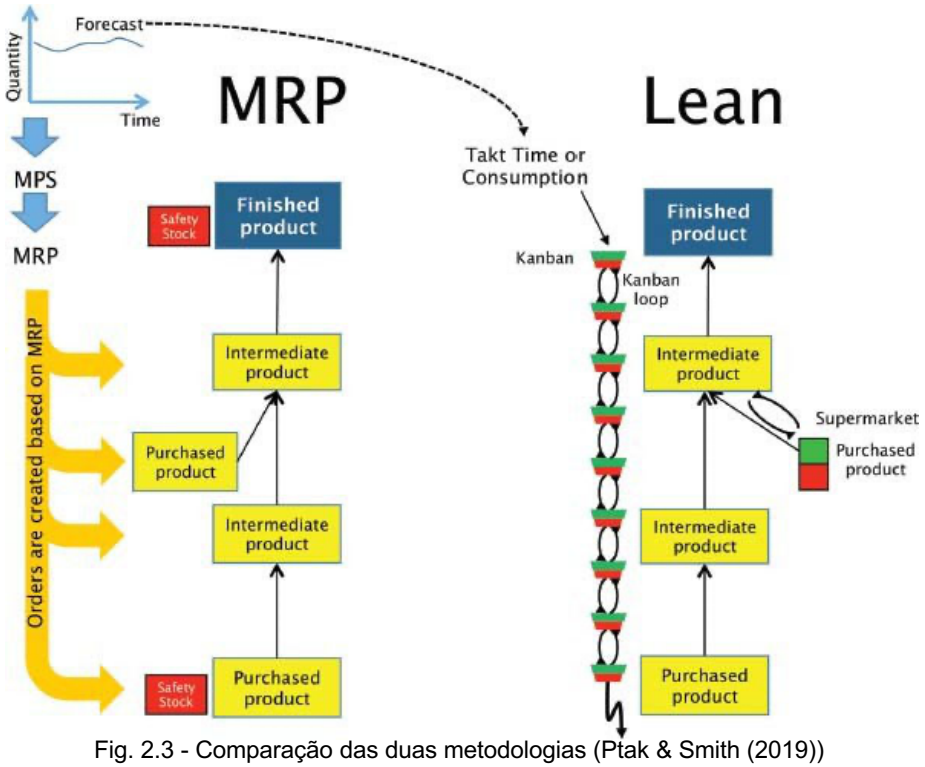


Fig. 2.3 - Comparação das duas metodologias (Ptak & Smith (2019))

Estas duas abordagens têm um objetivo em comum, que é o de obter um bom fluxo, porém estão em constante conflito. Como foi visto anteriormente o MRP segue uma metodologia "just-in-time" que aponta para a existência de um inventário quase nulo. Esta filosofia enquadra perfeitamente com a abordagem *Lean,* contudo existem dois fatores críticos que as tornam opostas.

O objetivo comum entre estas abordagens são de proteger e promover um bom fluxo, todavia para atingir isso as abordagens divergem. Na perspetiva do MRP, para obter esse bom fluxo existe a necessidade de sincronizar ambientes dinâmicos e complexos. Este método foi idealizado para que todas as dependências fossem obedecidas, de forma a que todos os intervenientes no processo percebam que uma pequena mudança faz com que haja uma mudança em todo o processo.

Na perspetiva do *Lean*, para promover e proteger um bom fluxo é necessário que existam sinais claros para cada recurso operar, quando os sinais começam a entrar em choque gera-se um conflito e as decisões corretas ficam difíceis de determinar. Demasiados dados, ou mudanças constantes nos planos criam conflitos, dessa foram Lean torna tudo independente.

Tornar tudo dependente ou independente, são soluções extremas e que por sua vez se complementam, tornando tudo independente perdemos a capacidade de sincronizar atividades e tornando tudo dependente tornamos o sistema complexo e confuso com as trocas existentes ao longo do mesmo.

Outra área de conflito entre estas duas metodologias prende-se no facto do MRP, como mencionado anteriormente, através das previsões de procura executar um plano sincronizando com todas as tarefas e eventualmente a procura antecipada de recursos. Já o Lean segue um plano de acordo com a atual procura, pois a incapacidade de obter boas previsões tem influência no ritmo.

Gera-se outro conflito entre ambas as metodologias, quando o MRP prevê o consumo antecipado dos recursos torna-se mais suscetível a erros relativos às previsões, pois quanto maior o horizonte da

previsão maior o seu erro. Já no *Lean* quando são geradas ordens de compra no momento mais próximo da execução existe um atraso aquando do aparecimento de mudanças significativas, daí dizermos que existe uma sincronização de processos extremamente lenta e rudimentar.

Poderá existir uma forma de definir uma solução que agregue os pontos fortes e mais relevantes de cada um destes métodos e com o incremento de inovação tornar-se no futuro, iremos abordar isso no próximo capítulo.

3

DEMAND DRIVEN MATERIAL REQUIREMENT PLANNING

3.1 O PRINCÍPIO BASE DO DDMRP

Demand Driven Material Requirements Planning é um método de planeamento e execução da aquisição e gestão de compras de materiais para indústrias que envolvam uma variedade de processos e materiais e que tem por base proteger e promover o fluxo de informação relevante de materiais através da aplicação e gestão de pontos de desacoplamento onde são criados buffers. DDMRP tem por base alguns métodos convencionais como se mostra na Figura 3.1. Combina aspetos relevantes do MRP, do DRP como o "pull" e o objetivo da visibilidade que advém do *Lean Construction* e da *Teoria das Restrições* e o enfâse na redução da variabilidade na base do *Six Sigma*. Estes métodos não se agregam naturalmente, como vimos no capítulo anterior, MRP e Lean têm conflitos entre si. Tal como existem conflitos entre o MRP e a Teoria das Restrições. Toda esta fusão é possível devido à inovação que torna este método único e inovador.

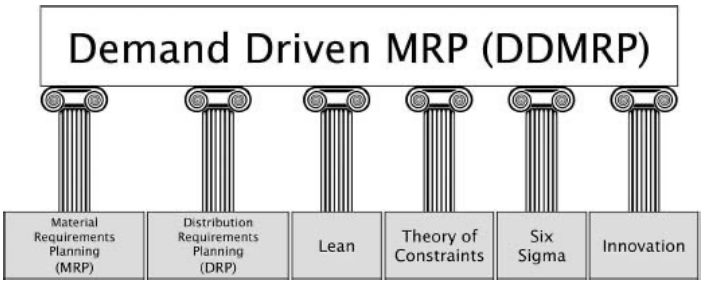


Fig. 3.1 - Os 6 pilares do DDMRP (Ptak & Smith (2019))

O *Material Requirement Planning* é um método de cálculo da necessidade de materiais e permitir o cumprimento de prazos sem recorrer a níveis elevados de stock. O *Distribution Requirements Planning* é uma extensão do MRP, e tem o objetivo de projetar a quantidade e o momento da encomenda de unidades que serão mantidas em armazém como um stock de segurança. O *Lean* tem como grande objetivo a eliminação gradual do desperdício através da implementação de procedimentos simples que possibilitem a geração de valor. A *Teoria das Restrições* é uma teoria de gestão que tem por base o aumento da visibilidade de todas as ações de forma a criar boas decisões e melhorias contínuas no

processo. O *Six Sigma* é um conjunto de práticas para melhorar os diversos processos eliminando não conformidades e com o objetivo de obter resultados com qualidade.

Este método está assente em cinco componentes sequenciais, ilustrados na Figura 3.2, todos se relacionam com o objetivo inicial que é posicionar, proteger e puxar. Os três primeiros componentes definem a configuração inicial do DDMRP. Primeiramente, as definições de pontos estratégicos de inventário irão determinar onde colocar os pontos de desacoplamento. As proteções desses pontos de desacoplamento irão ser oferecidas pelos buffers e os seus níveis. Os ajustes dinâmicos são definidos como o nível de proteção que irão obter, com os seus altos e baixos provenientes das mudanças de parâmetros, mudanças de mercado ou atividades futuras que ainda não tinham sido consideradas. A quarta e quinta componentes deste método prendem-se com os aspetos de planeamento e execução.

Demand Driven Material Requirements Planning				
Pontos Estratégicos de Inventário	Buffers Estratégicos	Ajustes Dinâmicos	Planeamento	Execução e Gestão
①	②	③	④	⑤

Fig. 3.2 - Os cinco componentes do DDMRP *(Adaptado de* Ptak & Smith (2019))

3.2 PONTOS ESTRATÉGICOS DE INVENTÁRIO – 1º COMPONENTE DO DDMRP

Correndo o risco de simplificar demasiado as tarefas de compradores e planeadores, deve-se entender que a questão fulcral neste ponto é quanto e quando comprar qualquer tipo de material. O objetivo diário é simplesmente cometer menos erros, e diminuir a falta de materiais no tempo e na quantidade necessária. A definição destes pontos estratégicos é a chave para proteger e promover o fluxo. Os pontos de desacoplamento são uma definição essencial deste método, estes pontos pretendem diminuir a dependência entre as várias partes do processo, e mitigar os impactos que a variabilidade da oferta e da procura. O desacoplamento permite isolar situações que ocorram em certas zonas do processo, evitando que esta tenha impacto noutras zonas desse mesmo processo. Estes pontos desconectam as tarefas anteriores das tarefas futuras, decidir quais pontos é que devem ser desacoplados é crucial para o sucesso do método. Estes pontos de desacoplamento na construção definem-se como um ponto onde determinada tarefa é desagregada do processo geral, criando independência e introduzindo mais segurança ao processo. Dentro destes pontos de desacoplamento são colocados buffers, que são pequenas quantidades de inventário com o objetivo de absorver a variabilidade e garantir segurança ao processo. O desacoplamento permite que exista um benefício bidirecional, mitigar os efeitos da perda de informação relevante e a variabilidade contínua da oferta que são inerentes ao efeito chicote.

É usual as empresas terem pouco conhecimento, compreensão e falta de capacidade de perceber onde colocar estes pontos estratégicos. A colocação nos pontos estratégicos adequados tem impacto tanto no

serviço prestado, no capital, no cash flow e por último no retorno do investimento. É essencial considerar seis fatores chaves:

- **Tempo de Tolerância do Cliente**

Este é o tempo que normalmente o cliente está disposto a esperar antes de recorrer a alguma alternativa.

- **Potencial Tempo de espera do Mercado**

Este é o tempo que pode fazer com que existam aumentos de preços, este tempo de espera por vezes pode influenciar no aumento de encomendas e no preço pago por elas para diminuir o tempo de entrega das mesmas.

- **Horizonte de Visibilidade do Pedido de Vendas**

Este horizonte de visibilidade é caraterizado como uma linha temporal onde é possível ficar ciente das encomendas efetuadas e da procura dependente atual. O aumento da visibilidade das ordens de venda, melhora a capacidade do ambiente para ser possível visualizar picos e tolerâncias que potencializam informações relevantes.

- **Taxa de variabilidade de procura**

Esta taxa refere-se ao potencial para balanços e picos na procura que podem sobrecarregar os recursos. Esta variabilidade pode ser calculada por várias equações. Se os dados requeridos para os cálculos matemáticos não forem suficientes podem ser usados os seguintes critérios:

  - Alta Variabilidade de Procura, produtos que estão sujeitos a picos frequentes dentro do tempo de tolerância do cliente;
  - Média variabilidade de Procura, produtos que estão sujeitos a picos ocasionais dentro do tempo de tolerância do cliente;
  - Baixa Variabilidade de Procura, produtos que estão sujeitos a pouca ou nenhuma atividade de picos. A procura é estável dentro do tempo de tolerância do cliente.

- **Taxa de variabilidade de oferta**

Esta taxa refere-se ao potencial de gravidade das interrupções em fontes de abastecimento ou certos fornecedores. Isto pode ser calculado através da variação das datas programadas com as datas reais de receção. Se não for possível através de cálculos, podem ser usadas os seguintes critérios:

  - Alta variabilidade de oferta, produtos que frequentemente sofrem perturbações no abastecimento.
  - Média Variabilidade de Oferta, produtos que ocasionalmente sofrem perturbações no abastecimento.
  - Baixa Variabilidade de Oferta, produtos fiáveis em termos de abastecimento.

- **Flexibilidade e Alavancagem de stocks**

Existem locais na lista de materiais que fornecem a uma empresa um maior leque de opções, bem como uma melhor compressão do tempo de espera para atender às necessidades. Estes locais são representados por materiais chave, subprodutos e componentes necessários para atingir o produto final.

Aplicando estes seis conceitos a um exemplo real, irá ser aplicado em dois produtos: Parede Dupla e Parede ETICS como é possível visualizar na figura 3.3. Os círculos representam o tempo de espera de compra, que estão descritos como o tempo total necessário para obter um produto, que contempla o

tempo necessário para efetuar o pedido da encomenda, o tempo médio do fabricante, o tempo de transporte, a sua receção e inspeção.

É importante ter em conta outros dois tempos, o tempo de espera acumulado e o tempo de espera da manufatura.

O tempo de espera acumulado refere-se como o intervalo de tempo mais longo para completar uma atividade. É dado como o somatório dos tempos de cada componente da lista de materiais para determinado produto.

O tempo de espera da manufatura é dado com o tempo total necessário para efetuar um certo item, estão incluídos neste tempo, os tempos de preparação, de espera, de movimento e de inspeção.

Considerando o exemplo ilustrado na Figura 3.3, e tendo em conta as definições anteriormente descritas podemos dizer que o tempo de espera da manufatura para a parede dupla é de três dias, enquanto o tempo de espera acumulado é de 11 dias (7 dias de tempo de espera de compra + 1 dia de tempo de espera de manufatura + 3 dias de tempo de espera de manufatura para as paredes). No caso da Parede ETICS o tempo de espera da manufatura da própria parede é de dois dias, e o tempo de espera acumulado é de 10 dias (7 dias de tempo de espera de compra + 1 dia de tempo de espera de manufatura + 2 dias de tempo de espera de manufatura). É possível entender que ambas as paredes necessitam de argamassa para efetuar o assentamento dos tijolos. Após 7 dias de espera da compra dos elementos constituintes temos o material necessário para efetuar a argamassa, que demora 1 dia a ser efetuada e a ser aplicada para o assentamento da alvenaria. A fase de agregação dos vários componentes para efetuar a argamassa nestes dois exemplos, é chamada de ponto de convergência, onde vários materiais são necessários para chegar a um produto final e aqui é percetível que qualquer atraso pode atrasar a manufatura de algum elemento construtivo e fazer com que tempo e dinheiro sejam perdidos. Este ponto de convergência poderá ser candidato a buffer, pela necessidade de proteger ao máximo esta operação. Já a argamassa é considerada um ponto de divergência pois é utilizada nos dois processos, e quando feita é necessário que seja aplicada nesse momento e não usada noutra tarefa.

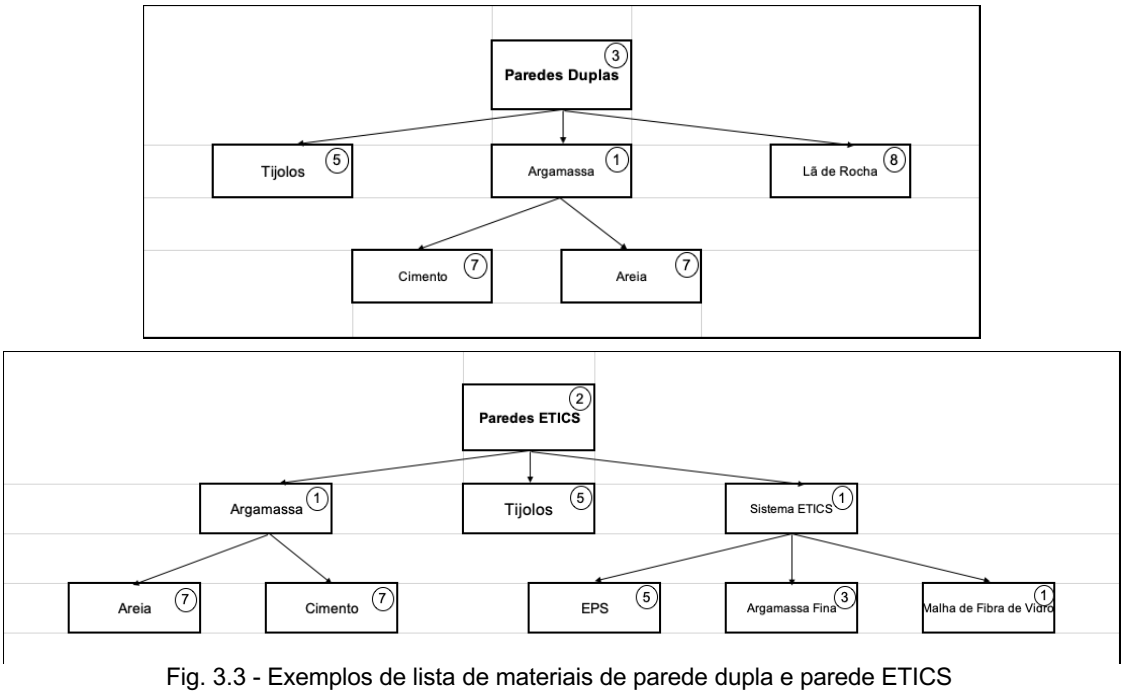


Fig. 3.3 - Exemplos de lista de materiais de parede dupla e parede ETICS

3.3 BUFFERS ESTRATÉGICOS – 2º COMPONENTE DO DDMRP

3.3.1 INTRODUÇÃO

O segundo passo do método DDMRP, é colocar buffers nesses pontos de desacoplamento. Os buffers caraterizam-se como níveis de stock, que é totalmente dimensionado e mantido. É importante entender a importância dada ao inventário. Durante décadas o inventário era considerado como um ativo, apesar de não existir procura, várias empresas continuavam a criar stocks e endividavam-se com esta criação, porém de acordo com a visão geral eram consideradas lucrativas. Com a proliferação do uso de metodologias como o *Lean* e a *Teoria dos Constrangimentos* e com a crise financeira de 2010, poucas empresas poderiam continuar a despender dinheiro em inventário desta forma.

Os buffers servem como uma proteção para estes pontos de desacoplamento, e os seus três principais objetivos são:

- **Absorção do impacto**, amortecer a variabilidade tanto da procura como da oferta de forma a reduzir o efeito chicote;
- **Compressão do tempo de espera,** ao desacoplar os prazos de entrega do fornecedor do lado do consumo, os prazos de entrega são comprimidos;
- **Geração de pedidos de compra,** todas as informações relevantes e disponíveis são combinadas no buffer para gerar um fluxo de pedidos de compras ajustados.

DDMRP tem como base três tipos de métodos para aplicar nos pontos de desacoplamento. Os métodos são classificados como "*Replenished Parts*", "*Replenished override Parts*" e "*min-max Parts*".

1. *Replenished Parts*, este método usa pontos de desacoplamento estratégicos e dinâmicos. A base do método é a utilização de um sistema de três zonas dinâmicas que correspondem a três cores diferentes. Os níveis dos buffers são calculados tendo em conta as caraterísticas de cada perfil, e os atributos individuais de cada material.
2. *Replenished override Parts*, este método usa pontos de desacoplamento estratégicos e estáticos. É baseado num sistema de três zonas estáticas, a que correspondem três cores. É o oposto do método abordado anteriormente. Os níveis são atribuídos consoante as limitações que possam existir dentro do âmbito do planeamento. A dinâmica de cores é essencial neste processo, para poder existir uma maior priorização no planeamento.
3. *Min-max Parts*, este método é mais adequado para elementos não estratégicos, e mais facilmente aprovisionados. Este método difere dos restantes, pois é composto por duas zonas, com duas cores e que podem ser dinâmicos, tal como o primeiro método.

O método que irá ser abordado será o "*Replenished Parts*". O método é caraterizado pelas três zonas dinâmicas que correspondem cada uma delas a uma cor, como é ilustrado na Figura 3.4. A zona verde é parte essencial do processo de criação dos pedidos de compra. Esta zona determina a frequência dos pedidos e o tamanho típico dos mesmos. A zona verde é determinada pelo maior de três fatores. A zona amarela é essencial na cobertura do inventário, esta é calculada através da multiplicação da percentagem de consumo médio com o tempo de espera desacoplado. A zona vermelha funciona como uma margem de segurança, quanto maior a variabilidade associada ao material, maior será a zona.

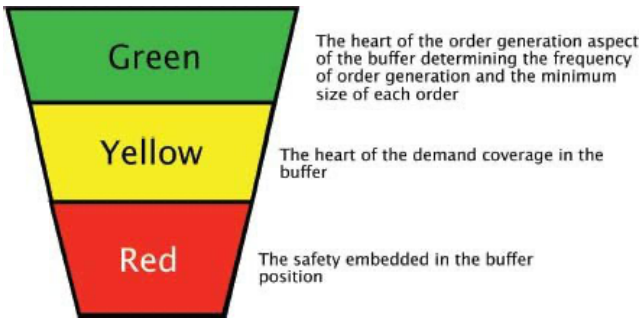


Fig. 3.4 – Zona dos Buffers (Ptak & Smith (2019))

3.3.2 PERFIS DE BUFFERS

Estes perfis são caraterizados por serem um grupo de itens que possuem caraterísticas similares isto possibilita uma gestão mais prática e efetiva de todos eles. É evidente que vários materiais e itens se comportam de forma diferente, porém também existem materiais que podem ter o mesmo tratamento. Estes perfis funcionam como um grupo, onde faz sentido que sejam aplicadas regras e procedimentos para um determinado perfil. A criação destes perfis permite-nos agregar recursos com comportamentos semelhantes de forma a diminuir o tempo que seria necessário caso cada recurso fosse analisado individualmente. É essencial entender que estes grupos não são agrupados tendo em conta as caraterísticas físicas ou de mercado, mas sim os três fatores que serão abordados de seguida.

Fator 1 – Tipo de Item

Este fator é o determinante para efetuar a gestão dos diferentes grupos de recursos. Estes grupos são determinados tendo em conta se os materiais são manufaturados, comprados ou distribuídos. A razão da divisão ser efetuada desta forma tem que ver com as quatro seguintes razões:

- Responsabilidade, geralmente as empresas designam diferentes pessoas para gerirem estes grupos.
- Intuição, geralmente as pessoas que controlam cada grupo de materiais têm um maior conhecimento num grupo específico.
- Controlo Organizacional, por vezes a empresas têm um maior controlo sobre certo grupo, normalmente os que possuem nas suas instalações, o controlo dos restantes grupos deve ser operacionalizado para decorrer como esperado.
- Diferenciação entre categorias, normalmente os tempos de espera de cada tipo de grupo costumam ser idênticos daí ser mais adequado agrupar desta forma.

Fator 2- Tempo de Espera

O tempo de espera é também um fator importante e está segmentado em três categorias, curto, médio ou longo. Estas categorias dependem do ambiente da empresa e da sua dimensão. Geralmente, materiais comprados têm tempos de espera bastante diferentes. Existem diversas circunstâncias que ditam os parâmetros que definem a categoria consoante o ambiente em que se está inserido. É essencial a definição de um nível de conforto por parte dos compradores.

Como abordado anteriormente existem três tipos de tempos de espera que permitem determinar a sua categoria. Tempo de espera de manufatura e o tempo de espera acumulado são problemáticos quando

usados em pontos de desacoplamento, pois por vezes podem existir estimativas por excesso ou por defeito.

Existem recomendações que nos possibilitam criar limites para definir o fator dos tempos de espera, para defini-los é tido em conta a multiplicação entre o consumo diário médio e o tempo de espera desacoplado. Este fator irá influenciar os cálculos da zona verde e vermelha. Na Figura 3.5 observa-se os fatores para cada zona.

A zona verde determina o tamanho médio e a frequência das encomendas, tendo um fator de tempo de espera reduzido determinando a necessidade de encomendas menores e mais frequentes, e ao contrário de outras metodologias como o MRP, pois em casos semelhantes iriam ser realizadas encomendas de grande volume para não ter "complicações" durante grande parte do desenvolvimento da obra, sabendo que esta não é a melhor metodologia, o DDMRP tenta criar um fluxo contínuo de procura

ligado à necessidade real, e assim criar também um fluxo constante de fornecimento. Com encomendas pouco

frequentes, qualquer acontecimento inesperado pode criar constrangimentos, com encomendas mais pequenas e frequentes, o constrangimento é menor.

Tempo de Espera Longo	20 a 40 % do Consumo Diário Médio (CDM) x Tempo de Espera Desacoplado (TED)
Tempo de Espera Médio	41 a 60% CDM x TED
Tempo de Espera Baixo	61 a 100 % CDM x TED

Fig. 3.5 - Fatores do tempo de espera *(Adaptada de:* Ptak & Smith (2019))

Fator 3 – Variabilidade

Variabilidade é o último fator a ter em conta, mas não o menos importante. A variabilidade segmenta-se em três tipos, alta, média e baixa e é necessário avaliá-la em termos da procura e da oferta.

A variabilidade da procura é a probabilidade da existência de picos de procura. É possível segmentar em três categorias:

- Variabilidade alta na procura
- Variabilidade média na procura
- Variabilidade baixa na procura

A variabilidade na oferta carateriza-se como o potencial de existirem interrupções no fornecimento de materiais, esta variabilidade pode ser calculada tendo por base datas de previsão de entrega e a data atual de entrega. Normalmente as empresas caraterizam os fornecedores em três categorias tendo em conta o seu conhecimento dos mesmos:

- Variabilidade Alta na oferta
- Variabilidade Média na oferta
- Variabilidade Baixa na oferta

É necessário categorizar cada item consoante a sua variabilidade para posteriormente o fator de variabilidade ser utilizado no cálculo das zonas, esta categorização será explicada posteriormente. Na Figura 3.6 está demonstrado como é feita a categorização deste fator.

Variabilidade Alta	61 a 100 % da Base de Segurança
Variabilidade Média	41 a 60 % da Base de Segurança
Variabilidade Baixa	0 a 40% da Base de Segurança

Fig. 3.6 - Fatores de variabilidade *(*Adaptada de: Ptak & Smith (2019))

Através destes três fatores é possível criar trinta e seis perfis básicos de buffers. É criado um nome que é composto pela combinação destes três atributos. Estas designações serão apresentadas em inglês para ser percetível posteriormente aquando da aplicação do método no software. A primeira letra significa o tipo de item, "P" para comprado, "M" para manufaturado e "D" para distribuído e "I" para intermédio. A letra seguinte corresponde á categoria do tempo de espera, "S" para curto, "M" para médio e "L" para longo. E por último temos a letra que corresponde à variabilidade, "L" para baixa, "M" para média e "H" para alta. As diferentes nomenclaturas para os diferentes perfis são ilustradas na Figura 3.7.

		Tipo de Item					
		Comprado	Manufaturado	Distribuido	Intermediado		
Fatores do Tempo de Espera	Baixo	PSL	MSL	DSL	ISL	Baixa	Fatores da Variabilidade
		PSM	MSM	DSM	ISM	Média	
		PSH	MSH	DSH	ISH	Alta	
	Médio	PML	MML	DML	IML	Baixa	
		PMM	MMM	DMM	IMM	Média	
		PMH	MMH	DMH	IMH	Alta	
	Longo	PLL	MLL	DLL	ILL	Baixa	
		PLM	MLM	DMM	ILM	Média	
		PLH	MLH	DLH	ILH	Alta	

Fig. 3.7 - Perfis dos buffers (Adaptada de: Ptak & Smith (2019))

É essencial ter em conta que para além destes três fatores, existem atributos específicos que são maioritariamente propriedades ou coeficientes que são específicos para cada item. No método DDMRP os fatores do tipo de item, de tempo de espera e da variabilidade são essenciais para definir a dimensão dos buffers para itens comprados e manufaturados, para produtos distribuídos e intermédios é necessário ter também em conta o consumo diário médio, o tempo de espera, as quantidades mínimas de encomenda e a localização que vão ser tidos em conta no cálculo dos buffers.

3.3.3 Atributos Específicos de Cada item

3.3.3.1 Consumo diário médio (CDM)

Para o cálculo do consumo diário médio é necessário ter em conta quatro considerações. Primeiramente, é necessário definir qual o horizonte para a aplicação, pois se o horizonte for mais curto provavelmente a resposta será mais eficaz relativamente a um horizonte mais longo. O objetivo do buffer é comprar tempo, tendo sempre um stock de material que possa vir a ser necessário e evitar as grandes flutuações no consumo dos itens que por vezes podem ser problemáticas. Outro fator essencial é a frequência das atualizações da informação, quanto mais tempo demorar a ser introduzida a informação maior a variabilidade introduzida no sistema. Ao contrário do MRP, onde a introdução de dados frequente introduzia nervosismo no sistema, no DDMRP é exatamente o contrário, a introdução frequente cria um ambiente mais estável. Outra consideração a ter em conta é a previsão do consumo diário médio, que pode ser prevista através de dados de compras anteriores ou através de uma previsão do consumo esperado ou através de uma junção de ambos. Utilizando valores do CDM passados podem surgir problemas aquando do aparecimento de um aumento de procura que não tinha sido considerado. Na

utilização de valores tendo em conta previsões de compras futuras, é necessário ter presente que as previsões são feitas tendo em conta que as vendas dos itens que irão acontecer. É necessário que a equipa de planeamento tenha confiança nos planos que realizou, pois é aqui que a incerteza reside. A última opção é a fusão entre estes dois, agregando as vendas passadas e as previsões para o futuro.

A informação a cada dia que passa torna-se cada vez mais essencial, porém existem empresas que ainda não apresentam sistemas implementados que permitam obter informação essencial tanto para o presente como para o futuro. Os planeadores necessitam de informação por parte das empresas para conseguir obter estimativas do CDM para cada item. Após a estimativa inicial e ultrapassado o tempo de horizonte desse consumo é necessário obter o valor correto do CDM real para posteriormente ser feita uma atualização e assim todos esses dados ficarem registados e permitirem uma construção de uma base de dados fundamentada e credível.

3.3.3.2 Tempo de Espera

Outro aspeto a ter em conta no cálculo dos buffers é o tempo de espera, os tempos de espera para cada tipo de item diferem, para itens manufaturados é utilizado o tempo de espera desacoplado. Para itens comprados é utilizado o tempo de espera de compra, já para os produtos distribuídos o tempo a considerar é o de transporte desde o armazém. Em alguns casos é necessário adicionar algum tempo para a sua receção, e também se aplicável, algum tempo para a inspeção dos itens.

3.3.3.3 Quantidades Mínimas de Encomenda

As políticas de quantidades mínimas podem trazer problemas ao nível do planeamento e fornecimento. Por vezes, a exigência de quantidades mínimas traz complicações ao nível do cálculo especialmente quando a quantidade é bastante superior ao rácio de uso. É necessário ter em conta estes itens significantes pois iram afetar diretamente o cálculo da zona verde.

3.3.3.4 Localização

Tendo em conta que possam existir vários pontos de armazenamento, cada um deles tem um consumo diário médio e um tempo de espera de transporte. Estes valores são distintos consoante cada um desses pontos. Como se pode ver na Figura 3.8 um exemplo de vários armazéns onde podem existir tempos de espera iguais, mas que nada têm que ver entre si.

Tijolo		
Localização	**CDM**	**Tempo de Espera**
Armazém 1	150	4 Dias
Armazém 2	250	2 Dias
Armazém 3	300	2 Dias
Estaleiro	500	1 Dias

Fig. 3.8 - Localização dos itens (Adaptada de: Ptak & Smith (2019))

3.3.4 CÁLCULO DOS PERFIS E ZONAS DOS BUFFERS

3.3.4.1 INTRODUÇÃO

Como abordado anteriormente este método é composto por três zonas que correspondem a três cores distintas. Cada zona tem um objetivo específico e irão variar consoante o seu tamanho e dimensão, dependentes do seu perfil e dos aspetos individuais de cada item. Entender que os buffers não são divididos em três partes iguais, é essencial pois perceber o objetivo e os cálculos de cada umas das zonas é fulcral para interiorizar o funcionamento do método e poder compará-lo com outras técnicas de gestão de materiais.

Para ser mais percetível a sua aplicação na prática iremos recorrer a um exemplo. É possível observar na Figura 3.9, diversos dados essenciais que posteriormente serão usados no cálculo das zonas. Este item é um PSM, um item comprado com um fator de tempo de espera baixo e alta variabilidade. Na Figura 3.10 é possível entender o processo de cálculo das zonas dos buffers que têm em conta também os fatores da variabilidade e do tempo de espera. Apresenta-se na Figura 3.11 os cálculos das três zonas do item.

Tijolo	
Consumo Diário Médio	100 Uni
Perfil do Buffer	P, S (0,7), M (0,5)
Quantidade Mínima de Encomenda	500 Uni
Ciclo de Encomenda Imposto ou Desejado	5 Dias
Tempo de Espera Desacoplado	5 Dias

Fig. 3.9 - Caraterísticas do Tijolo

Caraterísticas dos itens	**Atribuição do perfil do buffer**			
Consumo Diário Médio (CDM)	X	Fator do tempo de espera	=	**Buffer e Níveis das Zonas**
Tempo de Espera				
Quantidade Mínima de Encomenda		Fator de variabilidadade		
Localização (somente para itens distríbuidos)				

Fig. 3.10 - Método de cálculo do buffer e das várias zonas (Adaptada de: Ptak & Smith (2019))

Tijolo	
Zona Verde	**500**
	Ciclo de Encomenda : (100 x 5) = **500**
	Fator de Tempo de Espera : (100 x 5) x 0,7 = **350**
	Quantidade Mínima de Encomenda : **500**
Zona Amarela	**500**
	(5 x 100) = **500**
Zona Vermelha	**525**
	Base: (100x 5) x 0,7 = **350**
	Segurança: (100 x 5) x 0,7 x 0,5 = **175**

Fig. 3.11 - Cálculo das zonas do tijolo

3.3.5 A ZONA VERDE

Como discutido anteriormente a zona verde é o coração da geração de encomendas e que determina a frequência e o tamanho da encomenda. Esta zona é determinada através da escolha do maior fator dentro de três.

Opção 1 – Ciclo de Encomenda Imposto ou Desejado

Este ciclo de encomenda é o número de dias expectáveis entre encomendas, pode ser obtido através do planeamento de obra ou por uma média de dias desejada. A equação para o cálculo desta opção é feita através da multiplicação do CDM com o número de dias do ciclo de encomendas desejado.

Opção 2 – Usando o Fator do tempo de Espera

Este fator é expresso através da percentagem de uso de um item dentro do seu tempo de execução. Este fator integrará uma categoria de tempos de espera que se atribui a um certo perfil. O seu cálculo é feito através da multiplicação do tempo de espera desacoplado com o CDM e com o fator do tempo de espera.

Opção 3- Quantidade Mínima de Encomenda

Se a zona verde é baseada na geração de encomendas e na sua frequência, existe sempre uma quantidade mínima, por sua vez pode ser relevante para a determinação desta zona. A zona verde nunca deve ser inferior a quantidade mínima. Imaginando que a quantidade mínima era o maior fator, este iria ter um grande impacto e ser determinante.

Após o cálculo destas três opções, é preciso compará-las, definir o maior fator para assim obter o valor final do cálculo da zona verde. A Figura 3.12 demonstra as três equações para o cálculo da zona verde.

Verde	- Ciclo de Encomenda Imposto ou Desejado x Consumo Diário Médio ou ... - Tempo de Espera Desacoplado x Consumo Diário Médio x Fator de Tempo de Espera ou... - Quantidade Mínima de Encomenda	Max. das 3 Equações

Fig. 3.12 - Equações de cálculo da zona verde

3.3.6 A ZONA AMARELA

A zona amarela é essencial para assegurar uma cobertura de inventário no buffer. É o cálculo mais direto dentro desta metodologia, multiplicando o CDM e o tempo de espera desacoplado. Na Figura 3.13 observa-se a equação para o cálculo desta zona

Amarelo	- Tempo de Espera Desacoplado x Consumo Diário Médio	Valor da equação

Fig. 3.13 - Equação de cálculo da zona amarela

3.3.7 A ZONA VERMELHA

Esta zona é a que assegura uma maior segurança dentro do buffer, quanto maior a variabilidade existente em cada item maior será a zona vermelha. Para efetuar o cálculo é necessário efetuar as três etapas seguintes:

- Estabelecer a base vermelha, esta base é obtida através da multiplicação do fator do tempo de espera com o CDM e com o tempo de espera.
- Estabelecer a base de segurança vermelha, é calculado através de percentagem da base vermelha. Esta percentagem é determinada pelo fator de variabilidade.
- Cálculo da zona vermelha, este último passo é simplesmente o somatório das duas últimas bases que formam o valor final.

Na Figura 3.14 estão apresentadas as equações necessárias para o cálculo da zona vermelha.

Vermelho	- Tempo de Espera Desacoplado x Consumo Diário Médio x Fator de Tempo de Espera + - Tempo de Espera Desacoplado x Consumo Diário Médio x Fator de Tempo de Espera x Fator de Variabilidade	Somatório das 2 equações

Fig. 3.14 - Equações de cálculo da zona vermelha

3.4 AJUSTES DOS BUFFERS – 3º COMPONENTE DO DDMRP

Após serem calculados os níveis iniciais dos buffers, e tendo em conta o ambiente dinâmico estes buffers necessitam de ajustes e de se adaptarem as novas condições. Após serem entendidas as equações para o cálculo dos buffers, os fatores que possam ser alterados ao longo do tempo serão também entendidos.

Com o passar do tempo, certos fatores que foram usados para o cálculo dos perfis dos buffers vão se alterando. Estes tipos de ajustes devem ser ajustados automaticamente, e são chamados de ajustes de recálculo.

Os três fatores críticos para a definição do buffer são o CDM, tempo de espera e a quantidade mínima de encomenda. Os dois primeiros sofrem alterações e causam um maior impacto pois estão envolvidos no cálculo das três zonas. O fator mais oscilante é o CDM, que é constantemente alterado e atualizado.

Para além destes ajustes podem existir outros que são planeados baseados em alguma estratégia, ou de fatores da própria empresa. Estes ajustes são manipulações das equações dos buffers que podem afetá-los com a subida ou descida do seu nível e por vezes afetar também as zonas. Isto pode acontecer manipulando os seguintes pontos: Ajuste do fator de procura, ajuste do fator das zonas e do fator do tempo espera e que serão explicados a seguir.

3.4.1 AJUSTE DO FATOR DE PROCURA

O Ajuste do fator de procura baseia-se na manipulação do CDM num período de tempo específico. Este ajuste ocorre quando o CDM é ajustado tendo em conta planos específicos da empresa ou tendo por base o histórico ou para possibilitar um ajuste na procura num curto espaço de tempo.

O método DDMRP permite esta flexibilidade, mas não se pode pôr em causa a sua robustez, pois o uso de buffers permite absorver a variabilidade. Os fatores de variabilidade quanto maiores forem, maior robustez oferece embora com maior quantidade de inventário.

Contudo os altos e baixos da variabilidade podem pôr em causa a efetividade dos buffers para protegerem os pontos de desacoplamento. Os ajustes servem então para acautelar estas situações, quando a variabilidade afeta a capacidade do buffer, os fatores devem ser aumentados, quando a variabilidade causa largos períodos com excesso de inventário o fator deve ser diminuído.

Estes fatores podem ser usados quando é necessário um aumento ou diminuição do buffer se existe uma mudança rápida na procura do item.

3.4.2 AJUSTE DO FATOR DAS ZONAS

Outra forma de efetuar ajustes nos buffers é através de manipulações nas zonas. Estes ajustes podem ser efetuados não a um item individual, mas a grupo de itens que são afetados da mesma forma. Estes ajustes podem ser aplicados em qualquer umas das zonas.

Ajustes da Zona Verde

Como foi dito anteriormente, a zona verde determina a frequência e o tamanho das encomendas. Quando é necessário efetuar alguns ajustes, a zona pode ser manipulada. Quando o fornecedor encontra algumas restrições em termos de capacidade estes ajustes podem ser feitos com a diminuição do número de encomendas e o aumento do tamanho das mesmas. Este ajuste não é feito com o propósito de diminuir o custo unitário do item, serve sim para proteger o fluxo de informações e materiais quando possam existir constrangimentos.

Ajustes da Zona Amarela

A zona amarela cumpre um papel importante na cobertura do buffer, ela é calculada através da multiplicação do CDM com o tempo de espera desacoplado. Este cálculo assume um rácio de consumo num determinado espaço de tempo. Os ajustes efetuados nesta zona podem ser usados quando existem eventos promocionais de curto de prazo ou ruturas conhecidas por parte do fornecedor.

Ajustes da zona vermelha

A zona vermelha é a segurança embebida no buffer. Esta zona deve ser ajustada quando exista uma mudança conhecida, porém que não exige a necessidade de mudança de perfil de buffer. Geralmente, isto está relacionado com alguma mudança temporária ou transição tecnológica para um novo método ou material que pode pôr em causa algumas interrupções a curto prazo.

3.4.3 AJUSTE DO FATOR DO TEMPO DE ESPERA

O ajuste do fator do tempo de espera pode ser aplicado a um só item ou a um grupo de itens que são afetados da mesma forma. O uso deste ajuste aplica-se quando se preveja um aumento dos tempos de espera de um grupo de itens. Isto pode acontecer quando alguma rota de transporte esteja interrompida e cause transtornos na circulação, um fator de tempo de espera deve ser aplicado aos itens que estivessem planeados nessa rota de transporte. Se o tempo de espera fosse de 2 dias e com estes transtornos fossem necessários 3 dias deveria ser aplicado um fator de 1,5.

3.5 PLANEAMENTO – 4º COMPONENTE DO DDMRP

A quarta componente do DDMRP, reportando-se à Figura 3.2, é o planeamento das encomendas de todos os itens. Para além da diminuição do tempo de espera e da variabilidade, os buffers colocados nos pontos de desacoplamento são o centro de todo o processo. Estes buffers protegem e promovem o fluxo e determinam informações relevantes.

A proteção e promoção de um bom fluxo é a chave para o sucesso e o possível retorno financeiro. Em todas as metodologias, é essencial que os materiais certos estejam disponíveis nos tempos certo e para isso é necessário que exista informação importante. As metodologias mais convencionais têm por base informação muita das vezes pouco fidedigna, sendo esta informação utilizada para as previsões da procura e de seguida utilizada para a realização de encomendas, é inserido no processo cada vez mais

informação errada que leva a investir em material excedentário, a aumentos no tempo de espera, problemas na capacidade de armazenamento e posto isto leva muitas vezes a um esforço adicional para obter os materiais necessários para aquele momento.

A informação mais relevante para este processo é um pedido de venda de um determinado material, quando temos a certeza de que esse material vai ser necessário para qualquer obra. O uso desta informação mais credível leva a que os dados de entrada sejam mais fidedignos e que possam entrar numa equação de planeamento. Esta equação é chamada de equação de potenciais existências.

3.5.1 A Equação das Potenciais Existências

Esta equação permite-nos observar a necessidade de gerar uma encomenda para efetuar o reabastecimento dos buffers. Este aspeto é único no DDMRP e deve ser utilizado diariamente em todos os pontos de desacoplamento.

A equação (3.1) traduz-se em:

$$Material\ Armazenado + Material\ Encomendado - Material\ necessário\ no\ determinado\ espaço\ de\ tempo \quad (3.1)$$

O material armazenado é a quantidade de material armazenado fisicamente, e disponível para uso.

O material encomendado refere-se ao material que já foi encomendado, mas que ainda não foi recebido e não está disponível para uso no momento. O material necessário num determinado espaço de tempo é o somatório das necessidades de materiais em atraso, materiais para aquele prazo e os picos que possam existir. Os materiais em atraso são os materiais que já deveriam ter sido utilizados e por alguma razão ainda não o foram. São chamados de picos as quantidades de stock que excedam o limite necessário para um dia. Para estes picos é necessário que sejam delineados limites, por parte dos planeadores, para garantir a segurança e estabilidade dos buffers.

3.5.2 Geração de Encomendas baseado na equação das potenciais existências

Todos os buffers são controlados através desta equação e cada vez que a equação é calculada fornece-nos um valor que é chamada posição das potenciais existências. Esta posição é que vai ditar a necessidade de gerar encomendas para certo buffer. Existem três termos importantes para compreender a lógica desta equação que são o Topo do Verde, Topo do Amarelo e o Topo do Vermelho. Podemos entender na Figura 3.15 as suas posições. Quando a posição das potenciais existências for inferior ao Topo do Amarelo, então é recomendado gerar uma encomenda para a quantidade que corresponde à diferença entre a posição das potenciais existências e o Topo do Verde.

Tendo em conta o exemplo das paredes referido anteriormente, na Figura 3.15 mostra-se as quantidades dos tijolos no buffer.

Neste exemplo o somatório de todas as zonas é 1525 unidades, que corresponde ao Topo do Verde, o somatório da zona vermelha e amarela é o Topo do Amarelo com o valor de 1025 unidades e a quantidade da zona vermelha é 525 unidades denominada de Topo do Vermelho. Quando a posição das potenciais existências é inferior a 1025 unidades, significa a necessidade de efetuar uma encomenda com uma quantidade mínima da totalidade da zona verde.



Fig. 3.15 - Perfil do buffer e devidas nomenclaturas (Adaptada de: Ptak & Smith (2019))

Considerando os seguintes dados:

- Material em armazém = 650 unidades
- Material encomendado= 500 unidades
- Material necessário = 500 unidades

Com esta informação é possível concluir que a posição de potenciais existências neste dia é 650 unidades, isto significa que a posição se encontra abaixo do Topo do Amarelo. Sabendo que o Topo do Verde é de 1525 unidades é criada uma recomendação de encomenda de 875 unidades. Quando a encomenda é realizada a posição de potenciais existências passará a 1525 unidades, esta recomendação passou agora para um material encomendado perfazendo então esse valor.

3.5.3 Cálculo do Inventário em Armazém

Entender as diferentes componentes da equação das potenciais existências e o seu comportamento conjunto é crucial. Como se viu anteriormente, a zona verde define a frequência média quando a quantidade é dividida pelo consumo diário médio.

Tijolo	
Consumo Diário Médio	100 Uni
Perfil do Buffer	P, S (0,7), M (0,5)
Quantidade Mínima de Encomenda	500 Uni
Ciclo de Encomenda Imposto ou Desejado	5 Dias
Tempo de Espera Desacoplado	5 Dias

Tijolo	
Zona Verde	**500** Ciclo de Encomenda : (100 x 5) = **500** Fator de Tempo de Espera : (100 x 5) x 0,7 = **350** Quantidade Mínima de Encomenda : **500**
Zona Amarela	**500** (5 x 100) = **500**
	525



Fig. 3.16 - Exemplo de cálculo das zonas do buffer

Apresenta-se na Figura 3.16 temos o exemplo de cálculo de um item comprado como é o caso do tijolo, onde é possível perceber que a zona verde tem o valor de 500 unidades e o consumo diário médio de 100 unidades, logo a frequência média de encomendas é de 5 dias e a quantidade encomendada de 500. Cada encomenda tem de ser entregue de 5 em 5 dias, como o tempo de espera é de 5 dias não existirão problemas relativos ao número de encomendas a existir em simultâneo, porém caso o tempo de espera do item fosse superior a cinco dias várias encomendas deveriam ser efetuadas de forma atempada de maneira a obter todo o material a tempo em obra.

Com o exemplo anterior fica-se a perceber os limites máximos e mínimos de inventário estabelecidos, sendo essencial para poder efetuar previsões do comportamento dos buffers e a da sua performance. Os limites máximos e mínimos correspondem diretamente a duas zonas, a verde e a amarela. O limite inferior corresponde ao TDVE e o limite máximo corresponde ao TDVE + valor da zona verde. Tendo os limites definidos pode-se estabelecer a meta da quantidade de material armazenado, sendo que simplisticamente, este valor localiza-se no meio dos limites. É calculado através de 50% do somatório do TDVE com o valor da zona verde.

3.5.4 Explosões de Desacoplamento

Quando se usam pontos de desacoplamento e a metodologia de geração de encomendas do DDMRP, surge um enorme impacto pois quando um pedido de encomenda é efetuado em um nível superior, os pontos de desacoplamento não permitem que a explosão da lista de materiais continue para níveis inferiores. A explosão é interrompida pois nesse ponto é colocado um buffer, que por sua vez transmite ao buffer seguinte presente na lista de materiais, ou caso não exista ao nível final dessa mesma lista. A equação de potenciais existências é totalmente independente e quando calculada num certo ponto, é que decide a necessidade do reabastecimento. MRP e DDMRP, ambos utilizam este processo, porém com nuances diferentes. No MRP, as explosões começam nos níveis superiores e vão até aos níveis inferiores e sempre com projeção para o futuro. Já no DDMRP a explosões desacopladas são uma das suas maiores caraterísticas, pois tanto criam dependência como independência entre si. Estas explosões são feitas até ao ponto desacoplamento e continuam a partir desses pontos para o nível seguinte e assim consecutivamente até ao último nível. Este conceito é bastante importante para prevenir o "nervosismo"

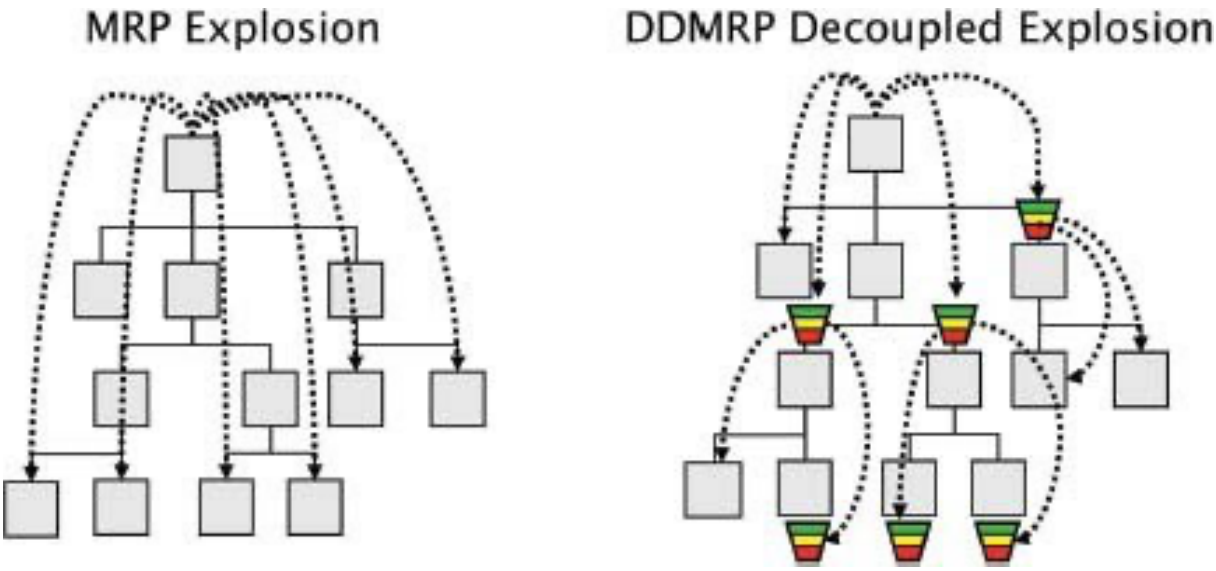


Fig. 3.17 - Diferença das explosões de desacoplamento (Ptak & Smith (2019))

pois mudanças em níveis superiores pouco afetarão os buffers em níveis inferiores, aqui fica evidenciado a grande diferença entre o DDMRP e o MRP.

Através da análise da Figura 3.17, pode-se refletir sobre os dois métodos. Ambos têm similaridades, em certas partes a explosão decorre da mesma forma. Contudo, é possível entender o conceito de explosões desacopladas e de como a dependência e a independência se complementam. Existe independência nos pontos de desacoplamento, mas entre estes pontos existe dependência.

Tendo isto em mente, pode-se dizer que nem um método nem outro são perfeitos, MRP tem por base que tudo vai correr exatamente de acordo com o plano, já o DDMRP assume que quase nada vai correr exatamente como planeado daí a existência de buffers de segurança.

3.6 EXECUÇÃO E GESTÃO – 5º COMPONENTE DO DDRMRP

3.6.1 INTRODUÇÃO

É necessário entender a diferença entre planeamento e execução. O planeamento do DDMRP é o processo de gerar encomendas usando a equação de potenciais existências e os pontos de desacoplamento, este processo do planeamento termina quando as encomendas são aprovadas e começam a ser processadas. A execução é a gestão das encomendas que se encontram abertas consoante dois critérios básicos: estado do buffer e a sincronização.

Os estados dos buffers estão programados para mostrar o estado corrente e a projeção dos pontos desacoplamento. Estes status usam a quantidade de material em armazém em vez da posição das potenciais existenciais. A posição das potenciais existenciais é usada simplesmente para planear o reabastecimento ou não. A quantidade em armazém consegue definir se a posição cumpre os requisitos e se se mantêm desacoplado.

Os alertas da sincronização estão feitos para ser possível identificar problemas relativos às dependências. Apesar do DDMRP ter como objetivo tornar os processos mais independentes, ainda existem dependências como foi abordado no subcapítulo 3.7.4. O uso dos buffers é crucial para diminuir a variabilidade, contudo a sincronização entre os pontos de desacoplamento faz com que exista mais visibilidade e maior facilidade para detetar os problemas.

3.6.2 ALERTAS DOS ESTADOS DOS BUFFERS

Primeiramente para entender os benefícios dos estados dos buffers, é necessário distinguir o DDMRP dos restantes métodos convencionais. O MRP é um método de planeamento e não um método de execução, este tem lacunas relativas ao controlo de encomendas já efetuadas durante toda a cadeia. Através desta visão todos os intervenientes são forçados a um utilizar um sistema de prioridades baseado nas datas finais de cada entrega. Sendo o MRP um método que assume que todas as previsões de datas serão mantidas, todas têm de decorrer da mesma forma ou a data de término da obra pode ficar em risco. Se os fornecedores não cumprirem os prazos, então novas oportunidades de negócios poderão não aparecer.

Esta prioridade baseada nas datas de entrega tornou-se no método mais usado, e quanto mais perto estiver da data final maior a importância dessas entregas.

Utilizando este método muita das vezes mesmo as encomendas cheguem a tempo, faltas ou excessos de inventário baseados nas mudanças que existem ao longo do tempo, a qualidade e as especificações do cliente também alteram. Quanto maior o tempo de execução, maior volatilidade existe nestes materiais.

Tomando como exemplo a Figura 3.18, os três materiais seguintes têm a mesma data de entrega, porém caso exista algum problema no fornecimento dos mesmos é difícil de entender qual o material prioritário naquele momento, na perspetiva convencional. Com o uso dos buffers, é possível verificar a prioridade muito mais facilmente e reduzir os erros que possam advir daí. Tal como no planeamento isto baseia-se num sistema de cores com percentagens atribuídas. Deste sistema duas caraterísticas evidenciam-se, que são a de como o estado de um certo item está relacionado com o nível do buffer de forma a manter a integridade do buffer e também comparar as diferentes peças entre si, como é percetível pela interpretação da Figura 3.19.

Isto vai possibilitar que os próprios fornecedores tenham noção do material mais necessário, não seguindo somente um conjunto de datas a cumprir e por vezes fazer com que a obra não decorra da melhor forma por falta de materiais que com o uso deste sistema podem ser evitados. Como estas cores e percentagens são determinados é o que se irá abordar de seguida.

Pedido #	Data Limite	Fornecedor
OC 1234	05/fev	FDW Materiais, Lda.
OC 1275	05/fev	FDW Materiais, Lda.
OC 1485	05/fev	FDW Materiais, Lda.

Fig. 3.18 - Data de entrega de materiais

Pedido #	Data Limite	Estado do Buffer	Fornecedor
OC 1234	05/fev	Vermelho -15 %	FDW Materiais, Lda.
OC 1275	05/fev	Amarelo - 53 %	FDW Materiais, Lda.
OC 1485	05/fev	Amarelo - 57 %	FDW Materiais, Lda.

Fig. 3.19 - Datas de Entrega e estado do buffer

3.6.3 Planeamento versus Execução

O estado dos buffers providencia uma forma mais fácil de proteger o modelo DDMRP. Os estados dos buffers não utilizam a equação das potenciais existências, utilizam sim a quantidade de material armazenado. Só aqui se pode efetuar uma clara separação entre o planeamento das encomendas que utiliza essa equação e a gestão de encomendas.

Como abordado anteriormente os limites dos valores armazenados oscilam entre o TDVE ao TDVE + o valor da zona verde. Portanto, se os valores dos materiais armazenados estiverem acima do TDVE não existem grandes preocupações, tendo tudo para assegurar a integridade do ponto de desacoplamento.

Quando se fala da execução, ao contrário do abordado anteriormente quando o material armazenado é superior ao TDVE, então o alerta do buffer irá aparecer em verde.

Os alertas vermelhos e amarelos são determinados através da severidade da situação em relação à totalidade da zona vermelha.

Para saber em que ponto o alerta muda de amarela para vermelho é necessário saber o nível de alerta do material armazenado, este nível diz-nos o ponto de transição. A maneira mais comum para determinar este nível é defini-lo como 50% da zona vermelha. Sendo este nível calculado através do valor da zona vermelha quanto menor ela for, menor segurança existirá.

Esta mudança de cores pode trazer alguma confusão inicialmente pois um valor de material armazenado que corresponderia a amarelo no planeamento, na execução corresponderá a verde. A chave para entender é perceber que o planeamento utiliza a equação das potencias existências, onde o valor do material armazenado é um simples componente, enquanto a execução analisa somente as encomendas já criadas e tenta gerar informações relevantes de forma a tomar as melhores decisões possíveis.

3.6.4 Alerta da quantidade de material atual

Este alerta de quantidade pretende refletir como as quantidades estão ou não em perigo. Na perspetiva de itens comprados, estes alertas servem para perceber quais os materiais que necessitam de ser expedidos de imediato. Para os produtos manufaturados, estes alertas fornecem informações relevantes para saber quais encomendas que devem ter prioridade.

3.6.5 Alerta da quantidade de material projetada

O alerta da quantidade projetada tem por base calcular a penetração na zona vermelha num futuro próximo de forma a poder proteger a integridade do buffer. Para ser feito de forma correta, é necessário tempo e bastante informação tanto da procura como da oferta. Tal como a equação das potenciais existências, utiliza a procura, a oferta e a quantidade armazenada contudo não com o objetivo de gerar novas encomendas, mas para perceber se existe necessidade de certa encomenda ser expedida mais rapidamente para manter os níveis dos buffers. Este alerta tem em consideração o inventário atual, a projeção do inventário futuro tendo por base o consumo diário médio ou no tempo de alocação de encomendas e na quantidade e tempo de pedidos já encomendados. Com estas informações é possível efetuar uma projeção de como o estado do buffer poderá ficar.

3.6.6 Alertas de Sincronização

Como abordado anteriormente, ainda existem diversas dependências e pontos de sincronização que não estão desacoplados no método DDMRP. Quanto maior a visibilidade promovida nesses pontos menor a probabilidade de pequenas interrupções. Quanto menos variabilidade existir dentro do processo, maior proteção existirá.

O DDMRP utiliza dois tipos de alertas para promover a visibilidade e a gestão desses mesmo pontos: Alertas de sincronização de Materiais e Alertas de Tempo de Espera.

3.6.7 Alertas de Sincronização de Materiais

O objetivo destes alertas de sincronização de materiais é avisar da existência de défices de abastecimento relativamente às necessidades. Estes alertas surgem por três razões, primeiro quando os níveis de ofertas são inferiores à procura, isto aplica-se a itens que não se encontram desacoplados. A segunda razão prende-se quando uma data de entrega não é cumprida, que faz com que o alerta apareça. Há a criação de alertas de quantidade material atual para itens que possuam buffers e alertas de sincronização para

itens que estejam com quantidades de inventário reduzidas. A terceira e última razão tem que ver com a antecipação da data de necessidade desse item, como estamos a abordar itens que não possuem um buffer esta situação ainda se torna mais crucial.

3.6.8 Alertas de Tempo de Espera

Os alertas de tempo de espera estão especialmente focados nos itens que não possuam buffers. Muita das vezes estes itens não exigem grande quantidade de stock, porém quando são necessários podem criar um vasto impacto na sincronização de certos produtos.

As ideias principais destes alertas são entender que é benéfico saber os problemas de sincronização antes que eles ocorram, isto permite que existam ajustes e planos de contingência para acautelar estas situações. Outra ideia fulcral é a comunicação entre o cliente e o fornecedor, quanto mais clara e organizada for mais facilmente é possível priorizar certas encomendas e do lado do fornecedor por vezes mais atenção e cuidado irão ser prestados.

Este subcapítulo teve como propósito evidenciar os conceitos básicos de alertas que existem na gestão num ambiente do DDMRP.

No próximo capítulo iremos abordar a utilização deste método recorrendo a um software.

4
APLICAÇÃO DE SOFTWARE COM FUNCIONALIDADES DDMRP

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será abordada a aplicação do método DDMRP que possibilita efetuar um controlo e gestão de materiais no módulo do software SAP. Foram efetuadas diversas tentativas com os fornecedores para obter acesso ao software SAP. Porém devido a dificuldades na obtenção do mesmo e constrangimentos relativos à capacidade de armazenamento em cloud apenas se fez o estudo do mesmo sem a aplicação, embora evidenciando a importância do DDMRP para um software tão importante e de utilização generalizada como o SAP na indústria da construção. Será então explicado os procedimentos e todas as funcionalidades que o software SAP permite efetuar ao nível da gestão de materiais.

4.2 APLICAÇÃO EM SOFTWARE SAP COM FUNCIONALIDADES DDMRP

Inicialmente é necessário que a descrição dos materiais seja inserida no software. Segue-se a identificação os materiais que são relevantes para o planeamento DDMRP, os materiais com tempos de espera mais longos ou sujeitos a maior variabilidade são identificados e se necessitam de ser classificados no software como D1, esta classificação refere-se aos três métodos que existem no DDMRP, o D1 refere-se ao método "Replenished Parts" que foi abordado profundamente no capítulo 3. Para além desta classificação do tipo de material é necessário também definir o procedimento a ter na gestão do inventário deste material, deve ser então definido como H1, esta definição do H1 tem como propósito que o reabastecimento deste item seja efetuado até ao nível máximo de stock que se traduz como o topo do verde. A Figura 4.1 mostra-nos como seria a janela do software com estas modificações.

Depois das caraterísticas dos materiais inseridos é necessário classificar os produtos em termos do valor do inventário, do uso em lista de materiais e na variabilidade da procura. Em termos do valor do inventário, os produtos podem ser classificados em A, B ou C sendo que o A corresponde a um valor de inventário grande e por outro lado o tipo C tem um valor de inventário reduzido. Por exemplo podem ser definidos, tais como 70, 20 e 10 para as classificações A, B e C respetivamente. Com a classificação ABC, os produtos são classificados tendo em conta os limites introduzidos pelo utilizador em percentagem

Para classificar o uso nas listas de materiais é usado a classificação PQR, esta classificação está dividida em três tipos P, Q, e R onde P corresponde a um maior uso na lista de materiais e R corresponde a um menor uso nas listas de materiais. Por exemplo, os limites para o uso na lista de materiais podem tomar valores como 3, 2, <2 para P, Q e R, respetivamente.

Para a classificação em termos da variabilidade da procura, é usada a classificação XYZ, dividida em três tipos, X, Y e Z, onde X corresponde a uma menor variabilidade e Z a uma maior variabilidade. São classificados tendo por base um coeficiente de variação, que reflete um rácio entre a quantidade que foi dispensada para uso e a quantidade que ainda se encontra armazenada. Um exemplo de valores para esta classificação poderiam ser de 0,25, 0,5 ou > 0,5 para X, Y e Z, respetivamente. Pode-se observar na Figura 4.2 observar a seleção dos produtos e a definição dos três parâmetros. Este passo é essencial para entender quais os produtos mais relevantes para serem desacoplados e assim ser definido um buffer.

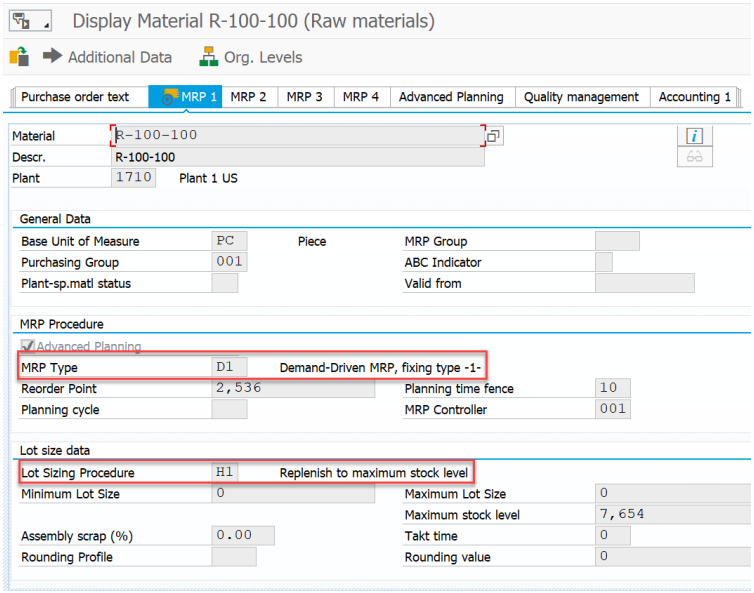


Fig. 4.1- Janela de introdução do material

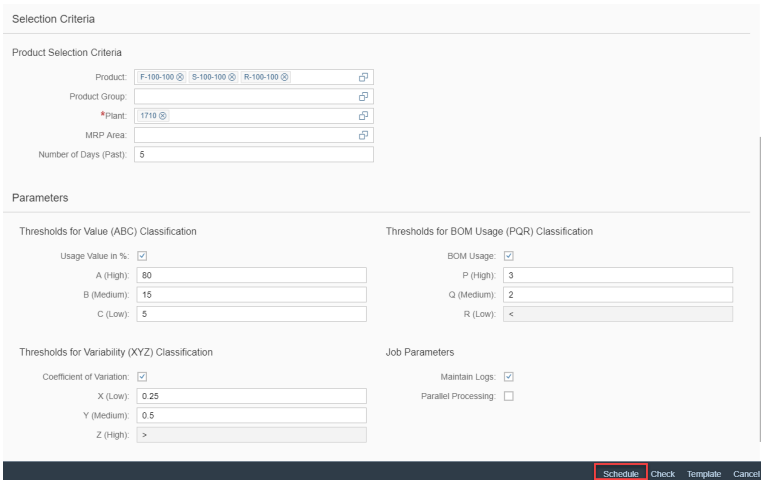


Fig. 4.2 - Janela de Introdução de Classificações

Após a definição dos produtos, outra janela, ilustrada na Figura 4.3, encontra-se disponível para visualizar as classificações dos itens e para analisar a necessidade de colocar um buffer nesse item. Caso seja necessário é possível efetuar mudanças dos parâmetros dos produtos.

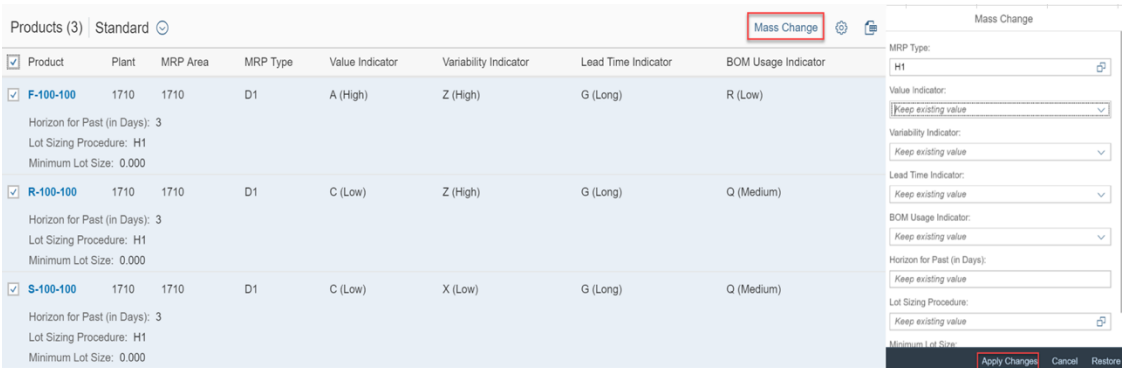


Fig. 4.3 - Janela de informação de cada produto

De seguida, é importante avaliar os itens tendo em conta o tempo de espera desacoplado, para isso é usada a classificação EFG. Esta classificação é divida em E, F ou G, onde E corresponde a um tempo de espera desacoplado baixo e G a um tempo de espera desacoplado longo. Usando esta classificação os itens estão constantemente a ser avaliados consoante o tempo de espera desacoplado e assim podem ser classificados consoante os limites definidos para cada categoria. Por exemplo os limites a definir podem tomar valores como 3, 5 ou >5, para E, F e G, respetivamente. Mostra-se na Figura 4.4 a janela onde são definidos os limites dos parâmetros do tempo de espera desacoplado.

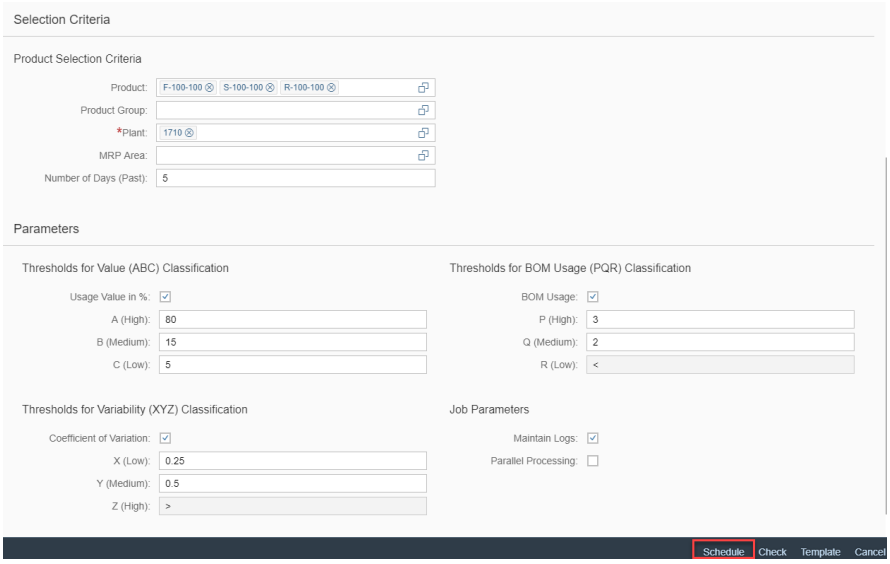


Fig. 4.4 – Janela de Introdução de classificações do tempo de espera

Após definidos todos os parâmetros anteriores, será possível gerar níveis dos buffers baseados no consumo diário médio, no tempo de espera desacoplado, no perfil dos buffers e em outros fatores. Além disso, nesta janela (Figura 4.5) pode calendarizar-se o cálculo dos níveis dos buffers periodicamente

com o objetivo de os manter atualizados. Demonstra-se a janela do software na Figura 4.5 com a seleção dos itens e os parâmetros que serão necessários para o cálculo.

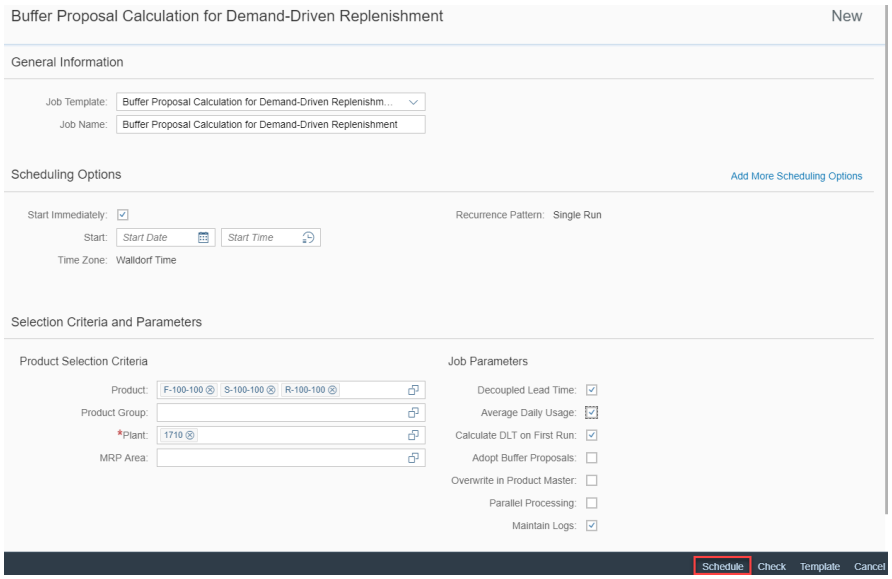


Fig. 4.5 - Janela para o cálculo dos níveis do buffer

Após definidos os buffers, é possível observar na janela da Figura 4.6 a quantidade do item disponível, o stock de segurança, o ponto onde é necessário gerar uma encomenda e o valor máximo do stock. Observamos as quantidades existentes em cada zona, nos dois itens apresentados. Os valores da variabilidade e do tempo de espera desacoplado aparecem referenciados para cada um dos itens. Nesta janela (Figura 4.6) é apresentada o nome de cada item, os valores das zonas verde, amarela e vermelha, uma representação gráfica, e o valor da variabilidade e a sua respetiva classificação.

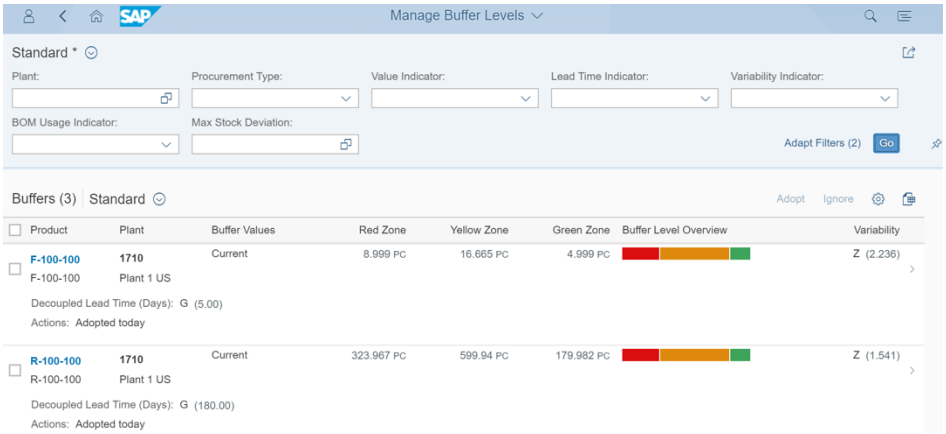
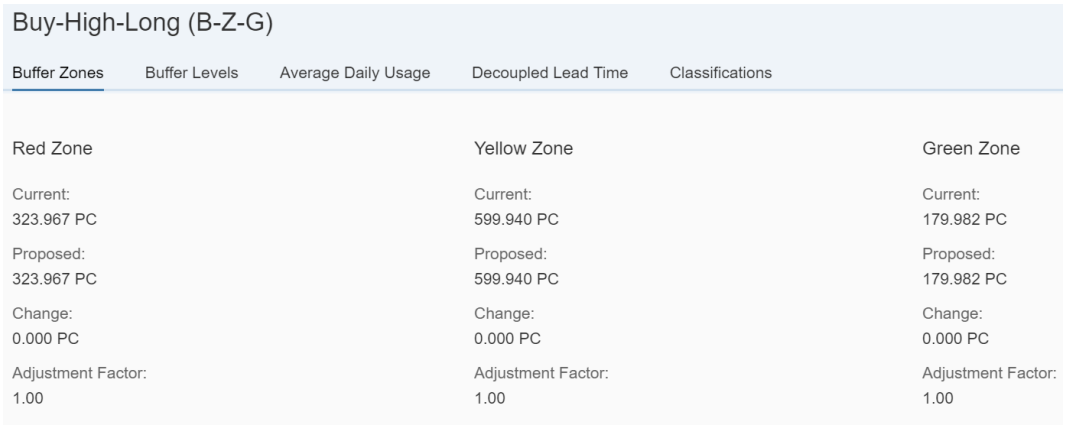


Fig. 4.6 - Janela para gestão dos buffers

Nas figuras seguintes são apresentadas as janelas específicas de um item, onde a informação mais pormenorizada pode ser consultada e analisada para o caso de ser necessário algum ajuste. Na janela representada na Figura 4.7 podem ser consultados os valores atuais e propostos das zonas verde, amarela e vermelha, é também possível observar os fatores de ajuste de zonas.



Na Figura 4.8 é possível observar a representação gráfica do buffer, estão representadas as três zonas que demonstram a quantidade de armazenada em cada zona. Podem ser consultadas as variações do buffer diariamente e ter uma perspetiva das oscilações do buffer.

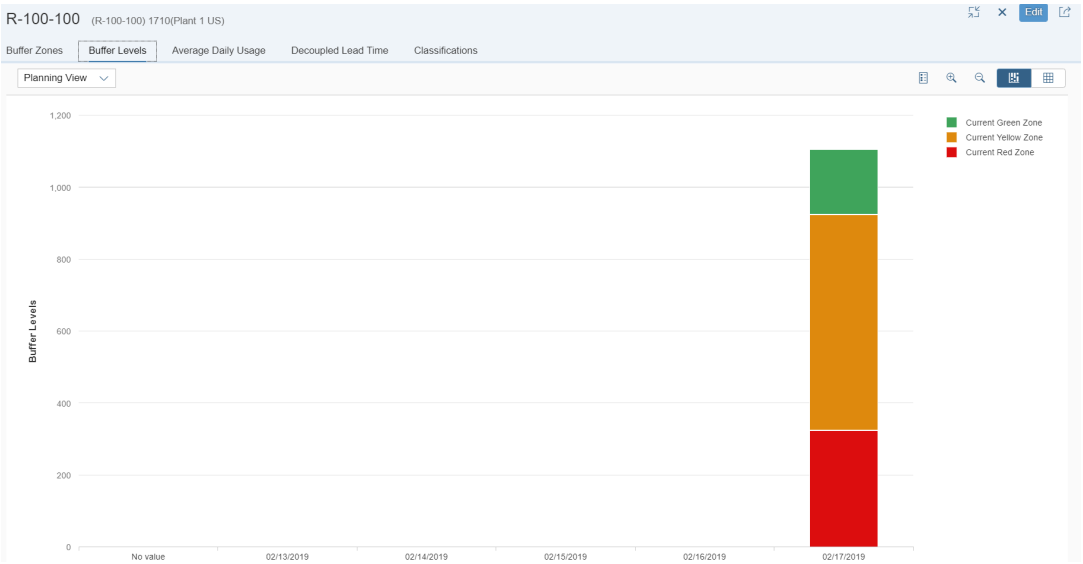


Fig. 4.8 - Janela de consulta do buffer

Na Figura 4.9 tem-se uma janela onde se observa o consumo diário médio, mas também a possibilidade de efetuar ajustes diários nos buffers tendo em conta as mudanças no consumo diário. Nesta janela é possível analisar o CDM diariamente e por sua vez é criada uma linha de tendência do consumo diário que potencia uma análise do consumo e se está dentro do expectável dentro do delineado inicialmente.

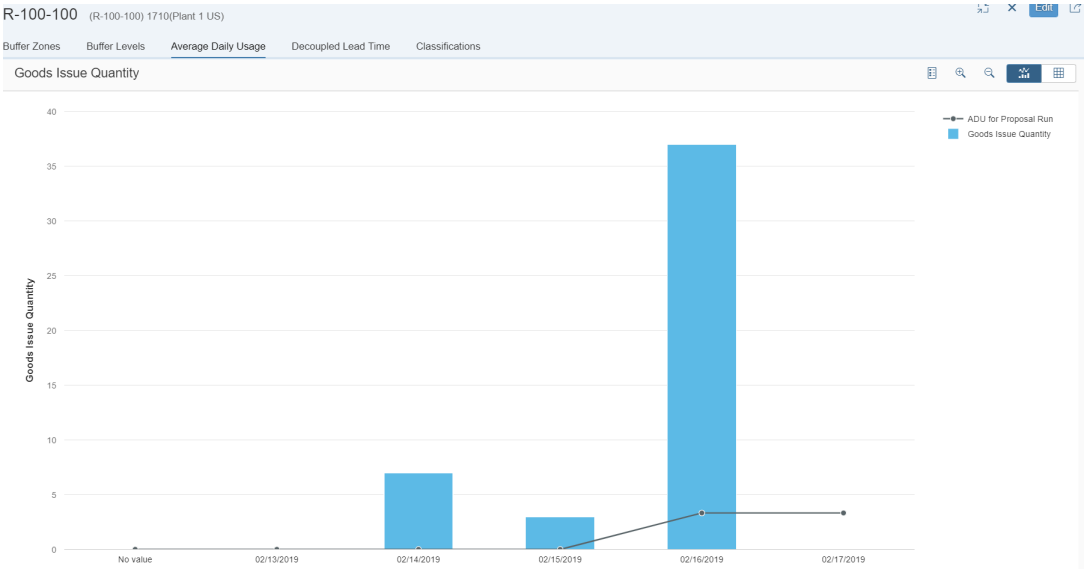


Fig. 4.9 - Janela de consulta do consumo diário médio

É visível na Figura 4.10 o tempo de espera desacoplado do item, e consultar se existiram mudanças no tempo de espera. As mudanças de tempo de espera desacoplado, podem ser consultadas nesta janela.

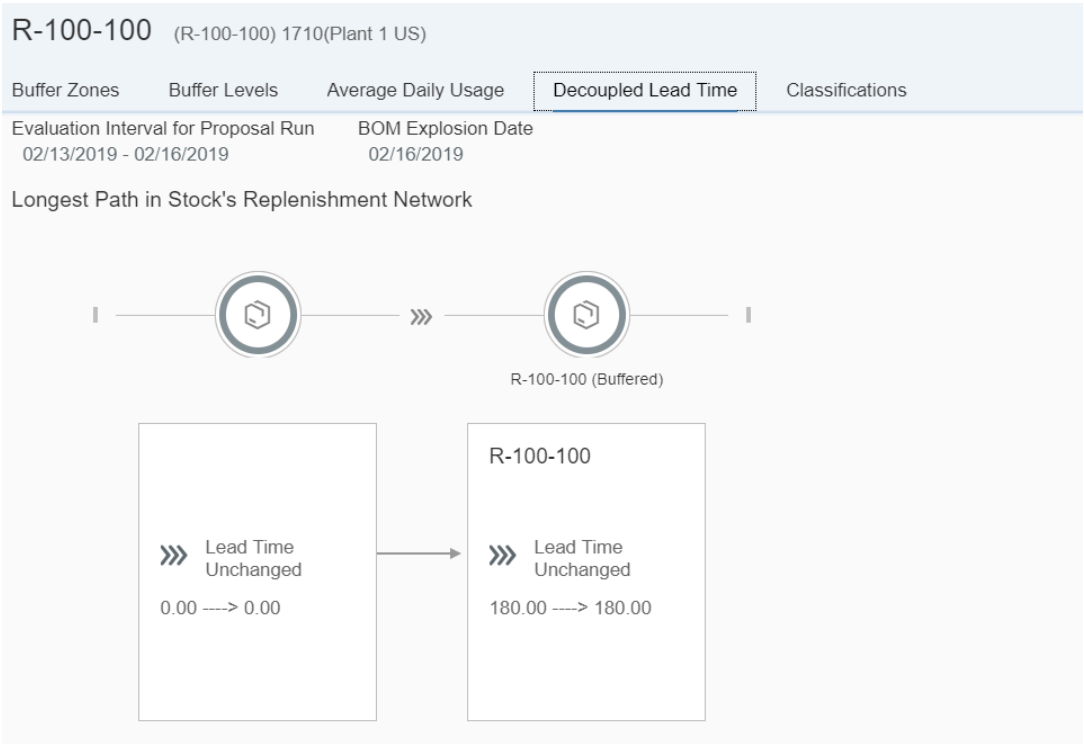


Fig. 4.10 - Janela de consulta do tempo de espera desacoplado

São fornecidos na figura 4.11 dados relativos às classificações dos itens, onde é possível efetuar uma comparação entre o as classificações propostas e as que estão a ser utilizadas atualmente. É possível analisar o perfil do buffer de cada item, e os seus fatores de tempo de espera e de variabilidade. Relativamente às classificações são apresentadas as propostas inicialmente e as atuais, e é possível observar se existiu alguma alteração. Na janela (Figura 4.11) primeiramente observa-se o perfil do buffer que neste caso se trata do B-Z-G, onde B reflete um item comprado, Z o um coeficiente de variação da variabilidade alto e G um uso na lista de materiais médio. São também apresentados os fatores de tempo de espera e de variabilidade, com valores de 0,3 e 0,8, respetivamente.

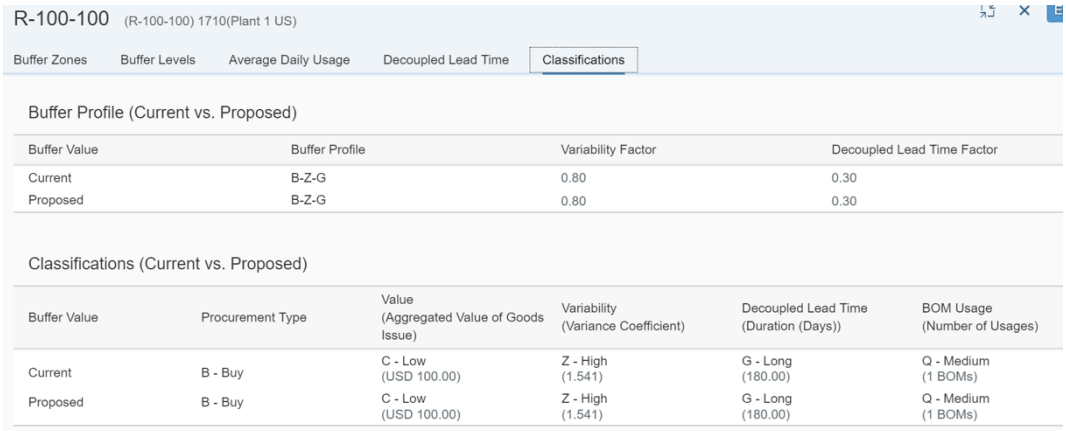


Fig. 4.11 - Janela de consulta do perfil do buffer e das classificações

Depois de definidos os buffers, e tendo todas as informações reunidas, os itens podem ser organizados tendo em conta a prioridade do planeamento. Usando a informação fornecida, como se vê na Figura 4.12 é possível acelerar o processo de gerar uma encomenda, ou contactar o fornecedor para evitar falta de materiais e que possam trazer constrangimentos para a realização da obra. Nesta janela é possível observar o item em análise, e a prioridade no planeamento que neste caso é de 24 % pois podemos observar que o material armazenado é inferior ao stock de segurança e este item necessita de atenção em especial. É possível observar que a encomenda aberta deste item é somente de 5 unidades, daí o alerta para o reabastecimento do material.

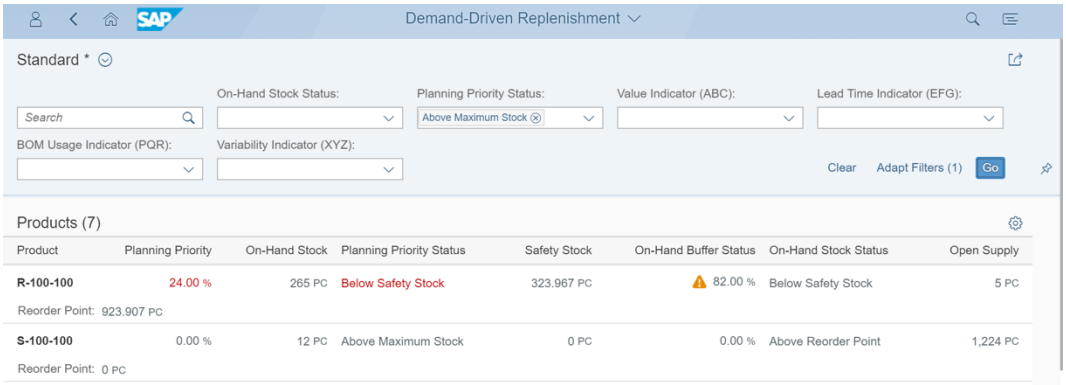


Fig. 4.12 - Janela de consulta da necessidade de encomendas ao nível do planeamento

Tendo em conta a prioridade da execução, uma janela está disponível para poder ser feito o controlo se cada item tem stock suficiente para produção. Com o uso deste tipo de informação, é possível avaliar se existe a necessidade de tentar acelerar a chegada dos itens necessários. Ilustra-se na Figura 4.13 exatamente essa janela, onde é possível observar o item R-100-100 encontra-se abaixo do stock de segurança, um aviso de prioridade de encomenda é mostrado e a quantidade de unidades a encomendar é fornecida, neste caso é de 833,88 unidades que perfazem o valor máximo do stock como foi definido inicialmente nas caraterísticas do item.

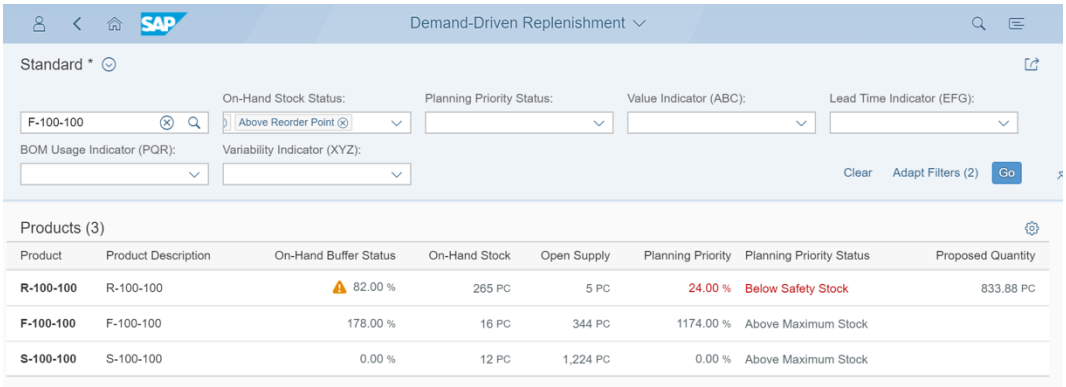


Fig. 4.13 – Janela de consulta da necessidade de encomendas ao nível da execução

5
CASOS DE ESTUDO

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será aplicada a metodologia DDMRP numa obra de reabilitação de um edifício localizado na Av. Brasil na Foz, Porto. O edifício vai ser sujeito a uma reabilitação ao nível das fachadas. Para esta reabilitação estão projetados trabalhos de lavagem de fachada com jato de água de alta pressão para garantir a superfície limpa para efetuar a aplicação de ETICS nas fachadas norte, poente e nascente que contabilizam uma área de 975,91 m^2. O controlo de materiais será efetuado utilizando o método DDMRP. Inicialmente serão definidas as listas de materiais necessárias para cada tarefa, e a definição dos primeiros pontos de desacoplamento. De seguida, é necessário traçar os perfis dos buffers da empresa que realizará os trabalhos. Os buffers serão criados através de cálculos para posteriormente ser possível definir as zonas verde, amarela e vermelha de cada item. Foi também efetuado um segundo caso de estudo sobre a realização de uma parede exterior de tijolo de burro, onde a argamassa de assentamento tem um elevado tempo de espera e será desacoplada para ser possível observar as diferenças entre as duas situações.

É de realçar que foi feito um enorme esforço para ser possível aplicar um caso de estudo num software com funcionalidades DDMRP. Contudo devido a dificuldades na obtenção dos softwares e dificuldades a nível de armazenamento em cloud não foi possível obtê-lo pois seria necessário fazer um investimento financeiro incompatível por parte de um estudante do MIEC. Foi também feito um contacto com a empresa ACA para a obtenção de dados para o caso de estudo, porém a empresa não conseguiu facultar qualquer tipo de dados, por falta de tempo útil no espaço temporal da tese.

5.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO DDMRP

As tarefas a efetuar nesta reabilitação serão a aplicação do revestimento ETICS nas fachadas norte, poente e nascente com uma área total de 975,91 m^2. Através da consulta dos orçamentos, é possível obter uma lista dos materiais necessários para a aplicação. Para a aplicação desta metodologia é necessário decompor esta lista em várias componentes e definir quais os pontos de desacoplamento. Visto que na aplicação do método ETICS um dos componentes essenciais é o EPS e considerando a volatilidade do mercado deste produto devido à sua procura será considerado como um ponto de

desacoplamento onde será colocado um buffer, a pintura final também será considerada um ponto de desacoplamento desta lista de materiais, como é possível observar na Figura 5.1.

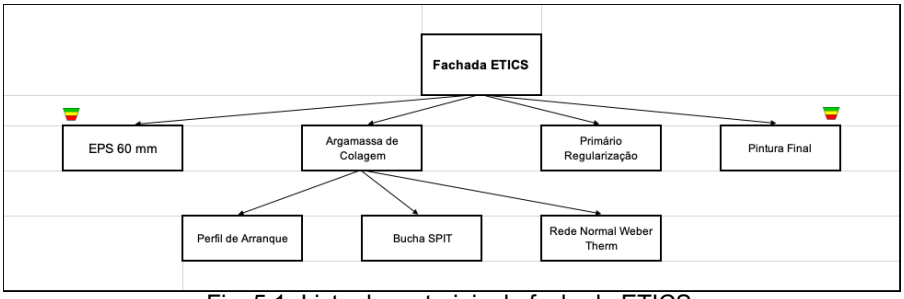


Fig. 5.1- Lista de materiais da fachada ETICS

É necessário ter em conta os fatores dos itens manufaturados, comprados, intermediados e distribuídos que são definidos através de critérios da própria empresa, os valores do fator de espera e do fator de variabilidade são definidos entre zero e um. Estes fatores não são matematicamente definidos, e é necessário a experiência de algum responsável da empresa para tomar a decisão, na Figura 5.2 é possível ver os valores que foram utilizados neste estudo. É importante notar que os valores dos dois fatores podem influenciar bastante os cálculos das zonas, já que entram nos cálculos da zona verde e da zona vermelha.

Itens		Fator de Tempo de Espera	Categoria de Variabilidade	Fator de Variabilidade
Itens Manufaturados (M)				
Tempo de Espera Longo	8 + Dias	0.25	Alta	0.75
Tempo de Espera Médio	3-7 Dias	0.4	Média	0.5
Tempo de Espera Baixo	1-2 Dias	0.7	Baixa	0.25
Itens Comprados (P)				
Tempo de Espera Longo	19 + Dias	0.25	Alta	0.75
Tempo de Espera Médio	8-18 Dias	0.4	Média	0.5
Tempo de Espera Baixo	1-7 Dias	0.7	Baixa	0.2
Itens Intermédios (I)				
Tempo de Espera Longo	11 + Dias	0.3	Alta	0.7
Tempo de Espera Médio	5-10 dias	0.5	Média	0.5
Tempo de Espera Baixo	1-4 Dias	0.7	Baixa	0.25
Itens Distribuídos (D)				
Tempo de Espera Longo	8 + Dias	0.3	Alta	0.7
Tempo de Espera Médio	3-7 Dias	0.5	Média	0.5
Tempo de Espera Baixo	1- 2 Dias	0.7	Baixa	0.2

Fig. 5.2 - Fatores de Tempo de Espera e de Variabilidade (Adaptada de: Ptak & Smith (2019))

Depois destes critérios estarem definidos, os atributos do EPS necessitam de ser definidos. Os atributos necessários são o consumo diário médio, o perfil do buffer, a quantidade mínima de encomenda, o ciclo de encomenda imposto ou desejado e o tempo de espera desacoplado. Para este caso os valores estão representados na Figura 5.3.

EPS (Caso 1)	
Consumo Diário Médio	10 m^2
Perfil do Buffer	P, M (0,4), M (0,5)
Quantidade Mínima de Encomenda	50 m2
Ciclo de Encomenda Imposto ou Desejado	5 Dias
Tempo de Espera Desacoplado	15 Dias

Fig. 5.3 – Caraterísticas do EPS (Caso 1)

O consumo diário médio foi calculado através do rendimento de uma equipa de dois trabalhadores. Considerando um rendimento de 1,2 hequipa/m^2, com uma média de 10 m^2 efetuados por dia de trabalho, o consumo médio é de 10 m^2. O perfil do buffer é de um item comprado, com um tempo de espera médio e uma variabilidade média, devido à variabilidade do mercado do lado da oferta. A quantidade mínima de Encomenda é de 50 m^2, valor estipulado por parte do fornecedor. O ciclo de encomenda imposta pela empresa é de 5 dias e o tempo de espera desacoplado do EPS é de 15 dias.

Após todos estes critérios serem definidos é possível calcular as diferentes zonas que constituem os buffers. Todos os cálculos estão explicados na Figura 5.4. A zona verde é quem determina a frequência e o tamanho da encomenda. A zona amarela é o que oferece cobertura de inventário. A zona vermelha é a componente que assegura segurança ao processo.

Verde	- Ciclo de Encomenda Imposto ou Desejado x Consumo Diário Médio ou ... - Tempo de Espera Desacoplado x Consumo Diário Médio x Fator de Tempo de Espera ou... - Quantidade Mínima de Encomenda	Max. das 3 Equações
Amarelo	- Tempo de Espera Desacoplado x Consumo Diário Médio	Valor da equação
Vermelho	- Tempo de Espera Desacoplado x Consumo Diário Médio x Fator de Tempo de Espera + - Tempo de Espera Desacoplado x Consumo Diário Médio x Fator de Tempo de Espera x Fator de Variabilidade	Somatório das 2 equações

Fig. 5.4 - Equações de cálculo do nível das três zonas

Com o fator de tempo de espera, o tipo de item, a variabilidade e os fatores individuais que são a localização, a quantidade mínima de encomenda, o consumo diário médio e o tempo de espera definidos e as equações definidas na figura anterior são calculados os valores das zonas. Os cálculos e a representação gráfica dos buffers estão representados na Figura 5.5.

EPS (Caso 1)	
Zona Verde	**60** Ciclo de Encomenda : (10 x 5) = **60** Fator de Tempo de Espera : (10 x 15) x 0,4 = **60** Quantidade Mínima de Encomenda : **50**
Zona Amarela	**150** (15 x 10) = **150**
Zona Vermelha	**90** Base: (15 x 10) x 0,4 = **60** Segurança: (15 x 10) x 0,4 x 0,5 = **30**

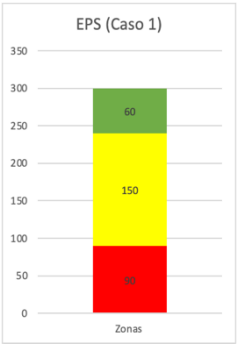


Fig. 5.5 - Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica (Caso 1)

Com a análise da Figura 5.5 pode-se concluir que no arranque da obra, segundo o buffer o inventário armazenado deve ser de 300 m^2 de EPS. Visto se tratar de uma obra de reabilitação e não existir espaço

de estaleiro, este stock ficará localizado num dos armazéns da empresa que realizará os trabalhos. Ao longo da obra, ajustes podem ser efetuados, se campanhas ou promoções do produto acontecerem, ou até mesmo se o número de trabalhadores em obra aumentar.

Passando à realização e ao planeamento da obra e das encomendas necessárias, é necessário ter presente a equação das potenciais existências, que vai ser utilizada para o controlo dos níveis de inventário futuros.

Os trabalhos começaram no dia 1 de Março com a limpeza das fachadas com jatos de água de alta pressão, para de seguida começar a aplicação do ETICS nas fachadas. Na primeira semana, decorreram trabalhos de montagem de andaimes e limpeza de fachadas, a partir do dia 8 a aplicação do ETICS inicia-se. Como foi descrito no capítulo anterior, quando a posição das potenciais existências for inferior ao Topo do Amarelo tem de ser efetuado um pedido de encomenda que corresponda à diferença entre a posição das potenciais existências e o Topo do Verde. A equação (5.1) das potenciais existências corresponde a:

$$Material\ Armazenado + Material\ Encomendado - Material\ necessário\ no\ dia\ seguinte \qquad (5.1)$$

Os trabalhos de aplicação de ETICS começaram no dia 7 de Março com um inventário inicial de 240 m^2. Observam-se na Figura 5.6 as quantidades armazenadas, gastas e encomendadas ao longo dos três meses de execução da obra. A última linha corresponde às potenciais existências, que devem ser calculadas diariamente para analisar os níveis do buffer. A obra começou com 240 m^2 armazenados, não tendo sido possível começar com os 300 m^2 definidos como o topo do verde devido a dificuldades por parte do fornecedor. Sabendo que o tempo de espera desacoplado deste material é de 15 dias, surgiu a necessidade de gerar uma encomenda no dia 8 de Maio, de forma a acautelar possíveis atrasos na entrega, que poderiam interferir no cumprimento dos prazos da obra. O material encomendado nesse dia foram 70 m^2, calculado através da diferença entre a equação das potenciais existências e o topo do verde (300 m^2). O ciclo de encomenda desejado para o EPS é de 5 dias, logo a cada 5 dias é necessário avaliar a necessidade de gerar uma encomenda. No dia 15 de Abril, a empresa decidiu que no primeiro dia de maio a equipa de trabalho passaria a ser composta por 4 elementos fazendo com que o consumo diário médio seja de 20 m^2. Tendo isto em conta, no dia 17 e 22 de Maio foram efetuadas encomendas de 100 m^2, fazendo com que a equação das potencias existências se encontre acima valor do topo do verde, contudo visto que o tempo de espera é de 15 dias e que no mês de Maio serão consumidos 20 m^2 diariamente, a decisão foi a mais assertiva para que não existam falhas de material em obra e atrase a sua realização. Na totalidade foram feitas 12 encomendas ao longo do tempo de aplicação do EPS. A partir do dia 2 de Maio não houve necessidade de efetuar novas encomendas, visto que o material armazenado e o material encomendado perfazem a totalidade do material necessário.

Março

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Em Stock	-	-	-	-	-	-	240	230	220	210	200	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	160	150	140	130	120	160	150	140	130
Gasto	-	-	-	-	-	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Encomendado	-	-	-	-	-	-	70	0	0	0	0	50	0	0	0	0	50	0	0	0	0	50	0	0	0	0	50	0	0	0
Potenciais Existências	-	-	-	-	-	-	300	290	280	270	260	300	290	280	270	260	300	290	280	270	260	300	290	280	270	260	300	290	280	270

Abril

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Em Stock	120	160	150	140	130	120	160	150	140	130	120	160	150	140	130	120	160	150	140	130	120	160	150	140	130	120	160	150	140	130
Gasto	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Encomendado	0	50	0	0	0	0	50	0	0	0	0	50	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	50	0	0	0
Potenciais Existências	260	300	290	280	270	260	300	290	280	270	260	300	290	280	270	260	350	340	330	320	310	400	390	380	370	360	400	390	380	360

Maio

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Em Stock	110	190	170	150	130	110	190	170	150	130	110	140	120	100	80	60	120	100	80	60	40	20	-	-	-	-	-	-	-	-
Gasto	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-
Encomendado	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Potenciais Existências	340	400	380	360	340	320	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	180	80	60	40	20	20	-	-	-	-	-	-	-	-

Fig. 5.6 - Cronograma de Encomendas

Sabendo que as caraterísticas do perfil podem ser alteradas a qualquer altura, tanto no consumo diário, no tempo de espera desacoplado e no próprio perfil do buffer. Foram feitas duas simulações para analisar o impacto, e na Figura 5.7, no caso 2, o tempo de espera desacoplado foi alterado para 7 dias logo o fator de tempo de espera alterou para nível baixo, o fator de variabilidade também alterou devido ao risco que pode existir de as entregas não serem entregues no tempo esperado. É apresentado na Figura 5.8 o cálculo dos níveis das diferentes zonas e a sua representação gráfica.

EPS (Caso 2)	
Consumo Diário Médio	10 m^2
Perfil do Buffer	P, S (0,7), H (0,75)
Quantidade Mínima de Encomenda	50 m2
Ciclo de Encomenda Imposto ou Desejado	5 Dias
Tempo de Espera Desacoplado	7 Dias

Fig. 5.7 – Caraterísticas do EPS (Caso 2)

EPS (Caso 2)	
Zona Verde	**50** Ciclo de Encomenda : (10 x 5) = **50** Fator de Tempo de Espera : (10 x 7) x 0,7 = **49** Quantidade Mínima de Encomenda : **50**
Zona Amarela	**70** (10 x 7) = **70**
Zona Vermelha	**85,75** Base: (7 x 10) x 0,7 = **49** Segurança: (7 x 10) x 0,7 x 0,75 = **36,75**

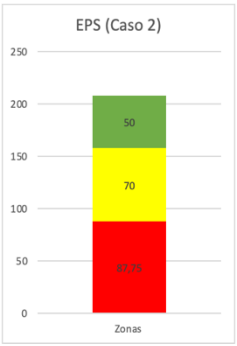


Fig. 5.8 - Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica (Caso 2)

Observa-se na Figura 5.9 , uma nova simulação, o caso 3, onde foram efetuadas mudanças ao nível do tempo de espera desacoplado que passou a ser de 20 dias, o que fez com que o fator de espera fosse alterado para longo e o fator de variabilidade alterou-se para baixo, de forma a ser possível demonstrar como o buffer se comportaria. É demonstrado na figura 5.10 o cálculo dos diferentes níveis dos buffers e a representação gráfica.

EPS (Caso 3)	
Consumo Diário Médio	10 m^2
Perfil do Buffer	P, L (0,25), L (0,2)
Quantidade Mínima de Encomenda	50 m2
Ciclo de Encomenda Imposto ou Desejado	5 Dias
Tempo de Espera Desacoplado	20 Dias

Fig. 5.9 Caraterísticas do EPS (Caso 3)

EPS (Caso 3)	
Zona Verde	**50** Ciclo de Encomenda : (10 x 5) = **50** Fator de Tempo de Espera : (10 x 20) x 0,2 = **40** Quantidade Mínima de Encomenda : **50**
Zona Amarela	**200** (20 x 10) = **200**
Zona Vermelha	**50** Base: (20 x 10) x 0,2 = **40** Segurança: (20 x 10) x 0,2 x 0,25 = **10**

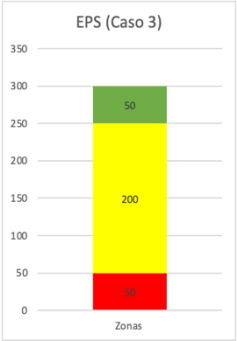


Fig. 5.10 - Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica (Caso 3)

Estes três casos permitem-nos ter uma maior perspetiva da influência do tempo de espera desacoplado e dos fatores do tempo de espera e de variabilidade. É apresentado na Figura 5.11 um mapa comparativo dos três casos para facilitar a comparação entres eles.

Mapa Comparativo			
	Caso 1	**Caso 2**	**Caso 3**
Tipo de Produto	Comprado	Comprado	Comprado
Tempo de Espera Desacoplado	15 Dias	7 Dias	20 Dias
Fator de Tempo de Espera	Médio (0,4)	Baixo (0,7)	Longo (0,25)
Fator de Variabilidade	Médio (0,5)	Alto (0,75)	Baixo (0,2)
Valor Zona Verde	60	50	50
Valor Zona Amarela	150	70	200
Valor Zona Vermelha	90	85,75	50

Fig. 5.11 - Mapa comparativo dos três casos

Em todas os casos, o material analisado é o EPS e corresponde a um material comprado. As grandes diferenças entre os casos está no tempo de espera desacoplado. O tempo de espera desacoplado está presente no cálculo de todas as zonas, tendo uma grande influência principalmente no cálculo da zona amarela que somente depende do tempo de espera desacoplado e do consumo diário médio, visto que o consumo diário médio é igual em todos os casos. É expectável que o caso 3 apresente um valor mais elevado da zona amarela exatamente por ter o maior tempo de espera desacoplado.

Relativamente aos fatores de tempo de espera, que estão diretamente associados ao tempo de espera desacoplado, têm uma grande influência no cálculo da zona vermelha, zona que pretende assegurar uma maior segurança dentro do buffer e no cálculo da zona verde. Quanto mais baixo o fator de espera, menor será o valor da zona vermelha, como se verifica entre o caso 2 e 3. No caso 1 e 2, seria expectável acontecer o mesmo sabendo que o fator de espera do caso 1 (0,4) é inferior ao caso 2 (0,7), porém como o tempo de espera do caso 1 (15 dias) é duas vezes maior do que o caso 2 (7 dias), a influência do fator do tempo de espera desacoplado não é tão explícita. Para a zona verde, o valor calculado determina a frequência e o tamanho médio das encomendas, quanto menor o fator de tempo de espera menor será o valor dessa zona. Nestes três casos, o fator de tempo de espera não teve qualquer influência no cálculo da zona verde, visto que o cálculo desta zona é determinado pelo valor máximo de três equações.

O fator de variabilidade é também utilizado no cálculo da zona vermelha e quanto maior esse fator, maior será o valor dessa zona com o objetivo de garantir maior segurança, como é visível a diferença entre o caso 1 e 2 com caso 3. Entre o caso 1 e o caso 2, ocorre exatamente o mesmo que ocorreu no

fator de tempo de espera, em que o tempo de espera desacoplado mais elevado não torna esta influência visível.

Em suma, é possível afirmar que quanto maior o tempo de espera desacoplado maior será o valor da todas as zonas do buffer. É de salientar que quanto maior o fator de tempo de espera, maior será o valor da zona vermelha, e maior será o valor da zona verde. E por último, quanto maior o fator de variabilidade, maior será o valor da zona vermelha.

Passando agora para a análise do buffer da pintura final do edifício em causa, primeiramente é necessário definir a mão de obra necessária, que será de 4 oficiais de pintor. Para efetuar a pintura de 2 demãos está previsto uma duração de 35 dias. Sabendo que o rendimento da tinta utilizada é 0,1 l/m^2 por demão, são necessários 195 litros para as duas demão. Considerando que um balde de tinta tem uma capacidade de 15 litros, serão necessários 14 baldes para a realização da pintura deste edifício. O perfil do buffer da pintura final está apresentado na Figura 5.12

Pintura Final	
Consumo Diário Médio	5,8 Litros
Perfil do Buffer	D, S (0,7), L (0,2)
Quantidade Mínima de Encomenda	15 Litros
Ciclo de Encomenda Imposto ou Desejado	3 Dias
Tempo de Espera Desacoplado	2 Dias

Fig. 5.12 - Caraterísticas da Pintura Final

Relativamente aos cálculos das zonas foram usadas as mesmas equações utilizadas anteriormente que estão representados na Figura 5.13, juntamente com a sua representação gráfica. Mostra-se na figura 5.14 o cronograma de consumos e encomendas ao longo de toda a obra.

Pintura Final	
Zona Verde	**17,4** Ciclo de Encomenda : (5,8 x 3) = **17,4** Fator de Tempo de Espera : (2 x 5,8) x 0,7 = **8,12** Quantidade Mínima de Encomenda : **15**
Zona Amarela	**11,6** (2 x 5,8) = **11,6**
Zona Vermelha	**9,75** Base: (2 x 5,8) x 0,7 = **8,12** Segurança: (2 x 5,8) x 0,7 x 0,2 = **1,624**

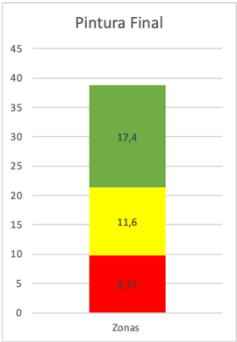


Fig. 5.13 – Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica

Junho																														
Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Em Stock	25	19,2	13,4	32,6	26,8	21	15,2	32,4	26,6	20,8	15	32,2	26,4	20,6	14,8	32	26,2	20,4	14,6	31,8	26	20,2	14,4	31,6	25,8	20	14,2	32,4	26,6	20,8
Gasto	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
Encomendado	0	25	0	0	0	23	0	0	0	23	0	0	0	23	0	0	0	23	0	0	0	23	0	0	0	24	0	0	15	0
Potenciais Existências	19,2	38,4	32,6	26,8	21	38,2	32,4	26,6	20,8	38	32,2	26,4	20,6	37,8	32	26,2	20,4	37,6	31,8	26	20,2	37,4	31,6	25,8	20	38,2	32,4	26,6	35,8	30

Julho																														
Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Em Stock	30	24,2	18,4	12,6	6,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gasto	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Encomendado	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Potenciais Existências	24,2	18,4	12,6	6,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fig. 5.14 – Cronograma de encomendas

Sabendo que este item é distribuído, isso implica que o produto se encontre armazenado num certo armazém a cargo da empresa de construção, não existindo a necessidade de recorrer ao fornecedor. Posto isto, o seu tempo de espera desacoplado é baixo, pois só contabiliza o tempo de transporte desde as instalações da empresa onde está armazenado o material até ao local da obra. Os fatores de tempo de espera, sendo o tempo de espera baixo, o fator também o será. O fator da variabilidade, também é baixo, pois as probabilidades de a entrega não ser feita a tempo são mínimas devido a não dependerem de fornecedores para a entrega.

5.3 Segundo Caso de Estudo

5.3.1 Introdução

Neste segundo caso, irá ser abordada a realização de uma parede de tijolo de burro, e aplicação de uma argamassa de assentamento. Será realizado este segundo caso de estudo de forma a ser possível observar o comportamento de dois itens que antes não tinham sido abordados: manufaturados e intermédios. Para além disso, serão feitas duas iterações, a primeira onde o único item desacoplado é a parede exterior, na segunda iteração, a argamassa também será desacoplada e será possível analisar as diferenças entre o buffer da parede exterior nas duas iterações.

5.3.2 Aplicação do Caso de Estudo

Primeiramente é necessário definir os trabalhos a realizar, sendo que são a realização de uma parede de tijolo de burro. Dois trabalhadores executarão o trabalho, efetuando um m^2 de parede por hora. Para o assentamento dos tijolos será necessária uma argamassa pré-fabricada, onde só é necessário a adição de água em obra, daí se tratar de um item intermédio. Esta argamassa tem um consumo de 90 kg por m^2, sabendo que cada saco contém 25 kg serão necessários aproximadamente 4 sacos para a realização de um metro quadrado de parede. Ilustra-se na Figura 5.15 a lista de materiais para a realização desta parede.

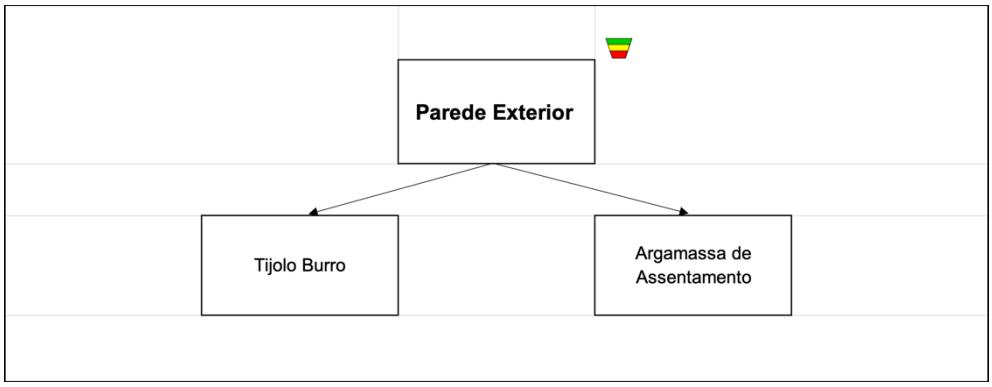


Fig. 5.13 - Lista de Materiais de Parede Exterior (1º Iteração)

As caraterísticas do buffer da parede exterior estão representadas na Figura 5.16. A realização desta parede conta com dois trabalhadores que efetuam 8 m^2 por dia. Este é um item manufaturado, e que conta com um fator de tempo de espera de longo, devido ao seu tempo de espera desacoplado que é de 30 dias. O tempo de espera desacoplado é de 30 dias, devido a argamassa de assentamento, visto ser uma argamassa diferenciada e que por sua vez o fornecedor não a tem disponível em stock.

Parede Exterior	
Consumo Diário Médio	8 m^2
Perfil do Buffer	M, L (0,25), H(0,75)
Quantidade Mínima de Encomenda	8 m2
Ciclo de Encomenda Imposto ou Desejado	5 Dias
Tempo de Espera Desacoplado	30 Dias

Fig. 5.14 - Caraterísticas do buffer da parede exterior (1º Iteração)

São apresentados na Figura 5.17 os cálculos dos níveis de cada zona do buffer e a respetiva representação gráfica de cada zona. É possível analisar através dos níveis dos buffers, que o tempo de espera desacoplado sendo muito elevado torna os níveis dos buffers bastante elevados, obrigando a um aumento do capital investido. O fator de espera longo e a variabilidade alta também provocam maior insegurança no processo e maior o valor da zona vermelha para garantir essa segurança.

Parede Exterior	
Zona Verde	**60** Ciclo de Encomenda : (8 x 5) = **40** Fator de Tempo de Espera : (8 x 30) x 0,25 = **60** Quantidade Mínima de Encomenda : **15**
Zona Amarela	**240** (8 x 30) = **240**
Zona Vermelha	**105** Base: (8 x 30) x 0,25 = **60** Segurança: (8 x 30) x 0,25 x 0,75 = **45**

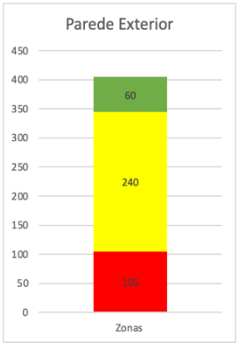


Fig. 5.15 - Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica

Posto isto, será analisado como seriam os níveis do buffer sabendo que a argamassa de assentamento se tornará um ponto de desacoplamento. Ilustra-se na Figura 5.18 a lista de materiais com os devidos pontos de desacoplamento e a colocação dos buffers.

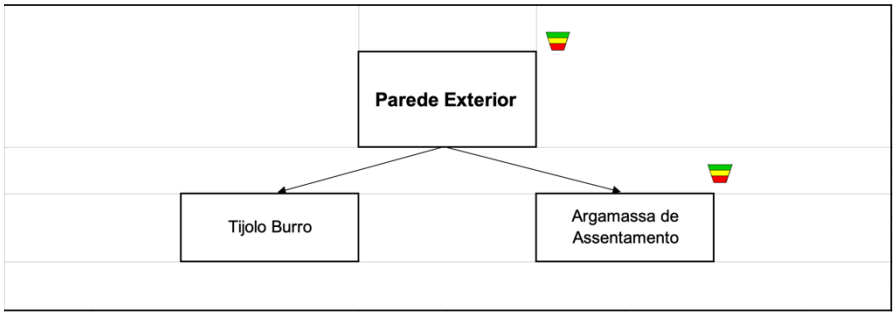


Fig. 5.16 - Lista de Materiais de Parede Exterior (2 º Iteração)

A partir do momento em que a argamassa de assentamento é desacoplada, o tempo de espera desacoplado da parede exterior diminui e o fator da variabilidade também se altera para médio. As caraterísticas da parede exterior estão representadas na Figura 5.19.

Parede Exterior	
Consumo Diário Médio	8 m^2
Perfil do Buffer	M, L (0,25), M (0,5)
Quantidade Mínima de Encomenda	8 m2
Ciclo de Encomenda Imposto ou Desejado	5 Dias
Tempo de Espera Desacoplado	10 Dias

Fig. 5.17 - Caraterísticas do buffer da parede exterior após o desacoplamento

Estão representados na Figura 5.20 os cálculos dos níveis de cada zona e a sua representação gráfica.

É possível verificar as diferenças de valores das zonas em termos de valor comparativamente ao caso inicial, anteriormente os valores das zonas verde, amarela e vermelha eram de 60, 240 e 105, respetivamente. O simples desacoplamento da argamassa, proporciona um nível das zonas muito mais baixo.

Parede Exterior	
Zona Verde	**40** Ciclo de Encomenda : (8 x 5) = **40** Fator de Tempo de Espera : (8 x 10) x 0,25 = **20** Quantidade Mínima de Encomenda : **15**
Zona Amarela	**80** (8 x 30) = **80**
Zona Vermelha	**30** Base: (8 x 10) x 0,25 = **20** Segurança: (8 x 10) x 0,25 x 0,5= **10**

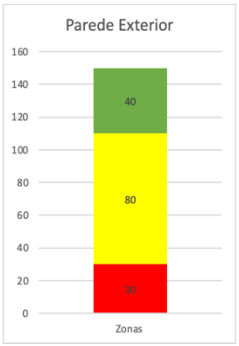


Fig. 5.18 - Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica

Será agora analisado o buffer da argamassa de assentamento que dará mais segurança ao processo, e evitar que existam atrasos nas entregas que tragam constrangimentos ao ritmo normal da obra.

Estão representadas na Figura 5.21 as caraterísticas da argamassa, dados que serão usados para os cálculos das zonas posteriormente.

Argamassa de Assentamento	
Consumo Diário Médio	4 Sacos 25 Kg
Perfil do Buffer	I, L (0,3), H (0,7)
Quantidade Mínima de Encomenda	5 Sacos 25 Kg
Ciclo de Encomenda Imposto ou Desejado	5 Dias
Tempo de Espera Desacoplado	30 Dias

Fig. 5.19 - Caraterísticas do buffer da argamassa de assentamento

Estão representadas na Figura 5.22 os cálculos das zonas do buffer e a sua representação gráfica. É de notar que o consumo diário médio é de 4 sacos de 25 kg. Com o tempo de espera desacoplado é de 30 dias, os valores do buffer tornam-se elevados, porém garantem que não existam faltas de material necessário em obra.

Argamassa de Assentamento	
Zona Verde	**36** Ciclo de Encomenda : (4 x 5) = **20** Fator de Tempo de Espera : (4 x 30) x 0,3 = **36** Quantidade Mínima de Encomenda : **5**
Zona Amarela	**120** (8 x 30) = **120**
Zona Vermelha	**61,2** Base: (4 x 30) x 0,3 = **36** Segurança: (4 x 30) x 0,3 x 0,7 = **25,2**

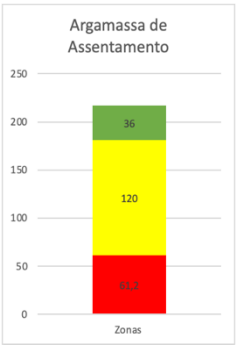


Fig. 5.20 - Cálculo do nível das zonas e a sua representação gráfica

É essencial efetuar uma comparação entre a parede exterior antes de a argamassa de assentamento ser desacoplada e depois para observar as diferenças. Ilustra-se na Figura 5.23 ilustra essa comparação entre ambas.

É enorme a diferença de valores entre eles, principalmente a zona amarela que é calculada com o tempo de espera desacoplado e a zona que carateriza a cobertura do inventário. Ao desacoplar a argamassa, estamos a proteger o processo, inserindo menos variabilidade no mesmo e obtendo mais segurança.

Comparação dos Buffers	
Antes do Desacoplamento	
Zona Verde	**60** Ciclo de Encomenda : (8 x 5) = **40** Fator de Tempo de Espera : (8 x 30) x 0,25 = **60** Quantidade Mínima de Encomenda : **15**
Zona Amarela	**240** (8 x 30) = **240**
Zona Vermelha	**105** Base: (8 x 30) x 0,25 = **60** Segurança: (8 x 30) x 0,25 x 0,75 = **45**
Depois do Desacoplamento	
Zona Verde	**40** Ciclo de Encomenda : (8 x 5) = **40** Fator de Tempo de Espera : (8 x 10) x 0,25 = **20** Quantidade Mínima de Encomenda : **15**
Zona Amarela	**80** (8 x 30) = **80**
Zona Vermelha	**30** Base: (8 x 10) x 0,25 = **20** Segurança: (8 x 10) x 0,25 x 0,5= **10**



Fig. 5.21 - Comparativo dos Buffers

6
CONCLUSÕES

6.1 CONCLUSÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho foi efetuada uma pesquisa e aplicação do método DDMRP que se mostrou bastante útil e promissora para a construção.

O método DDMRP ao longo da explicação teórica apresenta várias designações e conceitos que à primeira vista parecem ser complexos, porém quando aplicados em exemplos práticos tornam-se simples de entender e de utilizar. A grande valia que se vê nesta metodologia é a maneira como são gerados os níveis das zonas de cada buffer, tendo sempre em conta diversos fatores como o consumo diário médio e o tempo de espera desacoplado, isto permite-nos ter em conta caraterísticas importantes do produto e por sua vez fazer escolhas acertadas em relação às quantidades necessárias para armazenar. O objetivo do DDMRP é tentar minimizar a variabilidade existente em todo o processo e por sua vez tentar aumentar a produtividade, com os materiais a estarem disponíveis quando necessários e diminuindo o desperdício, comprando simplesmente o necessário e armazenando materiais que possam ser críticos em certa tarefa, ao contrário de outras metodologias que preferem gerar encomendas enormes e armazenar material, que por vezes nem é utilizado na totalidade fazendo com que dinheiro seja investido em material que não era necessário.

Ao ser realizada a pesquisa dos vários softwares que possuem funcionalidades DDMRP foi percetível a presença de diversos softwares que estão ligados a vários serviços tais como a indústria têxtil, automóvel, entre outras, porém não existe nenhum software feito especialmente para a indústria da construção, penso que o desenvolvimento de um software totalmente dedicado à construção seria importante para mudar o panorama da gestão de materiais.

O software SAP que foi abordado, permitiu perceber as várias particularidades do processo e os dados necessários para que esta gestão seja feita de forma correta. Nesta abordagem é necessário delinear limites para classificações de variabilidade, de tempo de espera, do uso em lista de materiais e em termos do valor do inventário. Estes limites são interessantes porque conseguem definir materiais mais críticos do que outros, contudo sabendo que não existem diretrizes para os limites recomendados e estando a cargo de alguém responsável na empresa tomar esse tipo de decisões e decidir os limites, pode por vezes ser difícil a implementação de raiz na empresa devido a inexistência de dados precisos de obras

anteriores e que podem fazer com que alguns erros e más decisões aconteçam inicialmente. Normalmente diz-se *é com os erros que se aprende*, e muita das vezes é verdade, contudo neste caso certos erros podem valer milhares de euros e podiam ser evitados com mais investigação, mais informação e com um software focado nesta indústria.

Com a aplicação do caso de estudo a esta metodologia, foi percetível o quão útil ela pode ser e o quão pode influenciar no decorrer de uma obra, para que não existam faltas de materiais ou excessos. Sabendo que existem materiais que têm tempos de espera elevados, eles podem condicionar a obra e causar problemas em termos de prazos e financeiros. Com o contacto com esta metodologia e os softwares, é possível afirmar que o DDMRP é um método com um enorme potencial, mas focado numa vertente macro, para grandes quantidades e para obras onde existam diversas tarefas que ocorram simultaneamente e que por sua vez usem os mesmos itens.

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Relativamente ao método explanado nesta dissertação são percetíveis as suas potencialidades na indústria da construção. Contudo devido a dificuldades na obtenção de dados através da colaboração com empresas e da sua aplicação em softwares torna-se de difícil compreensão a sua aplicabilidade num ambiente real. Daí ser útil uma abordagem mais profunda no caso de uma obra de um empresa com grandes recursos tanto em termos de capacidade de armazenamento como em capacidade humana como também seria interessante a aplicação numa empresa com recursos mais limitados para ser possível destacar os pontos positivos e os menos positivos, e entender se o investimento se reflete numa melhoria significativa nas questões de produtividade e nas questões financeiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ptak, Carol e Chad Smith. (2019). *Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP): Version 3*. Industrial Press, Inc.

Romain Miclo. Challenging the "Demand Driven MRP" Promises: a Discrete Event Simulation Approach. Modeling and Simulation. Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, 2016. English. NNT: 2016EMAC0016. tel-01673811.

Koskela, Lauri. (1992). *Application of the New Production Philosophy to Construction*. CIFE Technical Report, Setembro 1992, Stanford University.

BABO, M. (2008). *A Lean Construction e a Gestão Económica de Empreitada.* Dissertação de mestrado, FEUP.

ARANTES, P. (2008). *Lean Construction – Filosofia e Metodologias.* Dissertação de Mestrado, FEUP.

CUNHA, V. (2011). *Produtividade na Indústria da Construção*. Dissertação de Mestrado, FEUP.

SANTOS, S. (2017). *Proposta para Guia de Procedimentos para Gestão de Materiais de Construção em Obra*. Dissertação de Mestrado, FEUP.

Corrêa, L., Gianesi, I., *JIT, MRP II e OPT: Um Enfoque Estratégico.* Editora Atlas S.A, São Paulo.

Gul Polat & David Arditi (2005). *The JIT materials management system in developing countries*, Construction Management and Economics, 23:7, 697-712, DOI: 10.1080/01446190500041388 .

Said, H., El-Rayes, K. (2010). *Optimizing Material Procurement and Storage on Construction Sites.* Journal of Construction Engineering and Management, 26/10/2010.

Institute, Project Management. 2013. *A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. Fifth Edition ed.

TAVARES, A. (2019). *Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP): Estudo Exploratório.* Dissertação de Mestrado*,* FCT.

IMPIC, (2018). *Relatório Anual do Setor da Construção em Portugal*. Direção Financeira, de Estudos e de Estratégia. Junho 2019

http://www.geradordeprecos.info. 10 Maio.

https://blog.ifs.com/2018/10/the-five-steps-of-ddmrp/. 23 Abril.

https://www.pordata.pt/Europa/Produtividade+do+trabalho++por+hora+de+trabalho+(UE27+100)-1992. 2 Junho.

https://blogs.sap.com/2019/02/17/s4hana-demand-driven-mrp-ddmrp-functionality/. 7 Maio.

https://help.sap.com/viewer/e93a1ed5d8d9422faa3acd132b27e7ba/1909.000/en-US/cd50ad4c21424deea5aac0123a0ee187.html. 9 Maio.

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=National_accounts_and_GDP/pt#Valor_acrescentado_bruto_por_atividade_econ.C3.B3mica_na_UE-27. 2 Junho.

https://ibecensino.org.br/blog/os-termos-da-cadeia-logistica-que-voce-precisa-saber-na-construcao-civil/. 15 Março.

https://www.sap.com/index.html. 5 Maio