

**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Afonso Falcão Florim

**Representação de Operações de  
Embalagem e Expedição num *Smart  
Manufacturing System***

Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão de  
Operações – Ramo de Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do  
**Professor Doutor Paulo Jorge Figueiredo Martins**

Janeiro de 2024

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



**Atribuição**

**CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, professor Paulo Martins, pela oportunidade de participar neste projeto, pela sua disponibilidade, revisão crítica, sugestões e contribuições indispensáveis para a realização deste projeto bem como pela sua contribuição no meu crescimento tanto pessoal como profissional no decorrer deste ano.

À equipa do subprojecto 4, pela oportunidade de realização deste projeto, bom acolhimento e suporte. Em especial ao Micael, ao Ivo, ao João, à Andreia, à Helena, ao Carlos e ao Hugo pela formação, partilha de conhecimento e orientação, essenciais para a concretização deste trabalho. Realçar o Micael pela sua orientação na minha jornada educacional bem como profissional.

De seguida, expressar os meus agradecimentos a todos os que fizeram parte da minha jornada profissional. Aos docentes e membros da Universidade do Minho, que me transmitiram os seus conhecimentos ao longo do mestrado, pois sem eles não teria sido possível elaborar este projeto.

Por último, gostaria de expressar a minha gratidão a quem, de muitas e diferentes formas, me conduziu até este momento. Em especial, a minha família, namorada e verdadeiros amigos. Sem o incondicional apoio destas que são as mais importantes pessoas da minha vida, este projeto nunca teria sido realizado.

A todos, o meu mais sincero agradecimento.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

# Representação de Operações de Embalagem e Expedição num *Smart Manufacturing System*

## RESUMO

A evolução dos mercados e o aumento da competitividade origina mudanças de paradigmas de produção de modo a satisfazer as necessidades dos clientes. Atualmente, a Indústria 4.0 (I4.0) representa uma quarta revolução industrial, que surgiu com a integração de novas tecnologias computacionais, como os *Cyber-Physical Systems* (CPS) e a *Internet of Things* (IoT) na produção resultando nas *Smart Factories* (SF). A resposta dos Sistemas de Planeamento e Controlo da Produção (SPCP) à integração destas tecnologias no ambiente fabril são os *Smart Manufacturing Systems* (SMS). Este novo conceito faz a ligação dos requisitos da I4.0 com os requisitos de um SPCP e permite controlar todas as atividades nas SF.

Como principal objetivo deste projeto de dissertação destaca-se a apresentação de dois modelos, um para a representação de operações de embalagem e outro para a representação de operações de expedição implementados num SMS. Os modelos têm como objetivo representar todas as operações de embalagem e expedição existentes numa organização que, atualmente, apresentam desafios tais como a customização e a diversidade para responder às necessidades dos clientes. Estes processos diferem dos processos produtivos na sua origem, a embalagem surge após colocação de uma encomenda e a expedição na organização de encomendas a expedir para um cliente. O resultado da utilização dos modelos são *Bill of Materials and Operations* (BOMO) necessárias para apoiar as áreas funcionais de planeamento e controlo da produção a médio e curto prazo de um SPCP.

Um caso de estudo foi utilizado para testar as capacidades dos modelos em representar as informações relativas aos processos de embalagem e expedição de antenas. Posteriormente, foi avaliado o impacto dos modelos nas áreas de planeamento e controlo da produção a médio e curto prazo. Os resultados desta avaliação permitem compreender a importância de cada elemento proposto nos modelos e o impacto nas propriedades definidas para o funcionamento, flexibilidade e autonomia de decisão destas duas áreas funcionais num SMS.

## PALAVRAS-CHAVE

*Bill of Materials and Operations*, Indústria 4.0, Sistemas de Planeamento e Controlo da Produção, *Smart Factories*, *Smart Manufacturing Systems*,

# Representation of Packaging and Shipping Operations in a Smart Manufacturing System

## **ABSTRACT**

The evolution of markets and increased competitiveness leads to changes in production paradigms to satisfy customer needs. We currently live in the fourth industrial revolution, Industry 4.0, which emerged with the integration of new computing technologies such as Cyber-Physical Systems and the Internet of Things in the production environment. The response of Production Planning and Control Systems to the integration of these technologies in the manufacturing environment are known as Smart Manufacturing Systems. This new concept links the requirements of the Industry 4.0 with the requirements of Production Planning and Control Systems and allows the control and synchronization of all entities and activities in the new manufacturing environments resulting from the Industry 4.0, the Smart Factories.

The main objective of this dissertation project is the presentation of two models, one for the representation of packaging operations and another for the representation of shipping operations implemented in a Smart Manufacturing System. Both models aim to encompass all packaging and shipping processes within an organization, addressing current challenges such as customization and diversity to meet customer needs. The outcome of utilizing these models is the generation of Bills of Materials and Operations (BOMO), which integrate elements and relevant information essential for their characterization. This information supports the functional areas of planning and control in the medium and short term of a Production Planning and Control System.

A case study was used to test the models' capabilities in the representation of information related to an antenna packaging and shipping processes. Subsequently, the impact of the models in the functional areas of production planning and control in the medium and short term was evaluated. The results of this evaluation allows us to understand the importance of each element proposed in the models and the impact on the properties defined for the functioning, flexibility and decision autonomy of these two functional areas in a Smart Manufacturing System.

## **KEYWORDS**

Bill of Materials and Operations, Industry 4.0, Production Planning and Control System, Smart Factories, Smart Manufacturing Systems,

## ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas .....	xii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos .....	xiv
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Metodologia.....	3
1.4. Estrutura .....	4
2. Revisão Bibliográfica .....	5
2.1. Indústria 4.0.....	5
2.2. Sistemas de Planeamento e Controlo da Produção.....	6
2.3. <i>Smart Manufacturing Systems</i> .....	8
2.4. Operações de Embalagem e Expedição .....	9
3. Modelo para Representação de Operações de Embalagem .....	12
3.1. Âmbito do Modelo.....	12
3.2. Tipo de Operação .....	13
3.2.1. Habilidade.....	14
3.2.2. Competência .....	14
3.2.3. Tipos de Operação Produtivos.....	15
3.3. Artigos.....	16
3.4. BOMO de Embalagem do Artigo .....	17
3.4.1. Lista de Operações de Embalagem do Artigo.....	17
3.4.2. Lista de Materiais das Operações de Embalagem do Artigo .....	19
3.4.3. Precedências das Operações de Embalagem do Artigo.....	21

3.5.	Encomenda .....	24
3.6.	BOMO da Encomenda.....	25
3.7.	Embalagem Standard .....	26
3.8.	Considerações Finais .....	28
4.	Modelo para Representação de Operações de Expedição.....	30
4.1.	Âmbito do Modelo.....	30
4.2.	Tipo de Unidade de Expedição .....	32
4.3.	BOMO do Tipo de Unidade de Expedição.....	32
4.3.1.	Lista de Operações do Tipo de Unidade de Expedição .....	33
4.3.2.	Lista de Materiais das Operações do Tipo de Unidade de Expedição .....	34
4.3.3.	Precedências das Operações do Tipo de Unidade de Expedição .....	36
4.4.	Lista de Expedição .....	37
4.5.	Unidade de Expedição.....	38
4.6.	BOMO da Unidade de Expedição.....	39
4.7.	Considerações Finais .....	43
5.	Aplicação dos Modelos em Sistema Informático .....	44
5.1.	Apresentação do <i>Software</i> .....	44
5.2.	Caso de Estudo .....	47
5.2.1.	Representação de Operações de Embalagem.....	48
5.2.2.	Representação de Operações de Expedição .....	57
5.3.	Impacto dos Modelos no <i>Smart Manufacturing System</i> .....	66
5.3.1.	Planeamento e Controlo da Produção a médio prazo.....	67
5.3.2.	Programação e Monitorização da Produção.....	71
6.	Conclusões.....	75
	Referências Bibliográficas .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas Funcionais de um SPCP .....	7
Figura 2 - Principais Áreas Funcionais de um SMS .....	9
Figura 3 - Enquadramento do Modelo de Embalagem no SMS Desenvolvido .....	12
Figura 4 - Representação Gráfica de um Tipo de Operação Produtiva e Exemplo.....	15
Figura 5 - Representação Gráfica de um Artigo e Exemplo .....	16
Figura 6 - Representação Gráfica de uma Operação de Embalagem de um Artigo e Exemplo .....	18
Figura 7 - Representação Gráfica de um Componente de Operação de Embalagem de um Artigo e Exemplo.....	20
Figura 8 - Representação Gráfica de Precedências de Operação de Embalagem de um Artigo e Exemplo .....	22
Figura 9 - Representação Gráfica de uma BOMO de Embalagem de um Artigo.....	23
Figura 10 - Representação Gráfica de uma Encomenda e Exemplo.....	24
Figura 11- Processo de Criação da BOMO da Encomenda.....	25
Figura 12 - Herança de Propriedades do Artigo para a Encomenda.....	26
Figura 13 - Representação Gráfica da Embalagem Standard e Exemplo.....	27
Figura 14 - Enquadramento do Modelo de Expedição num SPCP.....	31
Figura 15 - Representação Gráfica de uma Operação de Expedição de um Tipo de Unidade de Expedição e Exemplo .....	34
Figura 16 - Representação Gráfica de um Componente de uma Operação de Expedição de um Tipo de Unidade de Expedição e Exemplo .....	35
Figura 17 - Representação Gráfica de Precedências de Operação de um Tipo de Unidade de Expedição e Exemplo .....	37
Figura 18 - Representação Gráfica de uma BOMO de um Tipo de Unidade de Expedição .....	37
Figura 19 - Representação Gráfica de uma Unidade de Expedição e Exemplo .....	39
Figura 20 - Processo de Criação da BOMO da Unidade de Expedição .....	40
Figura 21 - Herança de Propriedades do Tipo de Unidade de Expedição para a Unidade de Expedição.....	40
Figura 22 - Representação Gráfica de uma BOMO de uma Unidade de Expedição .....	42
Figura 23 - Menu Principal do SMS Desenvolvido no Projeto.....	45
Figura 24 - Opções Iniciais de Navegação para os Modelos de Embalagem e Expedição .....	45

Figura 25 - Consulta de Todas as Operações de Embalagem Existentes na Organização .....	46
Figura 26 - Resultados da Consulta de Todas as Operações de Embalagem Existentes na Organização e Painel de Navegação .....	46
Figura 27 - Fluxo para Embalagem e Expedição do Artigo Antena .....	47
Figura 28 - Representação Gráfica do Tipo de Operação Produtivo “Embalar Artigos” .....	50
Figura 29 - Definição do Tipo de Operação Produtivo "Embalar Artigos" no Software .....	50
Figura 30 - Representação Gráfica do Artigo "Antena" .....	50
Figura 31 - Definição do Artigo "Antena" no Software .....	51
Figura 32 - Representação Gráfica da Operação “Embalar e Fechar Caixa com Antenas” .....	52
Figura 33 - Definição da Operação "Embalar e Fechar Caixa com Antena" no Software.....	52
Figura 34 - Representação Gráfica do Componente “Fita Cola para Fechar Caixa” na Operação “Embalar e Fechar Caixa com Antenas” .....	53
Figura 35 - Definição do Componente “Caixa para Embalar Antena” no Software.....	53
Figura 36 - Representação Gráfica da BOMO de Embalagem da Antena .....	54
Figura 37 - BOMO de Embalagem da "Antena" no Software .....	54
Figura 38 - Representação Gráfica da Encomenda de Antenas .....	55
Figura 39 - Definição da Encomenda no Software.....	55
Figura 40 - Representação Gráfica da BOMO da Encomenda 1.....	56
Figura 41 - BOMO da Encomenda 1 no Software.....	56
Figura 42 - Representação Gráfica da Embalagem Standard.....	57
Figura 43 - Definição da Embalagem Standard “Separar” no Software.....	57
Figura 44 - Definição de Tipos de Unidades de Expedição no Software .....	58
Figura 45 - Representação Gráfica da Operação “Encher Contentor” do Tipo de Unidade de Expedição “Contentor” .....	58
Figura 46 - Definição da Operação "Encher Contentor" no Software .....	59
Figura 47 - Representação Gráfica do Componente “Artigo Palete” na Operação “Montar e Plastificar Palete” do Tipo de Unidade de Expedição “Palete” .....	59
Figura 48 - Definição do Componente “Artigo Plástico” no Software .....	60
Figura 49 - Representação Gráfica das BOMO dos Tipos de Unidades de Expedição “Palete” e “Contentor” .....	60
Figura 50 - BOMO dos Tipos de Unidades de Expedição no Software.....	61
Figura 51 - Definição da Lista de Expedição no Software .....	62

Figura 52 - Representação Gráfica da Unidade de Expedição "Palete para Cliente 1" .....	62
Figura 53 - Definição da Unidade de Expedição "Palete para Cliente 1" no Software.....	63
Figura 54 - Definição do Componente "Encomenda para Construir Palete" da Operação da Unidade de Expedição "Palete para Cliente 1" no Software.....	64
Figura 55 - Definição do Componente "Palete para Contentor Pronto a Expedir" da Operação da Unidade de Expedição "Contentor para Cliente 1" no Software .....	65
Figura 56 - Representação Gráfica dos Componentes na Operação "Montar e Plastificar Palete" da Unidade de Expedição "Palete para Cliente 1" .....	65
Figura 57 - Representação Gráfica das BOMO das Unidades de Expedição "Palete para Cliente 1" e "Contentor para Cliente 1" .....	66
Figura 58 - BOMO das Unidades de Expedição no Software.....	66
Figura 59 - Lançamentos Previstos Devolvidos pelo Software.....	68
Figura 60 - Gráfico de Necessidades de Capacidade Diárias Devolvido pelo Software .....	69
Figura 61 - Lançamentos Previstos Devolvidos pelo Software.....	70
Figura 62 - Gráfico de Necessidades de Capacidade Diárias Devolvido pelo Software .....	70
Figura 63 - Trabalhos da Encomenda 1 Gerados pelo Software .....	72
Figura 64 - Trabalhos das Unidades de Expedição Gerados pelo Software.....	72
Figura 65 - Terminal do Software a Sugerir o Início de um Trabalho de Embalagem.....	74
Figura 66 - Terminal do Software a Sugerir o Fim de um Trabalho de Embalagem.....	74

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplos da Definição de Habilidades .....	14
Tabela 2 - Exemplos da Definição de Competências .....	14
Tabela 3 - Exemplos da Definição de Tipos de Operação Produtivos .....	15
Tabela 4 - Exemplos da Definição de Artigos .....	16
Tabela 5 - Exemplos da Definição de Operação de Embalagem de Artigo .....	18
Tabela 6 - Exemplos da Definição de Componente da Operação de Embalagem de Artigo.....	20
Tabela 7 - Exemplo da Definição do Próprio Artigo a Embalar como Componente da Operação de Embalagem de Artigo .....	21
Tabela 8 - Exemplo da Definição de Precedência da Operação de Embalagem de Artigo .....	22
Tabela 9 - Exemplo da Definição de uma Encomenda .....	24
Tabela 10 - Exemplo da Definição de Embalagem Standard .....	27
Tabela 11 - Exemplo da Definição de Tipos de Unidades de Expedição .....	32
Tabela 12 - Exemplos da Definição de Operações de Expedição .....	34
Tabela 13 - Exemplos da Definição de Componentes das Operações de Expedição de Tipos de Unidades de Expedição.....	35
Tabela 14 - Exemplo da Definição de Precedências de Operações de Tipo de Unidade de Expedição .	36
Tabela 15 - Exemplo da Definição de Listas de Expedição .....	38
Tabela 16 - Exemplo da Definição de Unidades de Expedição .....	39
Tabela 17 - Exemplo da Definição de Encomenda Componente das Operações de Expedição de Unidades de Expedição.....	41
Tabela 18 - Exemplo da Definição de Unidade de Expedição Componente das Operações de Expedição de Unidades de Expedição.....	42
Tabela 19 - Habilidades criadas no Caso de Estudo .....	49
Tabela 20 - Competências criadas no Caso de Estudo.....	49
Tabela 21 - Tipos de Operação Produtivos no Caso de Estudo .....	49
Tabela 22 - Artigos no Caso de Estudo.....	50
Tabela 23 - Operações de Embalagem dos Artigos no Caso de Estudo .....	51
Tabela 24 – Componentes das Operações de Embalagem dos Artigos no Caso de Estudo.....	52
Tabela 25 - Encomendas no Caso de Estudo.....	54
Tabela 26 - Embalagem Standard no Caso de Estudo .....	56

Tabela 27 - Tipos de Unidades de Expedição no Caso de Estudo .....	57
Tabela 28 - Operações dos Tipos de Unidades de Expedição no Caso de Estudo .....	58
Tabela 29 - Componentes das Operações dos Tipos de Unidades de Expedição no Caso de Estudo ...	59
Tabela 30 - Lista de Expedição no Caso de Estudo .....	61
Tabela 31 - Unidades de Expedição no Caso de Estudo .....	62
Tabela 32 - Encomendas Componentes das Operações das Unidades de Expedição no Caso de Estudo .....	63
Tabela 33 - Unidades de Expedição Componentes das Operações de Expedição das Unidades de Expedição no Caso de Estudo .....	64

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS**

APS – *Advanced Programming System*

BOMO – *Bill of Materials and Operations* (Lista de Materiais e Operações)

BOM – *Bill of Materials* (Lista de Materiais)

CPS – *Cyber-Physical Systems*

CRP – *Capacity Requirement Planning* (Planeamento de Necessidades de Capacidade)

GCE – Gestão da Carteira de Encomendas

GIA – Gestão de Informação de Artigos

IoT – *Internet of Things*

MRP – *Material Requirement Planning* (Planeamento de Necessidades de Materiais)

OGR – Organização e Gestão de Recursos

PCP – Planeamento e Controlo da Produção

PMP – Programação e Monitorização da Produção

SMS – *Smart Manufacturing System*

SPCP – Sistema de Planeamento e Controlo da Produção

## **1. INTRODUÇÃO**

O presente projeto de dissertação, para conclusão do mestrado em Engenharia e Gestão de Operações – ramo de Gestão Industrial – da Universidade do Minho, foi realizado em contexto de investigação no âmbito do projeto: Continental Factory of the Future - Subprojeto 4 - desenvolvimento de um *Smart Manufacturing System*.

Um *Smart Manufacturing System* (SMS) é um sistema informático de planeamento e controlo da produção, que cumpre com os requisitos da Indústria 4.0. O objetivo central desta dissertação prende-se com a apresentação de modelos para a representação das operações de embalagem e expedição. Nesse sentido, desenvolveu-se uma solução que foi integrada no SMS desenvolvido para o projeto e aplicada a casos de estudo do projeto, a indústria automóvel eletrónica – produção de antenas – que demonstre as principais funcionalidades dos modelos para a representação de operações de embalagem e expedição.

### **1.1. Enquadramento**

Os processos produtivos evoluíram de uma forma significativa ao longo dos séculos, desde o fabrico manual até a mecanização, a produção em massa e, atualmente, a era da Indústria 4.0 (Sharma et al., 2020). A produção tradicional dependia fortemente do trabalho humano e de maquinaria básica, limitando a eficiência, a precisão e a flexibilidade. Com o aparecimento da automação, robótica, análise de dados e tecnologias interconectadas marcou-se o início da quarta revolução Industrial (Xu et al., 2018). Esta mudança de paradigma teve como objetivo abordar as limitações da produção convencional, aproveitando o poder das tecnologias digitais, através da análise de dados e da automação inteligente (Zhou et al., 2015). Estas limitações surgem com a evolução do mercado, onde conceitos como a customização e diversidade têm de ser incorporados de forma eficiente pelas organizações, de modo a satisfazer as necessidades dos clientes (Zawadzki & Zywicki, 2016).

As evoluções tecnológicas da Indústria 4.0 surgem como resposta a novos desafios de produção, no qual se considera fundamental satisfazer as rápidas mudanças de necessidades dos clientes, mantendo os benefícios da produção em massa: elevada qualidade dos produtos, tempo de ciclo e custo de produção reduzidos (Da Silveira et al., 2001). Para isso, as organizações devem ser capazes de implementar sistemas de produção flexíveis e reconfiguráveis, que estejam preparados para incorporar rapidamente as alterações dos produtos e dos processos produtivos (Zawadzki et al., 2016). Adicionalmente, torna-se

indispensável a necessidade dos sistemas de planeamento e controlo da produção oferecerem também estas características para conseguirem gerir a produção deste novo tipo de organização. Desta forma, associado ao conceito de *Smart Factories* - a conectividade entre as entidades virtuais e físicas no espaço fabril, conseguida com a ajuda de Tecnologias de Informação (Kagermann et al., 2022) - surge o conceito de *Smart Manufacturing Systems*, um sistema de planeamento e controlo da produção capaz de gerir todas as entidades e tecnologias que surgem com as *Smart Factories* (Zheng et al., 2018).

Existem inúmeras arquiteturas para um sistema de planeamento e controlo da produção. O *Smart Manufacturing System* desenvolvido considera uma arquitetura com as seguintes áreas funcionais:

- Gestão de Informação de Artigos: área funcional onde estão contidas e são geridas todas as informações relativas aos artigos;
- Planeamento e Controlo da Produção: área funcional de planeamento e controlo da produção a médio prazo onde estão alocados algoritmos de planeamento de requisitos de materiais e de capacidade;
- Programação e Monitorização da Produção: área funcional responsável pela programação e monitorização da produção a curto prazo com algoritmos de cálculo do número de *Kanbans*, de alocação de trabalhos a postos e sincronização de atividades no chão de fábrica;
- Organização e Gestão de Recursos: área funcional responsável pela representação e caracterização de todos os recursos da organização;
- Gestão da Carteira de Encomendas: área funcional com funções de registo de encomendas, expedição, embalagem e registo de unidades de expedição;

No âmbito do projeto: Continental Factory of the Future - Subprojeto 4 - desenvolvimento de um *Smart Manufacturing System*, criou-se a área funcional Gestão da Carteira de Encomenda. É nesta área funcional que estão englobados os modelos de representação de operações de embalagem e expedição alvos de estudo no projeto de dissertação desenvolvido. O desenvolvimento destes modelos surge como necessidade de resposta à diversidade de soluções existentes para a realização da embalagem e expedição de artigos por parte de uma organização. Através da utilização dos modelos desenvolvidos é possível organizar, estruturar e conceber informação de forma eficiente para o utilizador que será fornecida a outras áreas funcionais do SMS. Estas informações são apresentadas ao utilizador na forma de *Bill of Materials and Operations* (BOMO) associadas não só aos processos de embalagem e expedição, mas também às entidades raiz das BOMO. Assim, surgem os conceitos de BOMO de embalagem do

artigo (origem no artigo), BOMO da encomenda (origem na encomenda), BOMO do tipo de unidade de expedição (origem no tipo de unidade de expedição) e BOMO da unidade de expedição (origem na unidade de expedição). Estes conceitos são apresentados e explorados no decorrer da presente dissertação e são adaptados aos diferentes propósitos das operações de embalagem e expedição, com vista a responder à necessidade de lidar de forma eficiente com a diversidade existente nestes processos. As operações de embalagem remetem para a preparação (ou separação) de artigos para o seu transporte através da sua inserção em materiais de proteção, estas atividades são obrigatórias para os modelos incluídos no SMS desenvolvido. As operações de expedição preparam e organizam artigos embalados para o seu transporte, o que pode não acontecer, uma vez que o cliente pode ir diretamente à organização levantar uma encomenda.

## **1.2. Objetivos**

O principal objetivo do presente projeto de dissertação diz respeito à apresentação dos modelos de representação de operações de embalagem e expedição propostos para o SMS desenvolvido.

Objetivos específicos:

1. Demonstrar a importância de representar operações de embalagem e expedição num *Smart Manufacturing System*;
2. Apresentar modelos capazes de lidar com a diversidade de soluções existentes nos processos de embalagem e expedição;
3. Explicar os modelos desenvolvidos para representar operações de embalagem e operações de expedição num *Smart Manufacturing System*, bem como apresentar as representações gráficas e respetivas relações de entidades constituintes dos modelos;
4. Apresentar a implementação dos modelos no *software* desenvolvido com recurso a um caso de estudo.

## **1.3. Metodologia**

A realização deste projeto seguiu uma metodologia Investigação-Ação dividida em três fases.

Inicialmente, foi realizada revisão da literatura sobre as temáticas mais relevantes no âmbito do projeto para o desenvolvimento do *Smart Manufacturing System* (SMS), e efetuou-se o planeamento inicial do trabalho a realizar.

Seguidamente, procedeu-se à conceção dos modelos e implementação no *software*.

Numa fase final, testou-se o modelo desenvolvido com diferentes casos de estudo.

#### **1.4. Estrutura**

A dissertação encontra-se dividida em seis capítulos.

O presente capítulo apresenta um breve enquadramento ao tema da dissertação, os objetivos, a metodologia da dissertação e a sua estrutura.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os principais temas e conceitos subjacentes ao sistema, que serão abordados ao longo deste projeto, indústria 4.0, sistemas de planeamento e controlo da produção, *Smart Manufacturing Systems* e processos de embalagem e expedição.

Os capítulos três e quatro apresentam os modelos para representação das operações de embalagem e expedição, respetivamente. Nestes capítulos são apresentados alguns exemplos que demonstram a diversidade de comportamentos que caracterizam estas operações e é definido o conjunto de características propostas no modelo para a sua representação. A representação gráfica proposta para cada elemento do modelo é apresentada.

O quinto capítulo descreve um caso de estudo e respetiva modelação no *software* desenvolvido no âmbito do projeto para apresentação da embalagem e expedição de antenas. São também apresentados alguns resultados em chão de fábrica do exemplo.

O último capítulo realça as principais conclusões do trabalho e as propostas de trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo, apresenta-se uma breve revisão bibliográfica acerca dos temas abordados na dissertação, de modo a contextualizar a pertinência dos mesmos, bem como suportar o estudo realizado ao longo da dissertação. Desta forma, o capítulo encontra-se dividido em quatro secções. Na primeira secção são apresentados conceitos da Indústria 4.0. Na segunda secção são apresentados conceitos dos sistemas de planeamento e controlo da produção. Na terceira secção são apresentados conceitos dos *Smart Manufacturing Systems*. Por último, são apresentados conceitos das operações de embalagem e expedição.

### 2.1. Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é um termo utilizado para mencionar a quarta revolução industrial. A quarta revolução industrial representa a integração de tecnologias de digitalização nos processos industriais e é caracterizada pela convergência de sistemas ciber-físicos (*Cyber-Physical Systems - CPS*) com a *Internet of Things (IoT)* e *cloud computing* (Xu et al., 2018). Esta transformação traz diferenças significativas nas operações industriais com grande impacto na sua eficiência, produtividade e inovação (Sony et al., 2021).

Um dos pilares da Indústria 4.0 é a integração de sistemas físicos com algoritmos computacionais de recolha de dados, análise de dados, controlo, monitorização e tomada de decisão (Zheng et al., 2018). O correto funcionamento desta integração garante a disponibilização de informação tratada a tempo-real de forma a auxiliar a tomada de decisão, quando a mesma não for automatizada, e adaptar mais rapidamente os processos produtivos às condições do estado atual em que se encontra a organização (Chen et al., 2017).

A integração destas tecnologias no espaço fabril representa a definição da indústria moderna, as *Smart Factories*. Uma *Smart Factory* toma partido destas tecnologias para criar sistemas de produção altamente automatizados, eficiente e flexíveis (Resman et al., 2020). No contexto da Indústria 4.0, a integração destas tecnologias:

- Aumenta a eficiência: a monitorização a tempo-real de processos permite minimizar o tempo inativo e reduzir o desperdício de recursos;
- Melhora a agilidade: a monitorização e conectividade dos processos traduz-se numa rápida resposta à procura e requisitos da produção;

- Aumento da qualidade: a monitorização da qualidade e sensorização de equipamentos melhora a qualidade dos produtos;
- Redução de custos: o fluxo produtivo controlado através de algoritmos de cálculo do número de *kanbans* e alocação de trabalhos a postos garante uma redução de custos;

Uma *Smart Factory* representa o futuro da indústria e revoluciona muitos dos processos de produção. No entanto, altamente conectado ao conceito de *Smart Factory* tem de existir um sistema de planeamento e controlo da produção que cumpra os requisitos da Indústria 4.0 e seja capaz de lidar com estas tecnologias, um *Smart Manufacturing System* (Phuyal et al., 2020).

## **2.2. Sistemas de Planeamento e Controlo da Produção**

Um sistema de planeamento e controlo da produção (SPCP) tem como principal função criar um processo produtivo organizado, responsivo e eficiente capaz de entregar ao cliente produtos com elevada qualidade num intervalo de tempo aceitável enquanto mantém uma relação custo-benefício favorável e garante adaptabilidade do ambiente organizacional às mudanças de mercado (Wiendahl et al., 2005).

Assim como aconteceu com a indústria, a evolução dos sistemas de planeamento e controlo da produção passou por diversos momentos cruciais. De acordo com Jacobs et al., 2007:

- 1950-1960: as origens dos sistemas de planeamento e controlo da produção, os computadores realizavam cálculos de planeamento da produção e gestão de inventários e eram únicos, elaborados especificamente para cada organização e com muitas limitações de funcionalidades;
- 1970: surgem os primeiros sistemas MRP – *Material Requirement Planning* (Planeamento de Necessidades de Materiais), focavam-se na gestão de materiais com base no planeamento da produção, utilizavam conceitos como a BOM – *Bill of Materials* (Lista de Materiais), inventários e *lead time* para calcular as necessidades de materiais necessárias em cada período temporal;
- 1980: surgem os primeiros sistemas que aliam o MRP ao cálculo CRP – *Capacity Requirement Planning* (Planeamento de Necessidades de Capacidade), estes sistemas permitiram um grande salto evolutivo visto conseguirem fornecer informações das duas grandes áreas do planeamento e controlo da produção a médio-prazo: necessidades de materiais e necessidades de capacidade;
- 1990-2000: surgem os sistemas APS – *Advanced Programming Systems*, estes *softwares* introduzem no mercado algoritmos de programação da produção a curto-prazo, fornecendo informações aos utilizadores do planeamento de trabalhos para cada posto de trabalho

- 2010-atualidade: com o reconhecimento da quarta revolução industrial as entidades responsáveis pelo planeamento e controlo da produção têm de evoluir e dar resposta aos requisitos da Indústria 4.0, esta evolução utiliza tecnologias previamente explicadas como sistemas ciber-físicos, IoT e *Cloud computing* para evoluir e criar ambientes produtivos inteligentes e conectados capazes de se ajustar a tempo-real a mudanças que possam surgir, é criado o conceito de *Smart Manufacturing Systems*.

Um sistema de planeamento e controlo da produção tradicional é composto por áreas funcionais capazes de integrar todas as funções que foram surgindo ao longo da sua história (Vollmann et al., 2011). Desta forma, uma potencial arquitetura para um sistema de planeamento e controlo da produção encontra-se representada na Figura 1.

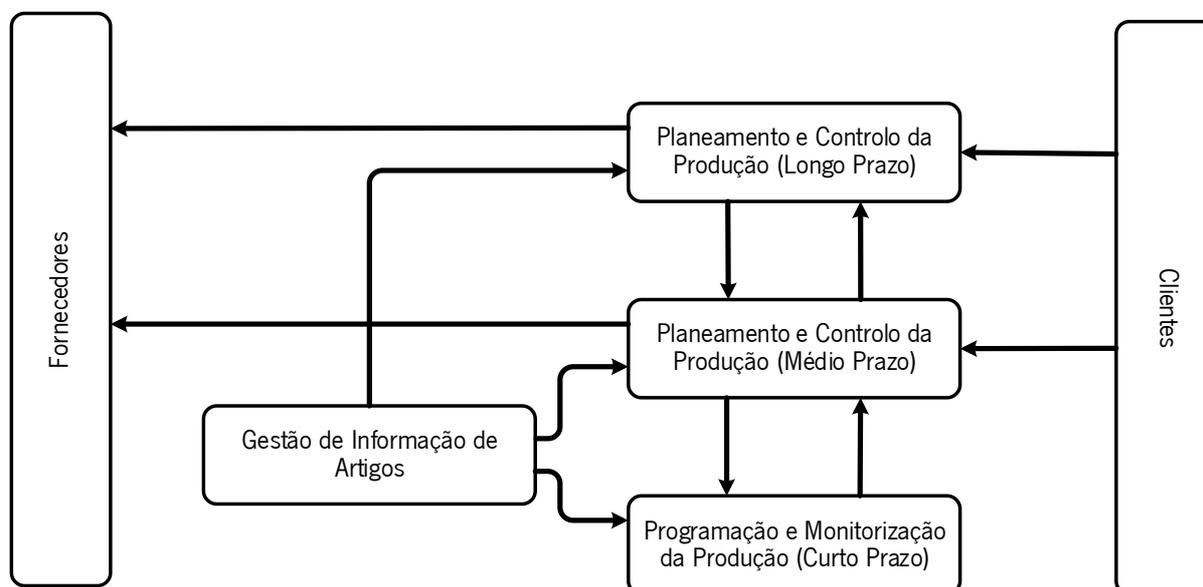


Figura 1 - Áreas Funcionais de um SPCP

Um SPCP encontra-se dividido em três horizontes temporais: longo prazo, médio prazo e curto prazo (Vollmann et al., 2011). No planeamento a longo prazo, são definidas as estratégias gerais de produção, como a identificação de instalações, pessoas e equipamentos necessários para satisfazer as necessidades futuras do mercado. No médio prazo, é realizado o planeamento da capacidade e das necessidades de materiais para satisfazer a procura do cliente (Vollmann et al., 2011). No curto prazo (também conhecido por Programação e Monitorização da Produção) todos os trabalhos e atividades devem ser programados e sequenciados para todas as entidades do sistema produtivo. Por último, existe a área funcional de Gestão de Informação de Artigos (GIA), esta área representa uma base de informação do sistema que integra e gere todas as informações que definem um produto. A GIA é considerada a

área funcional que integra informação para diferentes áreas funcionais (Kim et al., 2001) e garante que a informação esteja disponível para a pessoa certa, no momento certo.

Relacionando a evolução dos SPCP com a arquitetura clássica de um SPCP é na área funcional de Planeamento e Controlo da Produção a médio-prazo que se encontram os algoritmos de MRP e CRP, na área funcional de Programação e Monitorização da Produção encontram-se os algoritmos associados aos sistemas APS (Wiendahl et al., 2005).

### **2.3. *Smart Manufacturing Systems***

Um *Smart Manufacturing System* é um SPCP que cumpre com os requisitos da Indústria 4.0 (Phuyal et al., 2020). Da Indústria 4.0 resultam as *Smart Factories* cujo controlo depende de uma entidade capaz de gerir e sincronizar todas as atividades industriais de uma organização (Chen et al., 2017). No entanto, não chega caracterizar a Indústria 4.0 para a caracterizar um SMS, estes têm também de cumprir os requisitos de um SPCP. Desta forma, surgem os requisitos de um SMS:

- Diversidade de Artigos e Customização em Massa: Produzir artigos altamente diversificados e/ou personalizados com a mesma eficiência de ambientes de produção em massa;
- Conectividade: Conectar todos os sistemas e recursos da organização para que toda a informação necessária para a tomada de decisão esteja atualizada e reflita as condições do sistema produtivo;
- Automação e Integração: Automatizar e sincronizar todas as atividades de todos os recursos da organização com a menor intervenção possível e de maneira fiável;
- Agilidade: Habilidade de adaptar a produção, a tempo-real, a alterações de artigos através da configuração automática de equipamentos, fluxos de materiais com a mínima intervenção possível;
- Flexibilidade e Adaptabilidade: Habilidade de se adaptar novos produtos, equipamentos e processos organizacionais;
- Proatividade: Habilidade de prever o futuro para que se possa antecipar os problemas antes dos mesmos aparecerem;
- Transparência: Fornecer informações a tempo-real customizáveis, alertas a tempo-real e notificações, bem como, monitorização a tempo-real do processo produtivo.

Para dar resposta a estes requisitos uma potencial arquitetura básica de um SMS acrescenta à arquitetura tradicional de um SPCP a área funcional de Organização e Gestão de Recursos responsável

pela identificação e caracterização de todas as entidades envolvidas no processo produtivo - Figura 2, (Qu et al., 2019). Adicionalmente, as restantes áreas funcionais evoluem de modo a conseguirem responder às necessidades destes requisitos (Xu et al., 2018).

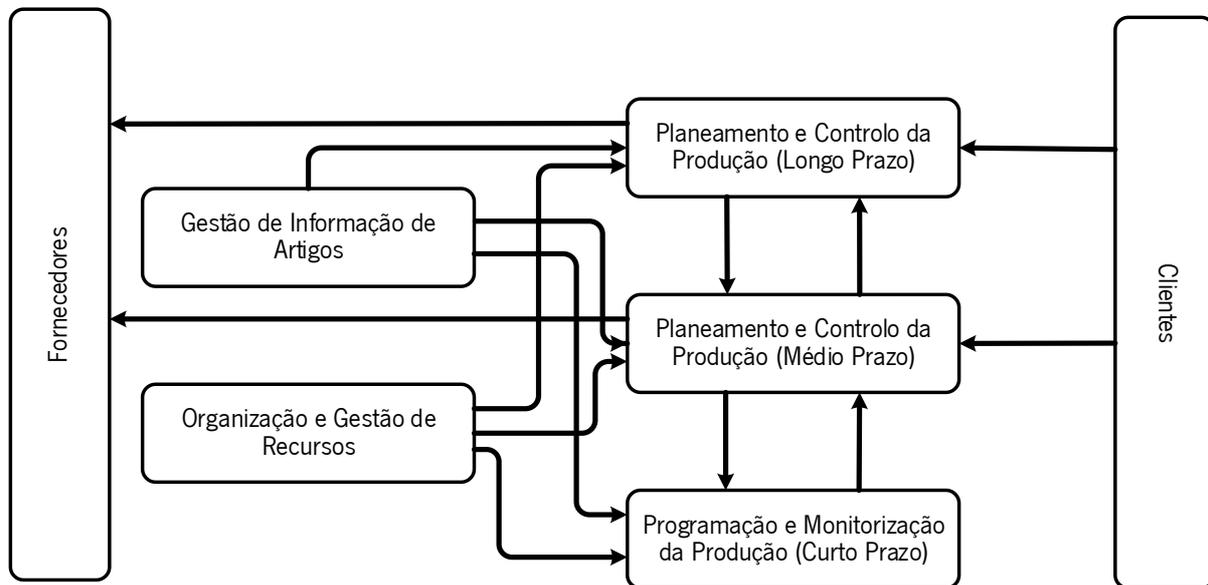


Figura 2 - Principais Áreas Funcionais de um SMS

Para dar resposta às necessidades do mercado as áreas funcionais apresentadas na Figura 2 não se apresentam estáticas. O rápido desenvolvimento aliado aos requisitos dos SMS permite a estes sistemas crescer e adaptar não só ao mercado em que se inserem como também às necessidades de cada organização e à customização de cada utilizador do sistema da mesma organização (Volling et al., 2013).

#### 2.4. Operações de Embalagem e Expedição

Usualmente, as operações produtivas pretendem representar a produção completa de um artigo até à sua entrada em armazém. O processo de embalagem surge quando é colocada uma encomenda por parte de um cliente e é necessário definir a estrutura de operações de embalagem daquele artigo para aquela encomenda. No que diz respeito, estes processos necessitam de estruturas que definam como vão ser empacotadas uma ou mais encomendas para serem entregues ao cliente (Lawson et al., 2018). Esta definição não invalida diferentes processos onde, por exemplo, um artigo possa ser armazenado já embalado e, neste caso, a embalagem primária pertence à BOMO produtiva do artigo (diferente de BOMO associadas à embalagem ou expedição). No entanto, desde o armazém até à chegada (ou levantamento) ao cliente os processos de embalagem têm de ser executados, mesmo que estes não representem fisicamente a conceção de uma embalagem e envio dos artigos embalados para o cliente. Podem significar, por exemplo, a separação de artigos no armazém para envio ao cliente.

Conseguir lidar de forma eficiente com a diversidade de processos de embalagem e expedição é preponderante no valor para o cliente devido aos diferentes formatos de abastecimento existentes, um abastecimento direto de um artigo à linha de produção não apresenta as mesmas características que um artigo que vai sofrer *cross-docking* num centro logístico antes da sua entrega ao cliente final (Lin & Shaw, 1998). No entanto, ambos os exemplos apresentados têm de ser representados e geridos num SMS de forma eficiente e com a menor intervenção possível do utilizador. Desta forma, comprova-se a necessidade de gestão destas atividades de embalagem e expedição que, de acordo com Hellström & Saghir, 2007, os seus requisitos são:

- **Materiais:** os materiais associados à embalagem e expedição podem diferir dos materiais associados à produção de um artigo, como tal é necessário que os mesmos existam atempadamente e estejam identificados pela organização;
- **Planeamento e Execução:** estes tipos de operações podem ocorrer após o término dos processos produtivos dos artigos, sendo necessário planeá-los e controlá-los;
- **Dependências e Integração:** a montante os processos de embalagem e expedição dependem do processo produtivo para a produção do artigo a enviar para o cliente, a jusante, podem depender de entidades externas para a integração de parceiros logísticos na realização de entregas dos artigos ao cliente;
- **Qualidade:** a qualidade das operações de embalagem e expedição pode divergir das operações produtivas;
- **Documentação:** a quantidade e o tipo de documentos associado à expedição de artigos diverge da produção de artigos;
- **Monitorização:** a monitorização deste tipo de operações envolve controlo interno das operações que pode ser semelhante a outros processos produtivos da organização, os processos de expedição podem envolver monitorização externa.

O cumprimento destes requisitos requer uma evolução de um SMS e a capacidade de integrar estes tipos de operação nos seus modelos e algoritmos. No entanto, é também necessário diferenciar as operações de embalagem das operações de expedição (Hellström & Saghir, 2007). Apesar das diferenças que possam surgir, a coordenação entre as operações de embalagem e expedição é crítica para garantir não só a proteção dos artigos encomendados, mas também que a entrega ao cliente aconteça atempadamente e de acordo com as necessidades do mesmo (Lawson et al., 2018).

### **Operações de Embalagem:**

- Propósito: preparação de artigos para o transporte, usualmente através da sua inserção em materiais de proteção;
- Atividades: seleção e embalagem dos artigos;
- Foco: apresentação, preservação e proteção dos artigos;
- Localização: maioritariamente são operações que ocorrem na organização que produz o artigo;
- Objetivo: garantir a proteção e identificação de artigos prontos para sofrerem expedição.

Uma operação de embalagem pode ser associada a uma encomenda específica de um artigo por parte de um cliente, ou ser sempre a mesma para todos os clientes que encomendem aquele artigo. Por exemplo, uma operação de separação de artigos em armazém para satisfazer uma encomenda de um cliente pode ser uma operação de embalagem desse artigo. Por outro lado, uma operação de embalagem de um artigo pode ser a sua colocação numa caixa pronta para a sua expedição para o cliente ou levantamento para o cliente.

### **Operações de Expedição:**

- Propósito: preparação e organização de artigos embalados para o transporte;
- Atividades: planeamento de atividades logísticas, preparação de documentação e monitorização do transporte;
- Foco: controlo das atividades de organização do transporte;
- Localização: operações que ocorrem na organização que produz o artigo e externas;
- Objetivo: garantir a entrega atempada, eficiente, segura e no formato pretendido pelo cliente dos artigos embalados.

Uma operação de expedição é associada a uma unidade de uma lista de expedição que pode incorporar uma mais encomendas para o mesmo cliente. Por exemplo, a construção de uma palete com caixas pode representar uma unidade de expedição (palete) com uma operação de expedição que é a sua construção.

Uma lista de expedição é um documento que descreve todos os componentes e respetivos detalhes das unidades de expedição que a compõe. Uma lista de expedição pode, por exemplo, ser composta pela unidade de expedição “contentor” que terá uma lista de materiais de expedição composta por outras unidades de expedição que podem ser, por exemplo, paletes.

### 3. MODELO PARA REPRESENTAÇÃO DE OPERAÇÕES DE EMBALAGEM

O objetivo deste capítulo é apresentar o modelo para a representação de operações de embalagem desenvolvido no âmbito do projeto ContiFoF e implementado no *Smart Manufacturing System*. Este capítulo encontra-se dividido em oito secções.

A primeira secção define o âmbito do modelo. A segunda secção apresenta o conceito de tipos de operação e respetiva informação relevante para a sua caracterização no modelo. A terceira secção apresenta as propriedades propostas no modelo para representar o conceito de artigo. A quarta secção apresenta as propriedades propostas no modelo para representar a BOMO de embalagem do artigo e respetivos conceitos que a compõe. A quinta secção apresenta as propriedades propostas no modelo para representar as encomendas. A sexta secção apresenta as propriedades propostas no modelo para representar BOMO da encomenda. A sétima secção define as propriedades propostas no modelo para representar a embalagem standard. Por último, na oitava secção encontram-se as considerações finais do modelo.

#### 3.1. Âmbito do Modelo

O objetivo desta secção é definir o âmbito do modelo para a representação de operações de embalagem através da definição das fronteiras do modelo num SPCP e explicar o seu funcionamento. Assim sendo, é necessário enquadrar o modelo nas áreas funcionais de um SPCP, definir os requisitos de informação das áreas funcionais para o modelo e definir que informação é disponibilizada pelo modelo para as áreas funcionais.

O modelo apresentado neste capítulo enquadra-se na área funcional de Gestão da Carteira de Encomendas (GCE). Na área GCE é definida a informação sobre os processos de embalagem dos artigos e é esta mesma informação que é herdada para a estrutura das encomendas. Estas estruturas de informação são BOMO associadas primeiramente a artigos e depois são herdadas para as encomendas (Figura 3).

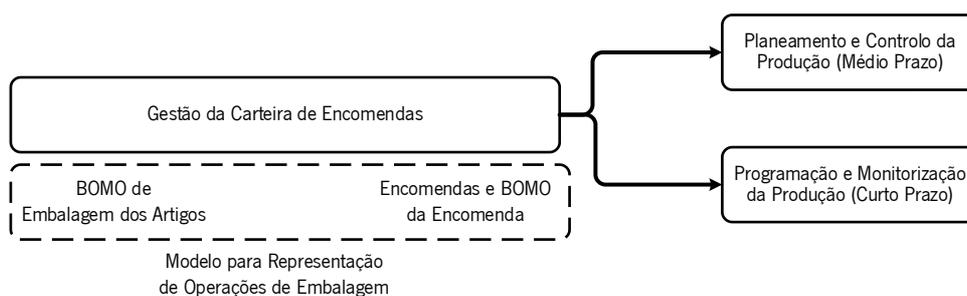


Figura 3 - Enquadramento do Modelo de Embalagem no SMS Desenvolvido

O objetivo do modelo de representação de operações de embalagem é organizar informação sobre os processos de embalagem e gerar estruturas de informação que possam ser disponibilizadas às áreas funcionais PCP e PMP. Este modelo não existe de forma isolada e, como tal, requer da área funcional GIA elementos que integram conceitos desenvolvidos pelo modelo.

O funcionamento do modelo requer, primeiramente e obrigatoriamente, a definição de um conceito de embalagem standard que será explorado neste capítulo, mas que, resumidamente, é uma operação de embalagem. De seguida, requer ao utilizador a definição da BOMO de embalagem associada a cada artigo, não sendo esta obrigatória.

O modelo, quando existe uma encomenda de um artigo, procura a BOMO de embalagem desse artigo e herda para a BOMO da encomenda a BOMO de embalagem do artigo encomendado. Quando a BOMO de embalagem do artigo não existir é herdada para a BOMO da encomenda a embalagem standard.

Através do funcionamento do modelo é possível responder à diversidade de processos de embalagem existentes de forma eficiente visto que qualquer processo de embalagem pode ser organizado numa estrutura BOMO e estas estruturas estão primeiramente ligadas aos artigos significando que todos os artigos serão embalados da mesma maneira. No entanto, com a herança da BOMO de embalagem do artigo para a BOMO da encomenda o utilizador do modelo pode realizar alterações à BOMO da encomenda sem alterar a estrutura base do artigo, demonstrando a facilidade e eficiência de utilização do modelo para responder às necessidades destes processos e eventuais exceções à regra que possam ocorrer.

De seguida, são apresentados os principais conceitos do modelo e respetivas informações necessárias para a sua caracterização.

### **3.2. Tipo de Operação**

O Tipo de Operação é um conceito que permite classificar operações. Os tipos de operação são divididos em classes dentro da área funcional GIA (no modelo implementado para esta área funcional no SMS desenvolvido): Paragem sem Assistência, Assistência, Paragem com Assistência, Setup e Produtivo. No modelo serão apresentados com maior detalhe os tipos de operação produtivos visto serem os únicos capazes de integrar as operações de embalagem.

Todos os tipos de operação são definidos através dos elementos: Habilidade e Competência. No entanto, dependendo da classe do tipo de operação, existem mais e diferentes características e conceitos necessários para definir cada tipo de operação existente no sistema.

### 3.2.1. Habilidade

A Habilidade é um conceito e característica dos tipos de operação e dos postos de trabalho. A habilidade permite interseção a informação de um tipo de operação com um posto de trabalho para que o algoritmo de alocação de trabalhos da área funcional PMP saiba que posto é capaz de realizar que operação e, desta forma, conseguir alocar trabalhos. No âmbito das operações de embalagem esta informação é importante para identificar a habilidade requerida para executar cada operação de embalagem.

Na Tabela 1 são apresentados alguns exemplos da definição de habilidades:

*Tabela 1 - Exemplos da Definição de Habilidades*

<b>Habilidades</b>	
<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
HAB1	Expedir
HAB2	Embalar
HAB3	Plastificar
HAB4	Colocar Cintas

### 3.2.2. Competência

A Competência é um conceito e característica dos tipos de operação e dos postos de trabalho. A competência enquanto característica dos postos de trabalho permite agrupar postos de trabalho para que o cálculo do Planeamento de Necessidades de Capacidade da área funcional PCP consiga fornecer informação sobre a capacidade instalada de cada competência na organização por cada período temporal. A competência enquanto característica dos tipos de operação permite ao cálculo do Planeamento de Necessidades de Capacidade fornecer as necessidades de capacidade de cada competência que a organização vai necessitar para cada período temporal. No âmbito das operações de embalagem esta informação é importante para identificar a competência necessária para executar cada operação.

Na Tabela 2 são apresentados alguns exemplos da definição de competências:

*Tabela 2 - Exemplos da Definição de Competências*

<b>Competências</b>	
<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
CMPT1	Expedir
CMPT2	Embalar
CMPT3	Plastificar
CMPT4	Cintar

### 3.2.3. Tipos de Operação Produtivos

Um Tipo de Operação da classe Produtiva representa um conjunto de operações que partilhem características técnicas semelhantes e acrescentam valor ao produto. A realização destas operações origina a produção ou embalagem de um artigo.

A informação relevante para a caracterização de um tipo de operação no modelo é:

- Código;
- Descrição;
- Código da Competência: Competência associada a este tipo de operação produtivo;
- Código do *Setup*: *Setup* que deve estar configurado no posto para realizar uma operação deste tipo de operação;
- Código da Habilidade: Habilidade necessária para a realização de operações deste tipo de operação produtivo, apenas postos com esta habilidade podem executar operações deste tipo de operação.

Na Tabela 3 são exemplificados alguns tipos de operação produtivos e respetivas características:

Tabela 3 - Exemplos da Definição de Tipos de Operação Produtivos

Tipos de Operação Produtivas				
Código	Descrição	Competência	Setup	Habilidade
TO1	Expedir	CMPT1	STP1	HAB1
TO2	Embalar	CMPT2	STP2	HAB2
TO3	Plastificar	CMPT3	N/A	HAB3

A representação gráfica do tipo de operação é apresentada e exemplificada na Figura 4 e consiste num retângulo verde com os cantos cortados onde se insere o código do tipo de operação. Ligado ao retângulo com o código através das linhas verdes tracejadas encontra-se um retângulo com as principais características que definem um tipo de operação, neste caso, produtivo.

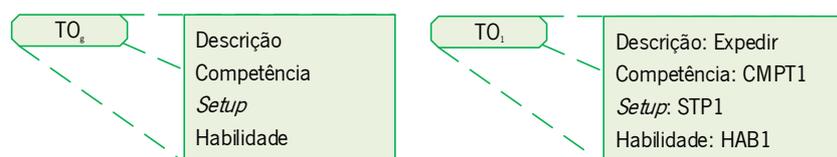


Figura 4 - Representação Gráfica de um Tipo de Operação Produtiva e Exemplo

O tipo de operação 1 é denominado “Expedir” e é caracterizado por utilizar uma competência com o código “CMPT1”, necessitar de um *setup* com código “STP1” para a realização das operações deste tipo

de operação no posto de trabalho ao qual foi alocado o trabalho. O posto de trabalho ao qual foi alocado o trabalho de uma operação deste tipo de operação necessita ter uma habilidade com o código “HAB1”.

### 3.3. Artigos

O conceito Artigo representa produtos utilizados no processo produtivo. A sua caracterização é composta pelas informações da sua natureza física ou propriedades necessárias para outras áreas funcionais de um SPCP. Estas características e conceitos que caracterizam um artigo influenciam o seu tratamento num SPCP.

A informação relevante para a caracterização de um artigo no modelo é:

- Código;
- Descrição;
- Código da Unidade de Quantidade: Unidade de quantidade em que o artigo é gerido no sistema;
- *Lead Time*: Prazo de entrega do artigo que será utilizado nas ferramentas para Planeamento e Controlo da Produção a médio-prazo, nomeadamente, no cálculo do Planeamento de Necessidades de Materiais (MRP) e determina quando as ordens de produção e as ordens de compra devem ser lançadas;

Na Tabela 4 são exemplificados alguns artigos e respetivas características:

Tabela 4 - Exemplos da Definição de Artigos

Artigos			
Código	Descrição	Unidade de Quantidade	Lead Time (Dias)
ARTG1	Antena	UN	5
ARTG2	Caixa	UN	10
ARTG3	Palete	UN	10
ARTG4	Contentor	UN	10

A representação gráfica do artigo consiste num retângulo azul onde se encontra o código do artigo. Conectado ao retângulo através das linhas azuis a tracejado encontram-se as características do artigo (Figura 5):

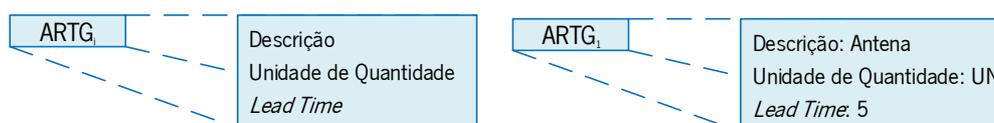


Figura 5 - Representação Gráfica de um Artigo e Exemplo

A título explicativo tome-se como exemplo o artigo “Antena” com código “ARTG1”, este artigo é medido à unidade e tem um *Lead Time* de 5 dias.

### **3.4. BOMO de Embalagem do Artigo**

Uma BOMO é um conceito utilizado para definir uma lista de materiais e operações necessárias para a produção de um artigo. O conceito de BOMO de embalagem do artigo representa o conjunto de materiais e operações para a realização do processo de embalagem do artigo. Este conceito não é obrigatório para o modelo, mas serve para facilitar da utilização do modelo visto que, na grande maioria das vezes, a embalagem é um processo organizado por artigo. O conceito de BOMO de embalagem do artigo no modelo serve para aumentar eficiência do sistema numa utilização normal, visto que a BOMO de embalagem do artigo será herdada para a BOMO da encomenda e é esta última estrutura que será partilhada às áreas funcionais PCP e PMP.

A BOMO de embalagem do artigo presente neste modelo requer, primeiramente, a lista de operações de embalagem do artigo. De seguida, a cada operação de embalagem existe uma lista de materiais necessários para a execução dessa operação. Uma lista de materiais agregada à operação permite ao sistema saber exatamente quando vão ser necessários os componentes e tem como resultado uma execução mais eficiente dos processos de embalagem. Por último, é necessário definir o conceito de precedências para que o sistema consiga ordenar e coordenar a execução das operações de embalagem do artigo.

Nesta secção são apresentados os conceitos de lista de operações de embalagem do artigo, lista de materiais das operações de embalagem dos artigos e precedências das operações de embalagem dos artigos. Após apresentação destes conceitos é apresentada a proposta de representação gráfica de uma BOMO de embalagem do artigo.

#### 3.4.1. Lista de Operações de Embalagem do Artigo

Uma lista de operações de embalagem do artigo representa um conjunto de operações necessárias para o embalamento de um artigo. Uma operação de embalagem é uma atividade do processo produtivo que transforma um artigo. A informação relevante para a caracterização de uma operação de embalagem do artigo no modelo é:

- Código do Artigo: Artigo que vai sofrer a operação de embalagem a definir;
- Código;
- Descrição;

- Código do Tipo de Operação Produtiva: Tipo de Operação associado à Operação, permite identificar algumas características da Operação, devido à sua composição, como: setup, habilidade, competência;
- Código do Tipo de Consumo: Tipo consumo de tempo na Operação – o domínio desta propriedade considera dois valores: P (Proporcional) - define o tempo de operação para uma unidade do lote de embalagem; F (Fixo) - define o tempo de operação para um lote de embalagem;
- Duração: Tempo de execução da Operação;
- Tamanho do Lote de Embalagem: Quantidade de artigos que define a quantidade de controlo das atividades no sistema produtivo, tais como, a quantidade do *kanban* que é atribuído ao posto, a quantidade de registo, transporte e movimentação;

Na Tabela 5 estão exemplificadas operações de embalagem de um artigo e respetivas características:

Tabela 5 - Exemplos da Definição de Operação de Embalagem de Artigo

Operações de Embalagem dos Artigos						
Código do Artigo	Código da Operação	Descrição	Código do Tipo de Operação Produtiva	Código do Tipo de Consumo	Duração	Tamanho do Lote de Embalagem
ARTG1	OPER1	Embalar Antena	TO2	F	1	1
ARTG1	OPER2	Plastificar Caixa	TO3	P	2	1

A representação gráfica da operação de embalagem de um artigo consiste num retângulo azul onde se encontra o código do artigo. Ligado ao retângulo azul do artigo, através de uma linha verde, encontra-se um quadrado verde com os cantos cortados que representa uma operação de embalagem daquele artigo através do código da operação. Acima do canto superior direito do quadrado verde com os cantos cortados com o código da operação coloca-se a descrição da operação. Ligado à operação de embalagem do artigo, através das linhas tracejadas verdes, observa-se o detalhe da operação de embalagem com as características que a definem. A seta tracejada verde que parte da operação de embalagem e aponta para um tipo de operação produtiva indica o tipo de operação produtiva a que pertence a operação de embalagem definida (Figura 6):

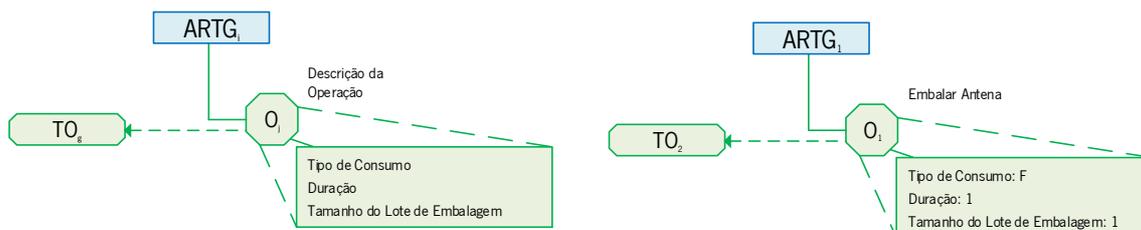


Figura 6 - Representação Gráfica de uma Operação de Embalagem de um Artigo e Exemplo

Neste caso, o artigo “Antena” (com código “ARTG1”) tem uma operação de embalagem denominada “Embalar Antena” e código “O1” que tem um Tipo de Operação Produtivo denominado “Embalar” (com código “TO2”). Esta operação de embalagem apresenta uma Duração de um minuto e o Tamanho do Lote de Embalagem encontra-se a um o que significa que resulta desta operação uma antena embalada.

#### 3.4.2. Lista de Materiais das Operações de Embalagem do Artigo

O componente de uma operação de embalagem é um artigo que é consumido nessa operação de embalagem. Os componentes são agregados às operações de embalagem para ser definido em que momento do processo de embalagem os que os componentes são consumidos. Todos os componentes são únicos de uma operação de embalagem, embora o artigo que seja usado como componente numa operação possa ser também definido como componente noutras operações. A informação relevante para a caracterização de um componente da operação de embalagem de um artigo no modelo é:

- Código do Artigo: Artigo a embalar;
- Código da Operação de Embalagem do Artigo;
- Descrição do Componente: Designação pretendida do artigo componente nesta operação, no caso de haver dois artigos componentes semelhantes, com esta descrição é possível distingui-los, por exemplo, parafuso de topo e parafuso da base;
- Código do Artigo Componente: Código do artigo que é componente nesta operação de embalagem;
- Código do Tipo de Consumo: Tipo consumo de componente na operação – existem dois tipos: P (Proporcional) - define a quantidade de artigo componente consumida para uma unidade do lote de embalagem; F (Fixo) - define a quantidade de artigo componente consumida para um lote de embalagem;
- Consumo: Quantidade de artigo componente consumida na operação de embalagem;
- *Turnaround Time*: Define o número de períodos para que a entrega de um componente esteja completa em relação à data de início de embalagem do artigo (característica com impacto nas datas dos lançamentos das ordens de produção ou de compra dos artigos-componentes nos algoritmos de Planeamento de Necessidades de Materiais - MRP), por exemplo, se o componente caixa só completar a sua entrega na totalidade amanhã, mas tiver esta característica definida com o valor 1, na data de hoje o MRP já reconhece que será possível ativar-se a ordem da encomenda;

Na Tabela 6 são exemplificados componentes de uma operação de embalagem de um artigo e respetivas características:

Tabela 6 - Exemplos da Definição de Componente da Operação de Embalagem de Artigo

Componentes das Operações de Embalagem dos Artigos						
Código do Artigo	Código da Operação de Embalagem	Descrição do Componente	Código do Artigo Componente	Consumo	Código do Tipo de Consumo	Turnaround Time
ARTG1	OPER1	Caixa para Embalar Antena	ARTG2	1	F	0
ARTG1	OPER1	Plástico para Proteger Antena	ARTG2	1	F	0
ARTG1	OPER1	Plástico Devolvido	ARTG2	0,2	F	0

A representação gráfica de um componente de uma operação de embalagem de um artigo é (Figura 7):

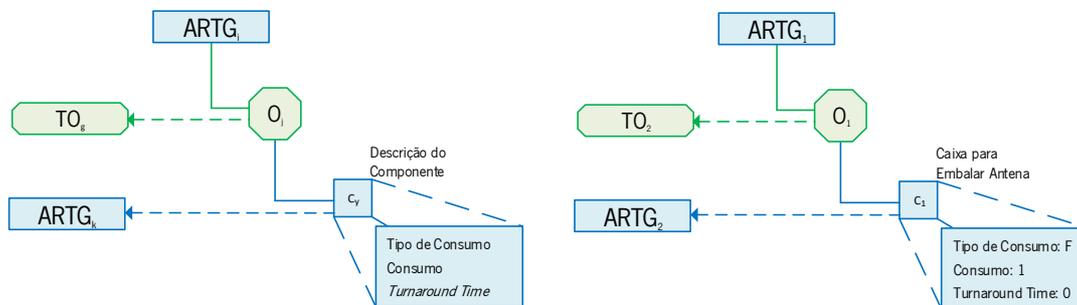


Figura 7 - Representação Gráfica de um Componente de Operação de Embalagem de um Artigo e Exemplo

Ligado à operação de embalagem do artigo por uma linha azul encontra-se o quadrado azul de um componente da operação de embalagem. Conectado ao componente da operação de embalagem, através das linhas tracejadas azuis, observa-se o detalhe do componente da operação de embalagem com as características que o definem. A seta tracejada azul que parte do componente da operação de embalagem e aponta para um artigo indica que artigo é componente na operação de embalagem definida (Figura 7).

Neste caso, o artigo “Antena” (com código “ARTG1”) é o artigo a embalar na operação de embalagem “Embalar Antena” (com código “O1”). O artigo componente é o artigo “Caixa” - código “ARTG2” - e, nesta operação de embalagem, denomina-se “Caixa para Embalar Antena”. Nesta operação é consumida uma caixa e este componente apresenta um *Turnaround Time* de zero o que significa que, para o MRP, só será ativada a ordem da encomenda quando a ordem de compra de caixas estiver completa.

Um problema gerados pelo modelo ao ter de se definir em que operação são consumidos os componentes é a necessidade de dizer em que operação de embalagem do artigo o próprio artigo é consumido. Por outras palavras, o artigo pai resultante da operação de embalagem é também ele componente numa operação do seu processo de embalagem. Este ciclo é um problema na perceção do

utilizador do modelo. No entanto, tendo em consideração que a BOMO de embalagem do artigo vai ser herdada para a encomenda, o artigo pai vai ser substituído pela encomenda e nos componentes das operações da encomenda o antigo artigo pai vai ser um componente. Desta forma, quebra-se o ciclo criado uma vez que é a BOMO da encomenda que vai ser fornecida às restantes áreas funcionais do sistema.

Tome-se, por exemplo, um processo de embalagem de um artigo A onde é necessário montar a caixa antes de empacotar o artigo. Neste caso, existe uma operação de embalagem montar a caixa do artigo A onde o mesmo não é necessário, sendo que o artigo A só será componente na operação de empacotar. A Tabela 7 apresenta outro exemplo desta particularidade.

*Tabela 7 - Exemplo da Definição do Próprio Artigo a Embalar como Componente da Operação de Embalagem de Artigo*

<b>Componentes das Operações de Embalagem dos Artigos</b>						
<b>Código do Artigo</b>	<b>Código da Operação de Embalagem</b>	<b>Descrição do Componente</b>	<b>Código do Artigo Componente</b>	<b>Consumo</b>	<b>Código do Tipo de Consumo</b>	<b>Turnaround Time</b>
ARTG1	OPER1	Antena para Embalar Antena	ARTG1	1	P	0

Neste caso, o artigo “Antena” (código “ARTG1”) é o artigo a embalar na operação de embalagem “Embalar Antena” com código “OPER1”. O artigo componente é o artigo “Antena” com código “ARTG1” e, nesta operação de embalagem, denomina-se “Antena para Embalar Antena”. É consumida uma antena e este componente apresenta um *Turnaround Time* de zero.

#### 3.4.3. Precedências das Operações de Embalagem do Artigo

O modelo permite representar a sequenciação ou ordenação de operações, caso exista mais que uma operação de embalagem e haja dependências entre as operações. O conceito de precedência define a relação entre duas operações do mesmo artigo.

A informação relevante para a caracterização de uma precedência de operações de embalagem do artigo é:

- Código do Artigo;
- Código da Operação Atual;
- Código da Operação Precedente: Operação que terá de ser realizada antes de se poder realizar a operação atual.

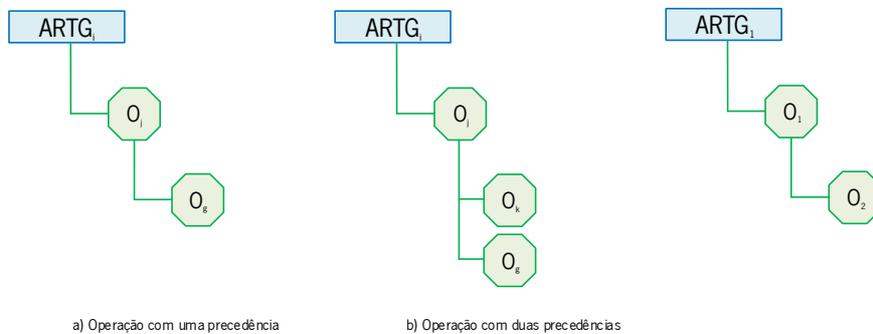
Caso uma operação de embalagem apresente mais do que uma precedência será necessário criar mais um registo com as características apresentadas acima.

Na Tabela 8 é exemplificada uma precedência de uma operação de embalagem de um artigo e respectivas características.

*Tabela 8 - Exemplo da Definição de Precedência da Operação de Embalagem de Artigo*

<b>Precedências das Operações de Embalagem dos Artigos</b>		
<b>Código do Artigo</b>	<b>Código da Operação Atual</b>	<b>Código da Operação Precedente</b>
ARTG1	OPER1	OPER2

No modelo de representação gráfica proposto a precedência é definida com o encadeamento da operação precedente na operação atual através de uma linha verde (Figura 8 a). Caso exista mais do que uma operação precedente à operação atual apenas é necessário acrescentar mais um quadrado verde com os cantos cortados que indique o código da operação de embalagem do artigo - (Figura 8 b).



*Figura 8 - Representação Gráfica de Precedências de Operação de Embalagem de um Artigo e Exemplo*

De acordo com o exemplo explorado até ao momento a precedência exemplificada indica que para se realizar a operação de plastificação é necessário embalar as antenas.

Utilizando as representações gráficas apresentadas até ao momento é possível integrá-las numa só representação e obtém-se a BOMO de embalagem de um Artigo. A constituição gráfica de uma BOMO deve seguir a ordem pela qual os conceitos foram apresentados. Desta forma, primeiramente representam-se as operações de embalagem do artigo, de seguida os componentes das operações e, por último, as precedências das operações.

A título de exemplo apresenta-se a Figura 9.

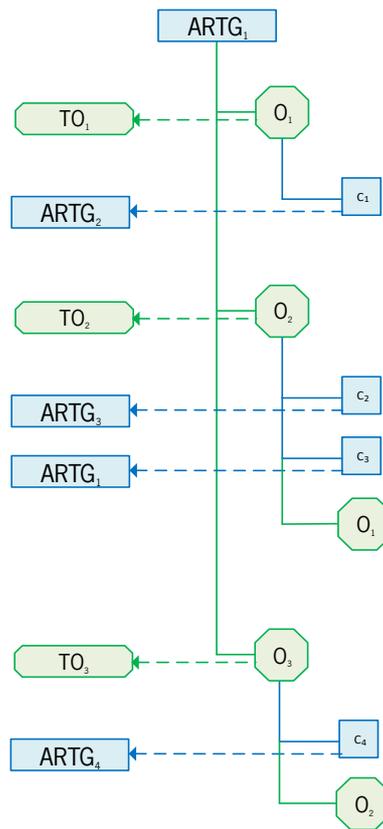


Figura 9 - Representação Gráfica de uma BOMO de Embalagem de um Artigo

Nesta representação gráfica da BOMO de embalagem (Figura 9), o artigo 1 ( $ARTG_1$ ) é obtido através da realização das operações de embalagem 1 ( $O_1$ ), 2 ( $O_2$ ) e 3 ( $O_3$ ), representado através da linha verde que conecta o artigo 1 às operações 1, 2 e 3.

Na operação de embalagem 1 ( $O_1$ ), que advém de um tipo de operação 1 ( $TO_1$ ) - representado através da seta verde em que a operação de embalagem 1 aponta para o tipo de operação 1, existe um componente 1 ( $c_1$ ) - representado através da linha azul que liga o componente 1 à operação de embalagem 1. Este componente 1 é um artigo 2 ( $ARTG_2$ ) - representado através da seta azul onde o componente 1 aponta para o artigo 2.

Na operação de embalagem 2 ( $O_2$ ) que advém do tipo de operação 2 ( $TO_2$ ) existem os componentes 2 ( $c_2$ ) e 3 ( $c_3$ ) que são artigos 3 ( $ARTG_3$ ) e 1 ( $ARTG_1$  - o próprio artigo a ser embalado), bem como uma operação de embalagem precedente que é a operação 1 ( $O_1$ ) - representada através da linha verde que liga a operação de embalagem 2 à operação de embalagem 1 encadeada.

Na operação de embalagem 3 ( $O_3$ ), que advém do tipo de operação 3 ( $TO_3$ ), existe um componente 4 ( $c_4$ ), que é um artigo 4 ( $ARTG_4$ ), e uma operação de embalagem precedente que é a operação de embalagem 2 ( $O_2$ ).

### 3.5. Encomenda

O conceito de Encomenda representa um pedido por parte de um cliente para a aquisição de um artigo da organização. A sua definição é responsabilidade da área funcional GCE. Esta informação deve ser criada no registo de encomendas dentro da área funcional GCE e disponibilizada para o funcionamento deste modelo.

A informação relevante para a caracterização de uma encomenda no modelo é:

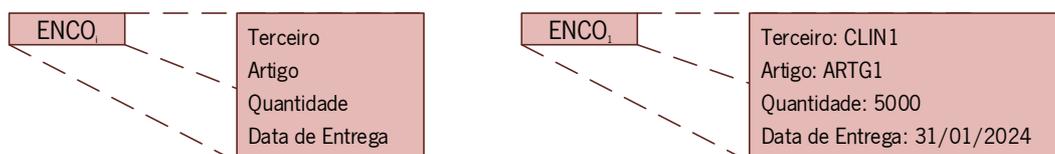
- Código do Terceiro: Cliente que realizou a encomenda;
- Código da Encomenda;
- Código do Artigo: Artigo encomendado;
- Quantidade: Quantidade encomendada;
- Data de Entrega.

Na Tabela 9 está exemplificada uma encomenda e respetivas características.

*Tabela 9 - Exemplo da Definição de uma Encomenda*

Encomendas				
Código da Encomenda	Código do Terceiro	Código do Artigo	Quantidade	Data de Entrega
ENC01	CLIN1	ARTG1	5000	31/01/2024

A representação gráfica de uma encomenda consiste num retângulo vermelho onde se encontra o código da encomenda. Conectado ao retângulo através das linhas vermelhas a tracejado encontram-se as características da encomenda (Figura 10).



*Figura 10 - Representação Gráfica de uma Encomenda e Exemplo*

Como se pode observar, a encomenda de código “ENC01” é para o Cliente 1 que 5000 encomendou antenas a serem entregues dia 31/01/2024.

### 3.6. BOMO da Encomenda

O funcionamento do modelo proposto termina com a criação da BOMO da encomenda através da herança da BOMO de embalagem do artigo encomendado, caso exista (Figura 11). É a BOMO da encomenda que será fornecida às áreas funcionais PCP e PMP. A sua criação automática só é possível uma vez que nas características definidas para uma encomenda encontra-se o código do artigo encomendado. Através deste artigo é possível obter-se as operações de embalagem do artigo e respetivas características, os componentes destas operações e respetivas características e, por último, as precedências destas operações e respetivas características (Figura 12). Um dos objetivos deste comportamento é reduzir o esforço de definição desta informação para os utilizadores, se este comportamento não existisse, para cada encomenda seria necessário criar uma BOMO de encomenda específica. No entanto, caso o utilizador necessite de fazer alterações à estrutura de embalagem para uma encomenda em particular, a BOMO dessa encomenda encontra-se disponível para sofrer alterações, sem afetar a estrutura definida para o artigo, a BOMO de embalagem do artigo. Esta BOMO de embalagem do artigo tem a sua origem no artigo que vai ser encomendado e vai sofrer embalagem visto que, na grande maioria das vezes, as organizações têm operações de embalagem constantes por artigo.

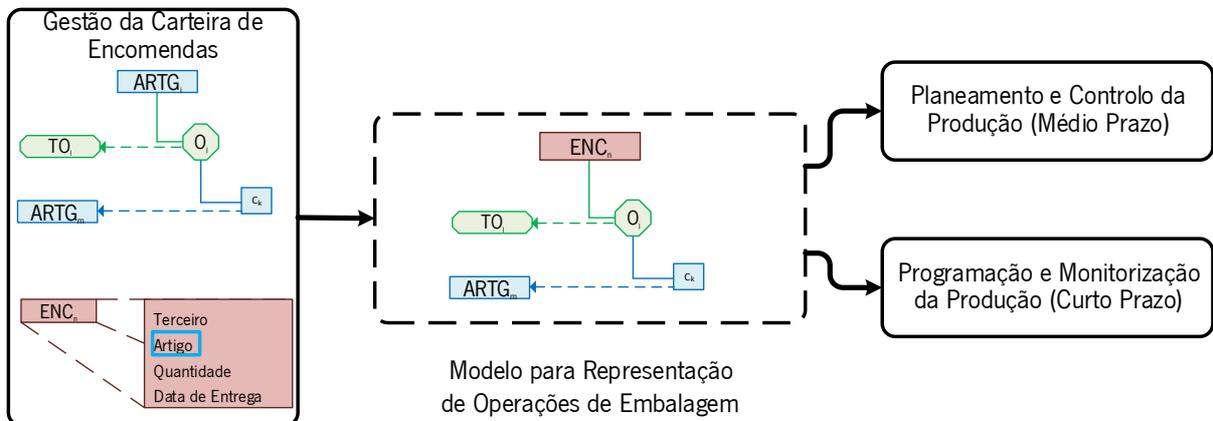


Figura 11- Processo de Criação da BOMO da Encomenda

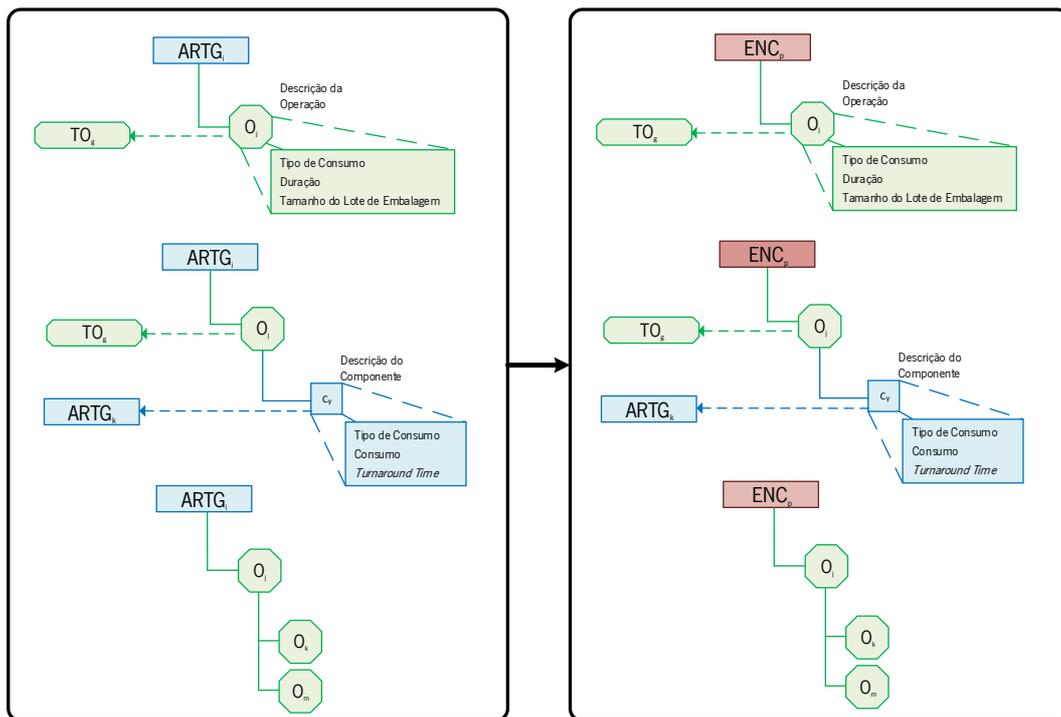


Figura 12 - Herança de Propriedades do Artigo para a Encomenda

### 3.7. Embalagem Standard

Uma embalagem standard serve para definir num SMS uma operação de embalagem quando um artigo não tiver BOMO de embalagem associada. Esta embalagem é criada na área funcional GCE, mais concretamente nas funções de embalagem.

Uma embalagem standard assemelha-se a uma operação de embalagem do artigo visto tratar-se de uma operação a ser realizada sobre o artigo quando é colocada uma encomenda do mesmo. Tome-se, por exemplo, um artigo cuja estrutura física após produção é robusta o suficiente que não necessita de ser embalado e é comercializado desta forma. Neste caso, é necessário realizar-se uma operação de separação no armazém para entrega ao cliente. Desta forma, não é necessária BOMO de embalagem do artigo. No entanto, a embalagem standard é herdada para a BOMO da encomenda uma vez que o modelo requer a representação desta operação de separação. Outro exemplo pode ser um artigo que na sua BOMO produtiva já tenha operações de embalagem visto ser armazenado já embalado na embalagem que será entregue ao cliente. Neste caso, tal como no exemplo anterior, é necessário fazer a separação do artigo encomendado na quantidade encomendada para a entrega ao cliente. Assim sendo, o modelo requer a herança da embalagem standard para a BOMO da encomenda, mesmo tratando-se apenas de uma operação de separação sem componentes. Esta necessidade do modelo dá-

se devido à abrangência dos modelos integrados na área funcional PMP onde um trabalho de embalagem é tratado da mesma maneira que um trabalho de produção de artigos.

Na grande maioria das organizações a variabilidade de produtos comercializados é enorme, como tal, o uso de um componente capaz de satisfazer de forma eficiente as necessidades de embalagem de todos os artigos comercializados pela organização é de uma probabilidade baixíssima, deste modo, a embalagem standard não apresenta componentes.

A informação relevante para a caracterização da embalagem standard no modelo é:

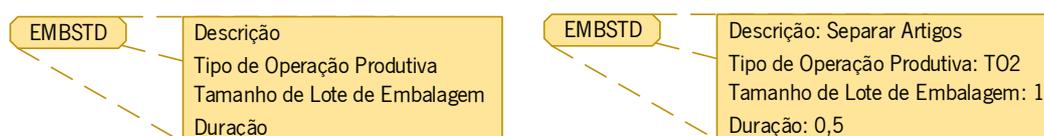
- Código;
- Descrição;
- Código do Tipo de Operação Produtiva;
- Tamanho de Lote de Embalagem;
- Duração.

Na Tabela 10 apresenta-se um exemplo de uma embalagem standard:

*Tabela 10 - Exemplo da Definição de Embalagem Standard*

<b>Embalagem Standard</b>				
<b>Código da Embalagem</b>	<b>Descrição</b>	<b>Código do Tipo de Operação Produtiva</b>	<b>Duração</b>	<b>Tamanho do Lote de Embalagem</b>
EMBSTD	Separar Artigos	T02	0,5	1

A representação gráfica da embalagem standard é apresentada na Figura 13.



*Figura 13 - Representação Gráfica da Embalagem Standard e Exemplo*

Como se pode observar a embalagem standard apresenta a descrição “Separar Artigos”, pertence ao tipo de operação “Embalar”, tem a duração de 30 segundos e a execução da embalagem resulta a separação de 1 artigo.

### 3.8. Considerações Finais

O objetivo desta secção é concluir o modelo proposto para a representação de operações de embalagem através de um breve resumo sobre o funcionamento do mesmo, apontar os problemas que surgem com o modelo bem como a resposta que o modelo dá às necessidades das organizações. Por último, são realçados alguns conceitos existentes no SMS desenvolvido que não se encontram explicitados neste projeto de dissertação visto não terem sido necessários no caso de estudo apresentado.

O modelo tem como objetivo a disponibilização da BOMO de encomenda às áreas funcionais PCP e PMP. A forma como se cria esta BOMO de encomenda pode ser através da BOMO de embalagem do artigo ou através da embalagem standard, caso o artigo encomendado não tenha BOMO de embalagem. Isto prende-se ao facto de uma encomenda necessitar sempre de passar por uma operação de embalagem mesmo que, fisicamente, esta operação não seja de embalamento de artigos (exemplo: operação de separação). A origem (ou raiz) da BOMO de embalagem ser associada ao artigo deve-se à grande maioria dos casos existentes nas organizações, onde um artigo é sempre embalado da mesma maneira. No entanto, como o *output* do modelo é a BOMO da encomenda, a partir do momento que a mesma é gerada pelo sistema, esta encontra-se disponível para o utilizador realizar alterações de modo a satisfazer as necessidades uma encomenda específica. É através deste funcionamento que o modelo demonstra ser capaz de lidar de forma eficiente com a diversidade associada aos processos de embalagem das organizações.

A utilização do modelo cria um problema cíclico na definição do próprio artigo a ser embalado como componente numa operação do seu processo de embalagem. Este problema é resolvido quando ocorre a herança da BOMO de embalagem do artigo encomendado para a BOMO da encomenda e ocorre uma mudança na raiz da BOMO.

Por último, existem conceitos e características de outras áreas funcionais que integram elementos apresentados neste modelo e que não foram apresentados no decorrer da apresentação do modelo.

Alguns destes são:

- Terceiro
- *Setup*
- Tipos de artigos
- Dimensão
- Famílias
- Tamanho do lote de planeamento
- Stock de segurança

- Dividir Lote
- *Coproducto*

## **4. MODELO PARA REPRESENTAÇÃO DE OPERAÇÕES DE EXPEDIÇÃO**

O objetivo deste capítulo é apresentar o modelo para a representação de operações de expedição desenvolvido no âmbito do projeto ContiFoF e implementado no *Smart Manufacturing System*. Este capítulo encontra-se dividido em sete secções.

A primeira secção define o âmbito do modelo. A segunda secção apresenta o conceito de lista de expedição e respetiva informação relevante para a sua caracterização no modelo. A terceira secção apresenta a informação relevante para a caracterização e apresentação do conceito de tipo de unidade de expedição. A quarta secção apresenta as propriedades propostas no modelo para representar a BOMO de um tipo de unidade de expedição e respetivos conceitos que a compõe. A quinta secção apresenta as propriedades propostas no modelo para representar as unidades de expedição. A sexta secção apresenta as propriedades propostas no modelo para representar BOMO da unidade de expedição. Por último, na oitava secção encontram-se as considerações finais do modelo.

### **4.1. Âmbito do Modelo**

O objetivo desta secção é definir o âmbito do modelo para a representação de operações de expedição através da definição das fronteiras do modelo num SPCP e explicar o seu funcionamento. Assim sendo, é necessário enquadrar o modelo nas áreas funcionais de um SPCP, definir os requisitos de informação das áreas funcionais para o modelo e definir que informação é disponibilizada pelo modelo para as áreas funcionais.

O modelo apresentado neste capítulo enquadra-se na área funcional Gestão da Carteira de Encomendas (GCE). Na área GCE são definidos os tipos de unidades de expedição e respetivas BOMO de expedição. Estas BOMO serão depois herdadas para as unidades de expedição originando uma BOMO da unidade de expedição que alimenta as áreas funcionais do PCP e PMP (Figura 14). O funcionamento deste modelo é semelhante ao modelo de embalagem. Comparando os modelos, os tipos de unidades de expedição têm um comportamento semelhante aos artigos e as unidades de expedição têm um comportamento semelhante às encomendas

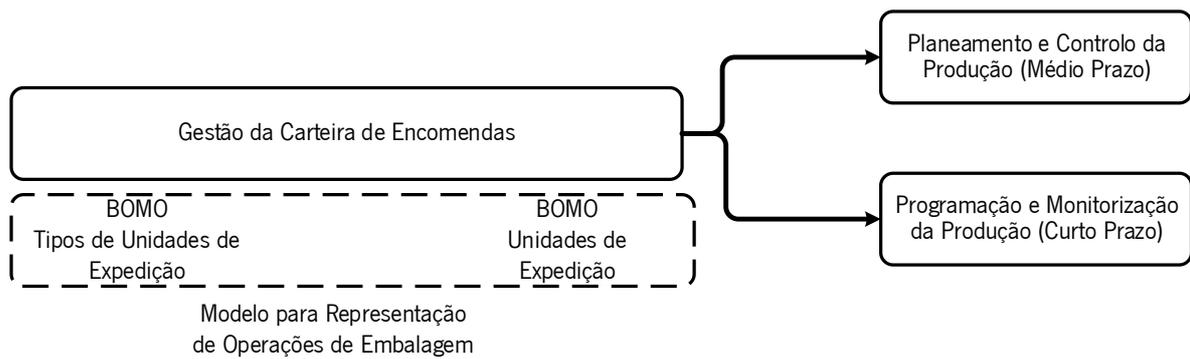


Figura 14 - Enquadramento do Modelo de Expedição num SPCP

O objetivo do modelo de representação de operações de expedição é organizar informação sobre os processos de expedição e gerar estruturas de informação que possam ser disponibilizadas às áreas funcionais PCP e PMP. Este modelo não existe de forma isolada e, como tal, requer da área funcional GIA elementos que integram conceitos desenvolvidos pelo modelo.

Contrariamente ao modelo proposto para a representação de operações de embalagem, o modelo de representação de operações de expedição não apresenta qualquer obrigatoriedade no sistema, sendo apenas uma ferramenta eficaz e eficiente para lidar com os processos de expedição de uma organização. Este comportamento deve-se ao facto de haver organizações que não realizam expedição, como tal, qualquer obrigatoriedade de utilização deste modelo comprometeria o funcionamento dessas organizações.

Quando uma organização tem processos de expedição o funcionamento do modelo é semelhante ao modelo apresentado para as embalagens. Existem tipos de unidades de expedição com BOMO associadas para facilitar a utilização do modelo. Quando é criada uma lista de expedição, é necessário criar as unidades de expedição dessa lista de expedição que herdaram a BOMO do tipo de unidade de expedição a que pertencem. No entanto, enquanto no modelo de embalagem proposto a informação da BOMO da encomenda originária do artigo tem todas as informações necessárias para o funcionamento do modelo de embalagem, no modelo de expedição a estrutura BOMO da unidade de expedição herdada do tipo de unidade de expedição não tem todas as informações necessárias para ser disponibilizada às outras áreas funcionais do sistema. Assim sendo, são necessários acrescentos de informação por parte do utilizador para que a BOMO da unidade de expedição se encontre completa e disponível para as áreas funcionais de PCP e PMP.

Através do funcionamento do modelo é possível responder à diversidade de processos de expedição existentes de forma eficiente visto que qualquer processo de expedição pode ser organizado numa estrutura BOMO. Com a herança que existe dos tipos de unidades de expedição para as unidades de

expedição é possível automatizar o funcionamento da grande maioria dos processos de expedição utilizados frequentemente pelas organizações. Adicionalmente, com a disponibilização das BOMO das unidades de expedição ao utilizador é possível dar resposta a exceções que possam ocorrer nos processos de expedição.

De seguida, são apresentados os principais conceitos do modelo e respetivas informações necessárias para a sua caracterização.

## 4.2. Tipo de Unidade de Expedição

Um tipo de unidade de expedição representa uma entidade padronizada e conhecida pela organização. Um tipo de unidade de expedição deve ter uma BOMO com as operações, artigos componentes e precedências dos processos de expedição a serem realizadas para aquele tipo de unidade de expedição. Tome-se, por exemplo, uma organização que utiliza paletes plastificadas em noventa por cento das suas expedições. Este tipo de unidade de expedição “Pallet” pode ter uma BOMO associada composta por operações de montagem e plastificação da pallet. Estas operações podem ter dois artigos componentes: a pallet (vazia) e o plástico necessário para a plastificar. Desta forma, o tipo de unidade de expedição “Pallet” pode já estar no sistema, bem como a sua BOMO para facilitar a utilização do modelo. As informações relevantes para a caracterização dos tipos de unidades de expedição e alguns exemplos encontram-se na Tabela 11:

*Tabela 11 - Exemplo da Definição de Tipos de Unidades de Expedição*

<b>Tipos de Unidades de Expedição</b>	
<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
TUEXP1	Pallet
TUEXP2	Contentor

## 4.3. BOMO do Tipo de Unidade de Expedição

O conceito de BOMO de expedição de tipo de unidade de expedição representa o conjunto de materiais e operações para a realização do processo de expedição de uma entidade padronizada e conhecida pela organização. Este conceito não é obrigatório para o modelo, mas serve para facilitar da utilização do modelo visto que, na grande maioria das vezes, o processo de expedição é conhecido pela organização e é realizado sempre da mesma forma e sempre com as mesmas estruturas. O enquadramento deste conceito no modelo é meramente para a eficiência do sistema numa utilização normal, visto que a BOMO de tipo de unidade de expedição será herdada para a BOMO da unidade de expedição e é esta última

estrutura que será partilhada às áreas funcionais PCP e PMP. Comportamento semelhante à relação da BOMO de embalagem do artigo e a BOMO da encomenda.

A BOMO de expedição de tipo de unidade de expedição presente neste modelo requer, primeiramente, a lista de operações de expedição a serem executadas naquele tipo de unidade. De seguida, a cada operação de expedição existe uma lista de materiais necessários para a execução dessa operação. Uma lista de materiais agregada à operação permite ao sistema saber exatamente quando vão ser necessários os componentes e tem como resultado uma execução mais eficiente dos processos de expedição. Por último, é necessário definir o conceito de precedências para que o sistema consiga ordenar e coordenar a execução das operações de expedição.

Nesta secção são apresentados os conceitos de lista de operações de expedição do tipo de unidade de expedição, lista de materiais das operações de expedição dos tipos de unidades de expedição e precedências das operações de expedição dos tipos de unidades de expedição. Após apresentação destes conceitos é apresentada a proposta de representação gráfica de uma BOMO de tipo de unidade de expedição.

#### 4.3.1. Lista de Operações do Tipo de Unidade de Expedição

Uma lista de operações do tipo de unidade de expedição representa um conjunto de operações necessárias para a expedição de unidades de expedição daquele tipo. Retomando o exemplo da secção 4.2, um tipo de unidade de expedição “Paleta” pode ter como operações a montagem da paleta e a plastificação da paleta. As características e estrutura de dados de uma operação de expedição de um tipo de unidade de expedição assemelham-se às operações de embalagem de um artigo, divergindo no elemento raiz que é representado – deixa de existir a identificação do artigo e passa a existir a identificação do tipo de unidade de expedição. Assim, a informação relevante para a caracterização de uma operação de tipo de unidade de expedição no modelo é:

- Código do Tipo de Unidade de Expedição: Tipo de unidade de expedição que vai sofrer a operação de expedição a definir;
- Descrição;
- Código do Tipo de Operação Produtiva;
- Código do Tipo de Consumo;
- Duração;
- Tamanho do Lote de Expedição;

Na Tabela 12 são exemplificadas operações de expedição de um tipo de unidade de expedição e respetivas características:

Tabela 12 - Exemplos da Definição de Operações de Expedição

Operações de Expedição dos Tipos de Unidades de Expedição						
Código do Tipo de Unidade de Expedição	Código da Operação	Descrição	Código do Tipo de Operação Produtiva	Código do Tipo de Consumo	Duração	Tamanho do Lote de Expedição
TUEXP1	OPER1	Montar Palete	TO1	F	10	1
TUEXP1	OPER2	Plastificar Palete	TO3	F	1	1

Em comparação com as operações de embalagem do artigo (Figura 6) a única diferença é o ponto inicial da representação onde, previamente, se encontrava o artigo, agora encontra-se um retângulo cinzento-claro onde se encontra o código do tipo de unidade de expedição (Figura 15):

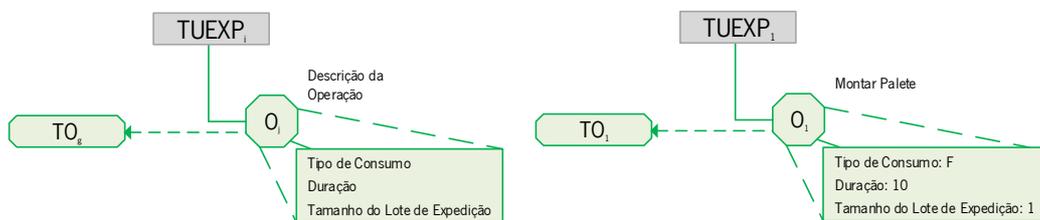


Figura 15 - Representação Gráfica de uma Operação de Expedição de um Tipo de Unidade de Expedição e Exemplo

Neste caso, o tipo de unidade de expedição “Palete” (código “TUEXP1”) tem uma operação de expedição denominada “Montar Palete” que pertence ao Tipo de Operação Produtiva “Expedir” (código “TO1”). Esta operação apresenta um Tipo de Consumo “Fixo” (F) e uma Duração de dez minutos. O Tamanho do Lote de Expedição encontra-se a um o que significa que resulta desta operação um lote unitário de uma palete.

#### 4.3.2. Lista de Materiais das Operações do Tipo de Unidade de Expedição

O componente de uma operação de expedição de um tipo de unidade de expedição é um artigo que é consumido na operação. Os componentes são agregados às operações de expedição de um tipo de unidade de expedição para ser detalhado em que momento do processo de expedição os que os componentes são consumidos. Todos os componentes são únicos de uma operação, embora o artigo que seja usado como componente numa operação possa ser também definido como componente noutras operações. Tal como aconteceu para as operações de expedição de um tipo de unidade de expedição, os componentes destas operações apresentam características semelhantes aos componentes das operações de embalagem dos artigos.

A informação relevante para a caracterização de um componente da operação de embalagem de um artigo no modelo é:

- Código do Tipo de Unidade de Expedição;
- Código da Operação de Expedição;
- Descrição do Componente;
- Código do Artigo Componente;
- Consumo;
- Código do Tipo de Consumo;
- *Turnaround Time*;

Na Tabela 13 é exemplificado um componente de uma operação de expedição de um tipo de unidades de expedição e respetivas características.

Tabela 13 - Exemplos da Definição de Componentes das Operações de Expedição de Tipos de Unidades de Expedição

Componentes das Operações de Expedição dos Tipos de Unidades de Expedição						
Código do Tipo de Unidade de Expedição	Código da Operação de Expedição	Descrição do Componente	Código do Artigo Componente	Consumo	Código do Tipo de Consumo	Turnaround Time
TUEXP1	OPER1	Artigo Palete para Construir Palete Pronta a Expedir	ARTG3	1	F	0
TUEXP1	OPER2	Plástico para Plastificar Palete	ARTG5	1	F	0

A representação gráfica de um componente de uma operação de expedição de um tipo de unidade de expedição é (Figura 16):

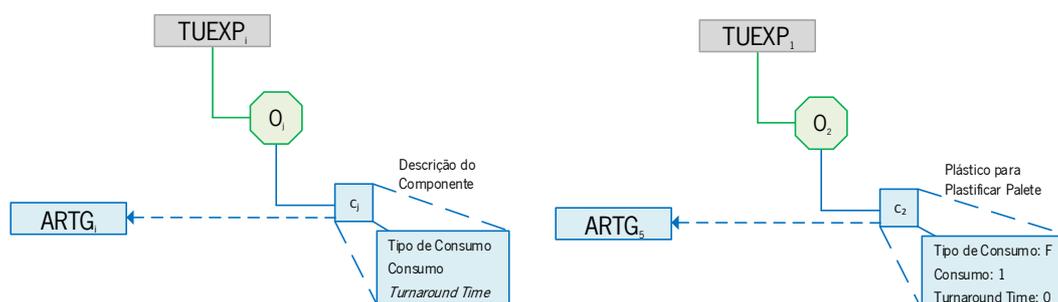


Figura 16 - Representação Gráfica de um Componente de uma Operação de Expedição de um Tipo de Unidade de Expedição e Exemplo

Em comparação com os componentes das operações de embalagem do artigo (Figura 7) a única diferença é o ponto inicial da representação onde, previamente, se encontrava o artigo, agora encontra-se um retângulo cinzento-claro onde se encontra o código do tipo de unidade de expedição (Figura 16).

Neste caso, o tipo de unidade de expedição “Palete” (código “TUEXP1”) na operação “Plastificar Palete” (código “O2”) o artigo “Plástico” (código “ARTG5”) apresenta a designação “Plástico para Plastificar Palete”. Para um lote desta operação é consumida uma unidade de plástico e este componente apresenta um *Turnaround Time* de zero.

#### 4.3.3. Precedências das Operações do Tipo de Unidade de Expedição

O modelo permite representar a sequenciação ou ordenação de operações, caso exista mais que uma operação de expedição e haja dependências entre as operações. O conceito de precedência define a relação entre duas operações do mesmo tipo de unidade de expedição.

A informação relevante para a caracterização de uma precedência de operações de embalagem do artigo é:

- Código do Tipo de Unidade de Expedição;
- Código da Operação Atual;
- Código da Operação Precedente: Operação que terá de ser realizada antes de se poder realizar a operação atual.

Na Tabela 14 está exemplificada uma precedência de operações de expedição de um tipo de unidade de expedição e respetivas características:

*Tabela 14 - Exemplo da Definição de Precedências de Operações de Tipo de Unidade de Expedição*

<b>Precedências das Operações de um Tipo de Unidade de Expedição</b>		
<b>Código do Tipo de Unidade de Expedição</b>	<b>Código da Operação Atual</b>	<b>Código da Operação Precedente</b>
TUEXP1	OPER2	OPER1

Neste caso, a operação de plastificar palete do tipo de unidade de expedição palete é precedida pela operação de montar palete.

A representação gráfica de precedências de uma operação de um tipo de unidade de expedição é - Figura 17, tal como acontece nos artigos uma operação pode ter mais do que uma precedência e as regras para a representação gráfica mantêm-se (Figura 8).

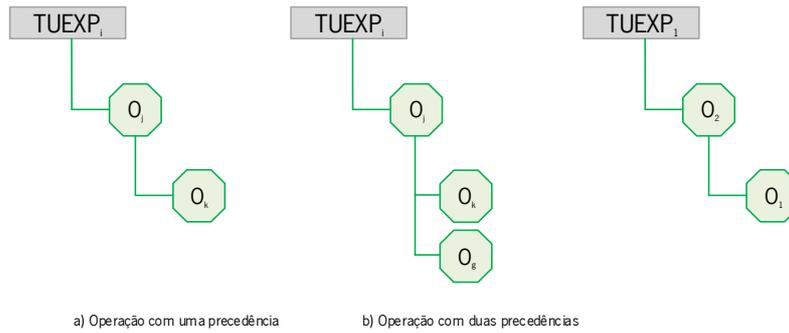


Figura 17 - Representação Gráfica de Precedências de Operação de um Tipo de Unidade de Expedição e Exemplo

Tal como acontece para outros elementos já apresentados, com a definição das operações, componentes e precedências dos tipos de unidades de expedição é possível resumir-se a estrutura de um tipo de unidade de expedição através de uma BOMO com a apresentação em árvore (Figura 18). Em comparação com a BOMO de embalagem do artigo a (Figura 9) a diferença encontra-se no ponto inicial da árvore com a alteração do artigo para o tipo de unidade de expedição.

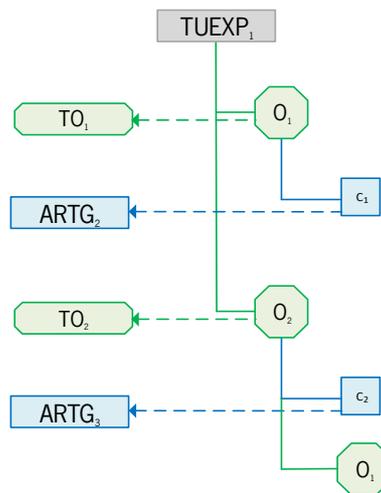


Figura 18 - Representação Gráfica de uma BOMO de um Tipo de Unidade de Expedição

#### 4.4. Lista de Expedição

Uma lista de expedição é um conjunto de unidades de expedição que serão entregues a um cliente no mesmo carregamento. Tome-se por exemplo, um cliente que encomendou mil unidades de produto A, mil unidades de produto B e mil unidades de produto C. Todos devem ser entregues no mesmo contentor em dez paletes plastificadas com a mesma distribuição de produtos por palete. Neste caso, será necessário criar uma única lista de expedição que contém as dez paletes necessárias para satisfazer as três encomendas do cliente. As informações relevantes para a caracterização de uma lista de expedição no modelo são:

- Código;
- Descrição do Terceiro: Terceiro a que têm de ser entregue as unidades de expedição que compõe a lista de expedição;
- Data de Início: Quando o utilizador pretende iniciar a realização das operações de expedição das unidades de embalagem da lista de expedição para o terceiro definido;
- Data de Fim: Quando o utilizador pretende terminar as operações de expedição das unidades de embalagem da lista de expedição para o terceiro definido.

Na Tabela 15 estão representados alguns exemplos de listas de expedição:

*Tabela 15 - Exemplo da Definição de Listas de Expedição*

<b>Listas de Expedição</b>			
<b>Código</b>	<b>Terceiro</b>	<b>Data Início</b>	<b>Data Fim</b>
1	Cliente A	23/01/2024	26/01/2024
2	Cliente B	01/02/2024	01/02/2024

Como se pode observar, a primeira lista de expedição é para o cliente A, tem data de início dos trabalhos de expedição dia 23/01/2024 e término dia 26/01/2024.

#### **4.5. Unidade de Expedição**

Uma unidade de expedição é uma entidade com uma estrutura composta por operações, componentes e precedências que é disponibilizada às áreas funcionais PCP e PMP. Na criação de uma unidade de expedição é obrigatório definir a que lista de expedição a unidade pertence.

Uma unidade de expedição representa o último nível de informação que será disponibilizado antes da realização das operações de expedição e que define como será satisfeito o pedido de cliente.

Assim sendo, as informações relevantes para a caracterização de uma unidade de expedição no modelo são:

- Código da Lista de Expedição;
- Código da Unidade de Expedição;
- Descrição da Unidade de Expedição;
- Dimensão: Dimensão física da Unidade de Expedição
- Quantidade: Quantidade de Unidades de Expedição a serem criadas;
- Tipo de Unidade de Expedição.

Na Tabela 16 são apresentados alguns exemplos de unidades de expedição:

Tabela 16 - Exemplo da Definição de Unidades de Expedição

Unidades de Expedição					
Código	Descrição	Código da Lista de Expedição	Dimensão	Quantidade	Tipo de Unidade de Expedição
UEXP1	Palete para Cliente A	1	DIM3	10	TUEXP1
UEXP2	Contentor para Cliente A	1	DIM4	1	TUEXP2

A representação gráfica de uma unidade de expedição é (Figura 19):

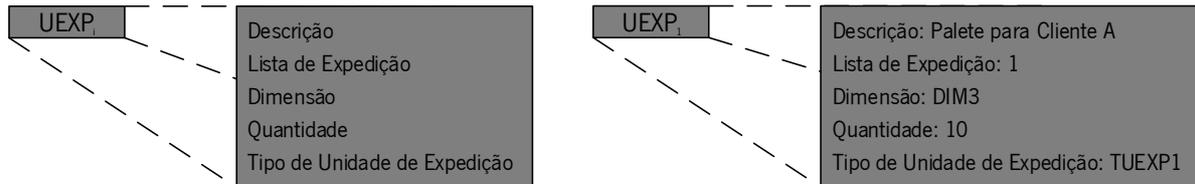


Figura 19 - Representação Gráfica de uma Unidade de Expedição e Exemplo

A “Palete para Cliente A” pertence à Lista de Expedição 1, tem a dimensão de uma palete (DIM3), serão criadas 10 destas paletes que têm um tipo de unidade de expedição “Palete”. Desta forma, será herdada a BOMO do tipo de unidade de expedição “Palete” para a unidade de expedição “Palete para Cliente A”.

#### 4.6. BOMO da Unidade de Expedição

O funcionamento do modelo proposto termina com a criação da BOMO da unidade de expedição através da herança da BOMO do tipo de unidade de expedição definido na criação da unidade de expedição (Figura 20). É a BOMO da unidade de expedição que será fornecida às áreas funcionais PCP e PMP. A sua criação automática só é possível uma vez que nas características definidas para uma unidade de expedição encontra-se definido o tipo de unidade de expedição. Assim, é possível obter-se as operações do tipo de unidade de expedição e respetivas características, os componentes destas operações e respetivas características e, por último, as precedências destas operações e respetivas características (Figura 21). Um dos objetivos deste comportamento é reduzir o esforço de definição desta informação para os utilizadores, se este comportamento não existisse, para cada unidade de expedição seria necessário criar uma BOMO específica. No entanto, caso o utilizador necessite de fazer alterações à estrutura da unidade de expedição para uma lista de expedição em particular, a BOMO dessa unidade de expedição encontra-se disponível para sofrer alterações, sem afetar a estrutura padronizada e conhecida pela organização (o tipo de unidade de expedição).

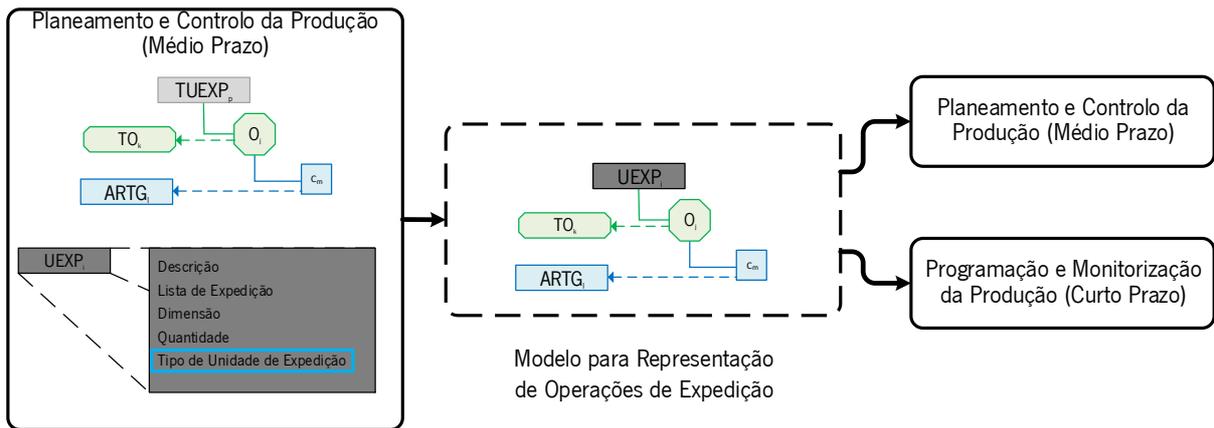


Figura 20 - Processo de Criação da BOMO da Unidade de Expedição

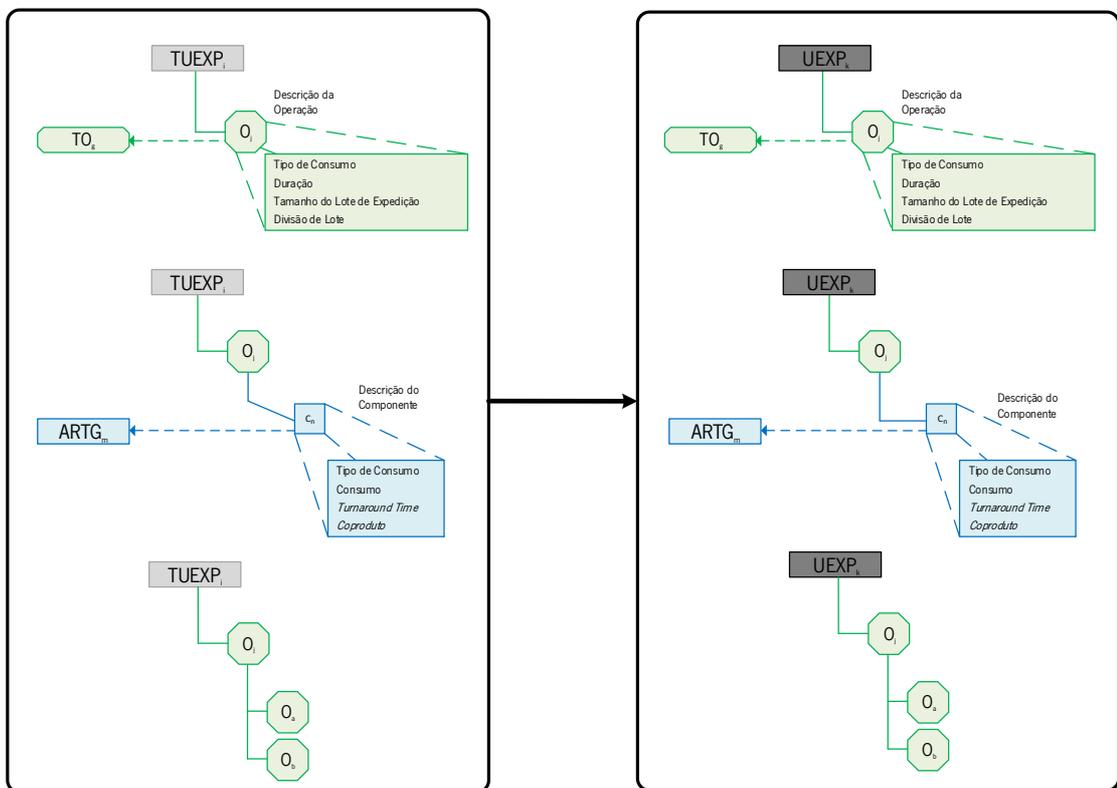


Figura 21 - Herança de Propriedades do Tipo de Unidade de Expedição para a Unidade de Expedição

No entanto, tal como foi brevemente mencionado na secção 4.1 a BOMO da unidade de expedição gerada automaticamente não tem todas as informações necessárias para o funcionamento do modelo. Isto deve-se ao funcionamento do sistema onde é necessário definir em que operações são consumidos componentes e, até agora, ainda não foi criada qualquer relação entre as encomendas de um cliente e a BOMO das unidades de expedição da lista de expedição para esse cliente. Assim sendo, é necessário

que o utilizador do modelo complete informações relativas aos componentes das operações das unidades de expedição. Estes componentes adicionais podem ser de dois tipos:

- **Encomendas:** desde que o Cliente presente na estrutura da encomenda seja o mesmo cliente presente na lista de expedição da unidade de expedição

Tome-se como exemplo, a expedição de uma encomenda de 1000 antenas para o Cliente A numa palete, as operações e artigos componentes podem ser conhecidos previamente pela organização e, como tal, podem ser representados na BOMO de unidade de expedição “Palete”. No entanto, não existe maneira de normalizar que encomenda em particular e em que quantidade será colocada na unidade de expedição “Palete para Cliente A”.

Na Tabela 17 apresentam-se mais exemplos para esta particularidade do modelo:

*Tabela 17 - Exemplo da Definição de Encomenda Componente das Operações de Expedição de Unidades de Expedição*

<b>Encomendas Componentes das Operações de Expedição das Unidades de Expedição</b>						
<b>Código da Unidade de Expedição</b>	<b>Código da Operação de Expedição</b>	<b>Descrição do Componente</b>	<b>Código da Encomenda Componente</b>	<b>Consumo</b>	<b>Código do Tipo de Consumo</b>	<b>Turnaround Time</b>
<u>UEXP1</u>	OPER1	Artigo Encomenda para Construir Palete Pronta a Expedir	<u>ENCO1</u>	1000	F	0

As diferenças deste exemplo para a caracterização de artigos componentes das operações encontram-se na quarta coluna onde se deu a troca do código do artigo para o código da encomenda. Uma particularidade é a propriedade “Consumo”, imagine-se uma encomenda de 2000 unidades, com distribuição de 1000 por cada palete, na definição da unidade de expedição “Palete para Cliente A” a quantidade criada destas unidades de expedição terá de ser 2, para que o pedido do cliente consiga ser realizado (mantendo o consumo a 1000 unidades fixo por palete). Desta forma, devido à variabilidade encontrada nestes processos de definição de componentes, é da responsabilidade do utilizador garantir que as quantidades de encomendas e unidades de expedição conseguem satisfazer o pedido do cliente.

- **Unidades de Expedição:** desde que a unidade de expedição componente pertença à mesma lista de expedição que a unidade de expedição principal

Tome-se como exemplo, um contentor com dez paletes de uma encomenda de dez mil unidades de antenas (mil unidades por palete). A unidade de expedição “Palete” tem uma operação de montagem e plastificação que tem como artigos componentes: a palete (vazia) e o plástico para plastificar a palete; esta operação tem também como componente a encomenda com consumo de mil antenas. Esta unidade

de expedição “Paleta” será componente na operação de “encher contentor” da unidade de expedição “Contentor”; esta operação terá como artigo componente o contentor.

Na Tabela 18 é exemplificado a definição de uma unidade de expedição como componente da uma operação de uma unidade de expedição.

Tabela 18 - Exemplo da Definição de Unidade de Expedição Componente das Operações de Expedição de Unidades de Expedição

Unidades de Expedição Componentes das Operações de Expedição das Unidades de Expedição						
Código da Unidade de Expedição	Código da Operação de Expedição	Descrição do Componente	Código da Unidade de Expedição Componente	Consumo	Código do Tipo de Consumo	Turnaround Time
UEXP2	OPER1	Paleta para Contentor Pronto a Expedir	UEXP1	10	F	0

Para a realização da operação um da unidade de expedição dois são necessárias dez unidades de expedição 1.

Após definição das encomendas componentes e das unidades de expedição componentes, a BOMO da unidade de expedição encontra-se completa e é fornecida às áreas funcionais PCP e PMP.

A título de exemplo, demonstra-se em formato de árvore, uma BOMO completa de uma Unidade de expedição (Figura 22)

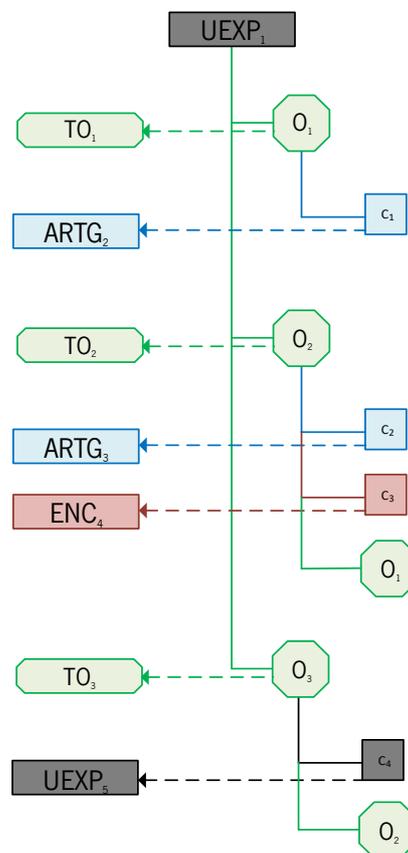


Figura 22 - Representação Gráfica de uma BOMO de uma Unidade de Expedição

#### 4.7. Considerações Finais

O objetivo desta secção é concluir o modelo proposto para a representação de operações de expedição através de um breve resumo sobre o funcionamento do modelo, apontar os problemas que surgem com o modelo bem como a resposta que o modelo dá às necessidades das organizações.

Contrariamente ao modelo para representação de operações de embalagem, o modelo de representação de operações de expedição não apresenta qualquer obrigatoriedade no sistema uma vez que existem organizações que não têm processos de expedição.

O modelo tem como objetivo a disponibilização da BOMO das unidades de expedição às áreas funcionais PCP e PMP. A forma como se cria esta BOMO de unidade de expedição pode ser através da BOMO de tipo de unidade de expedição. O conceito de tipo de unidade de expedição e respetiva BOMO foram apresentados como forma de representar no sistema elementos padronizados e conhecidos pela organização com objetivo de aumentar a eficiência do modelo. No entanto, como o *output* do modelo é a BOMO da unidade de expedição, a partir do momento que a mesma é gerada pelo sistema, esta encontra-se disponível para o utilizador realizar alterações de modo a satisfazer as necessidades uma unidade de expedição de uma lista de expedição específica. É também neste ponto que o modelo de expedição diverge do modelo de embalagem uma vez que, após herança da BOMO do tipo de unidade de expedição para a BOMO da unidade de expedição, o sistema necessita de informações adicionais para o seu funcionamento. Estas informações são a definição das encomendas componentes e/ou das unidades de expedição componentes nas operações das unidades de expedição. Esta requisição de informação extra ao utilizador deve-se ao facto de não ter sido possível integrar no modelo um funcionamento capaz de resolver este problema. No entanto, apesar desta situação o funcionamento do modelo demonstra ser capaz de lidar de forma eficiente com a diversidade associada aos processos de expedição das organizações.

## **5. APLICAÇÃO DOS MODELOS EM SISTEMA INFORMÁTICO**

O objetivo deste capítulo é apresentar um caso de estudo capaz de refletir os modelos de embalagem e expedição desenvolvidos nos capítulos 3 e 4. Será apresentado o caso de estudo e respetivos modelos de embalagem e expedição no SMS desenvolvido no âmbito do projeto *ContiFoF*.

Este capítulo encontra-se dividido em três secções. A primeira secção faz uma apresentação do *software* desenvolvido. A segunda secção apresenta o caso de estudo, a aplicação dos modelos de representação de operações de embalagem e expedição aplicados ao caso de estudo, bem como a modelação do caso de estudo no SMS. A terceira secção apresenta os impactos do caso de estudo nas áreas funcionais de Planeamento e Controlo da Produção e Programação e Monitorização da Produção.

### **5.1. Apresentação do *Software***

O objetivo desta secção é apresentar o SMS desenvolvido no âmbito do projeto.

O menu principal do sistema encontra-se na Figura 23. As 4 grandes áreas funcionais são apresentadas com as designações e orientações do projeto. A Gestão de Informação de Artigos (GIA) mantém-se inalterada, a Organização e Gestão de Recursos (OGR) é apresentada com a designação Modelo Digital da Organização, o Planeamento e Controlo da Produção (PCP) encontra-se inalterado, a Programação e Monitorização da Produção (PMP) encontra-se na Programação da Produção. A área funcional de Gestão da Carteira de Encomendas encontra-se dividida com os processos de gestão de embalagem e expedição numa pasta e o registo de encomendas e registo de unidades de expedição na pasta da Gestão Comercial. O modelo desenvolvido concetualmente mantém o seu registo de informação nas áreas explicitadas no decorrer da dissertação.

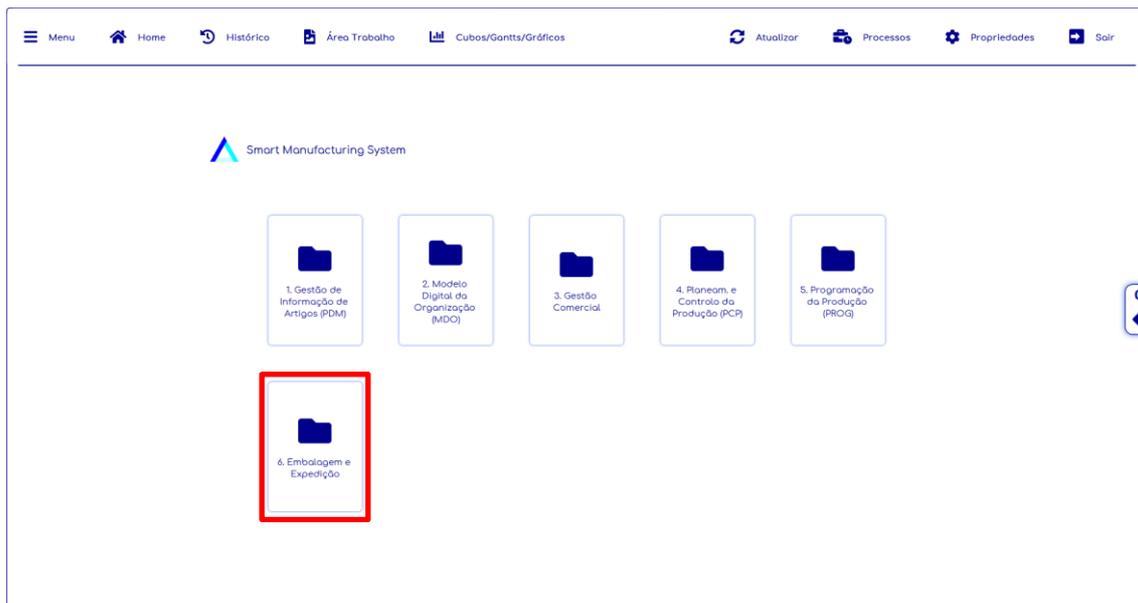


Figura 23 - Menu Principal do SMS Desenvolvido no Projeto

Com a seleção da pasta “6. Embalagem e Expedição” são apresentadas as opções base que permitem ao utilizador a criação dos dados base necessários ao funcionamento do modelo (Figura 24).

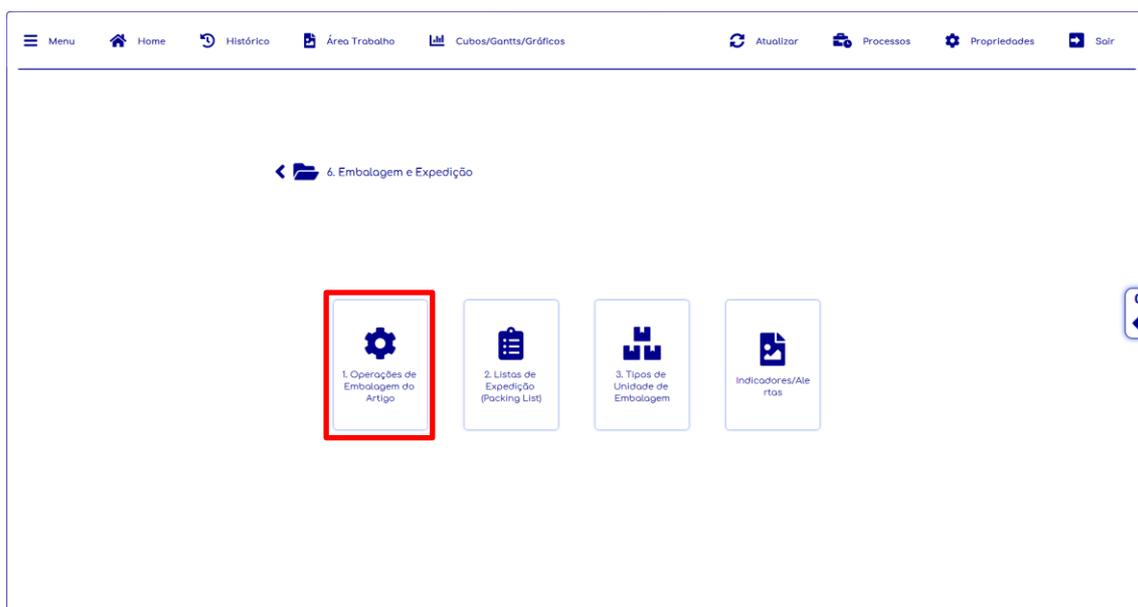


Figura 24 - Opções Iniciais de Navegação para os Modelos de Embalagem e Expedição

A título de exemplo, com a designação “1. Operações de Embalagem do Artigo”, o utilizador consegue consultar todas as operações de embalagem existentes na organização (Figura 25).

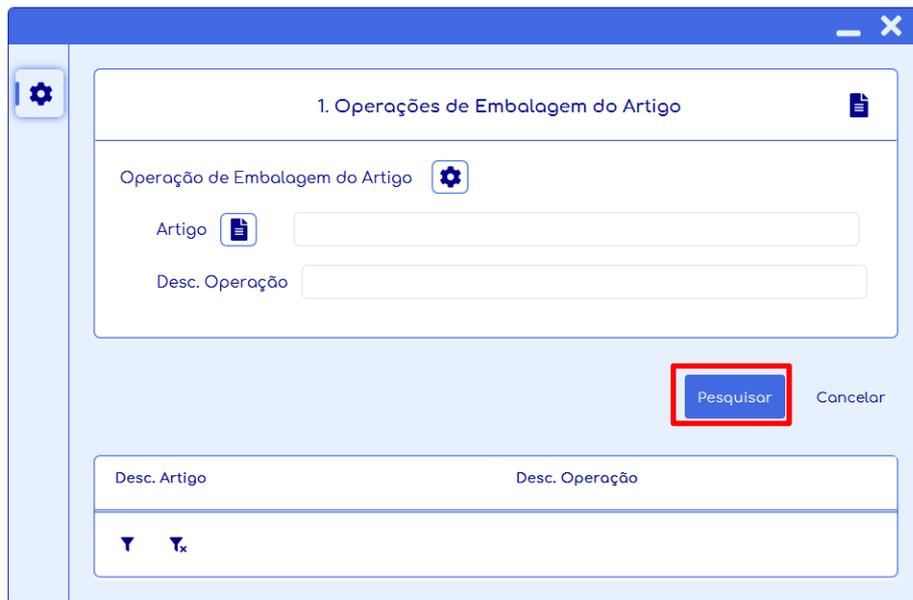


Figura 25 - Consulta de Todas as Operações de Embalagem Existentes na Organização

Ao pesquisar esta informação surge, ao lado dos resultados o painel de navegação, Figura 26 a), que permite realizar consultas sobre uma seleção de resultados ou criar informações em função de um resultado selecionado. O painel de navegação altera-se dependendo do ponto em que se encontra o utilizador. Por exemplo, ao consultar os artigos da organização o painel de navegação será diferente do apresentado na Figura 26. Nos resultados de consultas existe também um botão de detalhe, Figura 26 b), que permite ao utilizador consultar as características de determinada operação visto que os resultados da pesquisa apenas apresentam a descrição do artigo e as operações. Estas características são as apresentadas no modelo, tais como: Tipo de Operação Produtiva, Tipo de Consumo, Duração e Tamanho do Lote de Expedição.

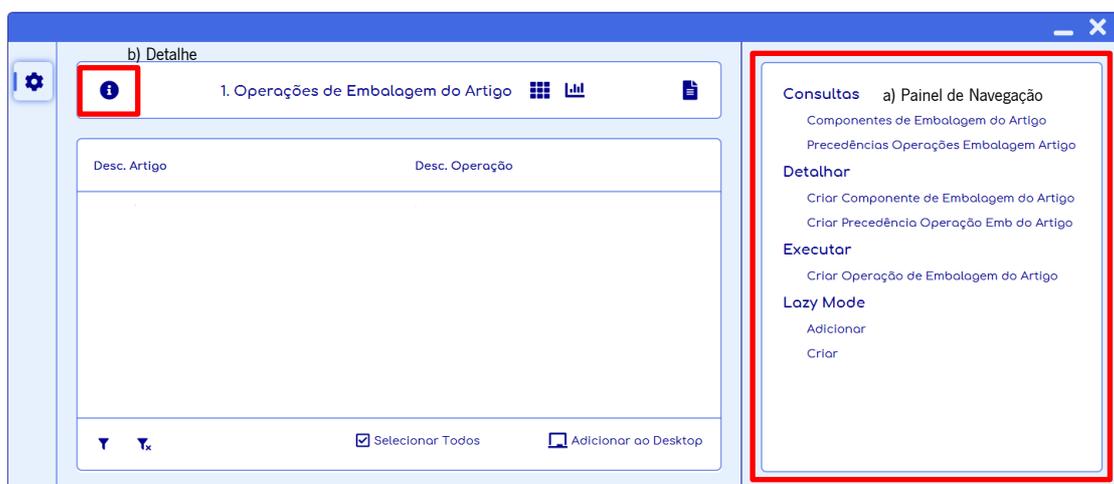


Figura 26 - Resultados da Consulta de Todas as Operações de Embalagem Existentes na Organização e Painel de Navegação

## 5.2. Caso de Estudo

O objetivo desta secção é apresentar a aplicação dos modelos desenvolvidos para a representação de operações de embalagem e expedição num caso de estudo e demonstrar a aplicação dos modelos e do caso de estudo no SMS desenvolvido no âmbito do projeto.

Esta secção encontra-se dividida em duas subsecções. Na primeira são apresentadas as representações das operações de embalagem do caso de estudo e, a título de exemplo, algumas representações das operações de embalagem do caso de estudo no SMS. Na segunda são apresentadas as representações das operações de expedição do caso de estudo e, a título de exemplo, algumas representações das operações de expedição do caso de estudo no SMS.

O caso de estudo a utilizar para demonstrar a aplicação e capacidades do modelo é um exemplo dos processos de embalagem e expedição da organização que foi objeto de estudo do projeto.

O caso de estudo tem como objetivo final a expedição de uma encomenda de 5632 Antenas para o dia 31 de janeiro de 2024. A encomenda será enviada para um cliente 1, na Índia, num contentor de 20 pés. Este contentor é composto por 11 paletes plastificadas cada uma contendo 64 caixas fechadas com fita cola e cada caixa contém 8 antenas. No posto de montagem dá-se a montagem final das antenas antes dos processos de embalagem e expedição. As antenas são armazenadas no Armazém de PA em caixas de oito unidades desenhadas para o seu transporte e manuseamento no chão de fábrica da organização. No posto de embalagem realiza-se a operação de empacotamento das antenas nas caixas e respetivo fecho da caixa com fita cola. No posto de plastificação são construídas as paletes com as caixas e dá-se a plastificação das mesmas. No posto de expedição as paletes plastificadas são inseridas no contentor e o mesmo fica pronto para enviar para o cliente. Na Figura 27 é apresentado o fluxo necessário para a embalagem e expedição do artigo “Antena” de acordo com o caso de estudo.

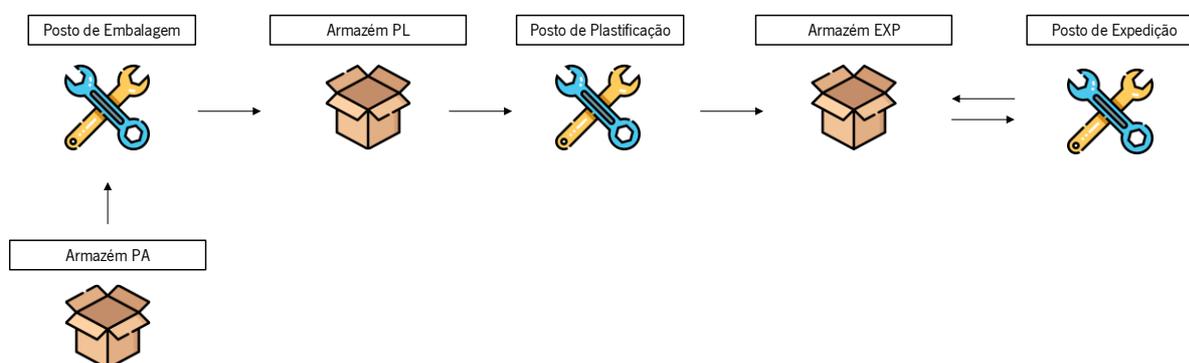


Figura 27 - Fluxo para Embalagem e Expedição do Artigo Antena

No armazém de produto acabado (Armazém PA) encontram-se todos os componentes necessários para a execução das operações de embalagem da encomenda (Antenas, Caixas de Embalagem e Fita Cola). As antenas são produzidas no posto de montagem e encaminhadas para o Armazém PA, a caixa de embalagem e fita cola resultam de ordens de compra e são armazenadas neste armazém. Após o embalamento no posto de embalagem, as caixas seladas com oito antenas são enviadas para o armazém da plastificação (Armazém PL).

O Armazém PL é também abastecido com as paletes e o plástico necessário para a realização da operação de expedição “Montar e Plastificar Pallet”. Após alocação de trabalhos ao posto de plastificação o colaborador do posto vai ao Armazém PL recolher os componentes necessários para a realização do trabalho. Após a execução, o sistema sugere a arrumação das paletes plastificadas no armazém de expedição (Armazém EXP).

No Armazém EXP encontra-se também o contentor necessário para a realização da operação “Encher Contentor”. O Posto de Expedição encontra-se fisicamente dentro do Armazém EXP para realizar as operações de expedição. Após execução da operação o contentor encontra-se pronto a ser expedido no Armazém EXP.

#### 5.2.1. Representação de Operações de Embalagem

O objetivo desta subsecção é apresentar a definição das entidades apresentadas para o modelo de representação de operações de embalagem no âmbito do caso de estudo definido. A título de exemplo apresenta-se também a definição, no *software* desenvolvido, de algumas entidades apresentadas para o modelo de representação de operações de embalagem no âmbito do caso de estudo definido. Existem diferenças entre o modelo apresentado e o modelo implementado no *software* em características dos conceitos devido às características do *software* desenvolvido no âmbito do projeto *ContiFoF*. Tome-se, como exemplo, a propriedade “Código” existente na grande maioria das estruturas de dados dos conceitos apresentados, no *software* desenvolvido, devido às características inovadoras e técnicas do mesmo, o código deixa de ser necessário em certos conceitos.

#### **Habilidades:**

As habilidades criadas que refletem as necessidades do caso de estudo são (Tabela 19):

Tabela 19 - Habilidades criadas no Caso de Estudo

Habilidades	
Código	Descrição
HAB1	Montagem
HAB2	Embalar
HAB3	Expedir
HAB4	Plastificar

### Competências:

As competências criadas que refletem as necessidades do caso de estudo são (Tabela 20):

Tabela 20 - Competências criadas no Caso de Estudo

Competências	
Código	Descrição
CMPT1	Montagem
CMPT2	Embalar
CMPT3	Expedir
CMPT4	Plastificar

### Tipos de Operação Produtivos:

Os tipos de operação produtivos necessários para exemplificar o caso de estudo são (Tabela 21):

Tabela 21 - Tipos de Operação Produtivos no Caso de Estudo

Tipos de Operação Produtivas				
Código	Descrição	Competência	Setup	Habilidade
T01	Montar Antenas	CMPT1	N/A	HAB1
T02	Embalar Artigos	CMPT2	N/A	HAB2
T03	Expedir Contentores	CMPT3	N/A	HAB3
T04	Plastificar Paletes	CMPT4	N/A	HAB4

No caso de estudo apresentado o tipo de operação “Montar Antenas” representa o conjunto de operações de montagem das antenas. O tipo de operação “Embalar Artigos” tem como objetivo agregar as operações de embalagem e, neste exemplo, a operação de embalar e fechar a caixa de embalagem com as 8 antenas. O tipo de operação “Expedir Contentores” representa o conjunto de operações para a expedição de contentores. O tipo de operação “Plastificar Paletes” agrega as operações de plastificação de paletes no processo de expedição.

A título de exemplo apresenta-se a representação gráfica de “Embalar Artigos” (Figura 28):

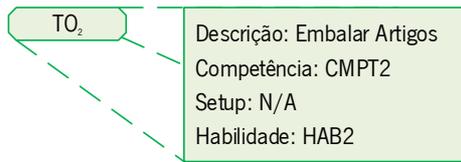


Figura 28 - Representação Gráfica do Tipo de Operação Produtivo "Embalar Artigos"

A título de exemplo apresenta-se o detalhe do tipo de operação produtivo "Embalar Artigos" (Figura 29):



Figura 29 - Definição do Tipo de Operação Produtivo "Embalar Artigos" no Software

### Artigos:

Os artigos necessários para a caracterização do caso de estudo são (Tabela 22):

Tabela 22 - Artigos no Caso de Estudo

Artigos			
Código	Descrição	Unidade de Quantidade	Lead Time (Dias)
ARTG1	Antena	UN	5
ARTG2	Caixa Embalagem	UN	2
ARTG3	Fita Cola	UN	2
ARTG4	Palete	UN	2
ARTG5	Plástico	UN	3
ARTG6	Contentor	UN	2

A título de exemplo apresenta-se a representação gráfica da Antena (Figura 30):

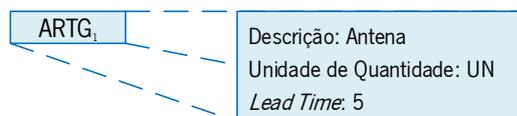


Figura 30 - Representação Gráfica do Artigo "Antena"

A título de exemplo apresenta-se o detalhe do artigo encomendado, a “Antena” (Figura 31):

Figura 31 - Definição do Artigo "Antena" no Software

Como foi apontado na secção 3.8, existem características necessárias na caracterização do artigo e de outros conceitos que não foram exploradas na dissertação visto não afetarem o caso de estudo em questão.

### Operações de Embalagem dos Artigos:

No caso de estudo apresentado, apenas a antena tem operações de embalagem. Tendo em consideração que: “Este contentor é composto por 11 paletes plastificadas cada uma contendo 64 caixas fechadas com fita cola e cada caixa contém 8 antenas” e que, devido às habilidades dos postos existentes na organização, a antena tem uma operação onde são embaladas as antenas nas caixas de embalagem e as mesmas fechadas com fita cola (Tabela 23):

Tabela 23 - Operações de Embalagem dos Artigos no Caso de Estudo

Operações de Embalagem dos Artigos						
Código do Artigo	Código da Operação	Descrição	Código do Tipo de Operação Produtiva	Código do Tipo de Consumo	Duração	Tamanho do Lote de Embalagem
ARTG1	OPER1	Embalar e Fechar Caixa com Antena	T02	F	0,5	8

Na Figura 32 está apresentada a representação gráfica da operação de embalagem da antena.

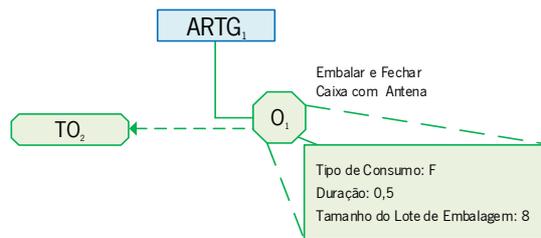


Figura 32 - Representação Gráfica da Operação “Embalar e Fechar Caixa com Antenas”

De acordo com o caso de estudo, apenas existe uma operação de embalagem dos artigos cuja criação é apresentada na Figura 33.



Figura 33 - Definição da Operação “Embalar e Fechar Caixa com Antena” no Software

### Componentes das Operações de Embalagem dos Artigos:

Com base na operação de embalagem criada anteriormente, os componentes a criar nesta operação tendo em consideração o caso de estudo são (Tabela 24):

Tabela 24 – Componentes das Operações de Embalagem dos Artigos no Caso de Estudo

Componentes das Operações de Embalagem dos Artigos						
Código do Artigo	Código da Operação de Embalagem	Descrição do Componente	Código do Artigo Componente	Consumo	Código do Tipo de Consumo	Turnaround Time
ARTG1	OPER1	Caixa para Embalar Antena	ARTG2	8	F	0
ARTG1	OPER1	Antenas a Embalar	ARTG1	1	F	5
ARTG1	OPER1	Fita Cola para Fechar Caixa	ARTG3	0,25	F	0

No caso de estudo, existem três componentes, a caixa de embalagem, a fita cola para fechar as caixas e as antenas que são componentes no seu próprio processo de embalagem. A título de exemplo apresenta-se a representação gráfica do componente “Fita Cola para Fechar Caixa” na Figura 34.

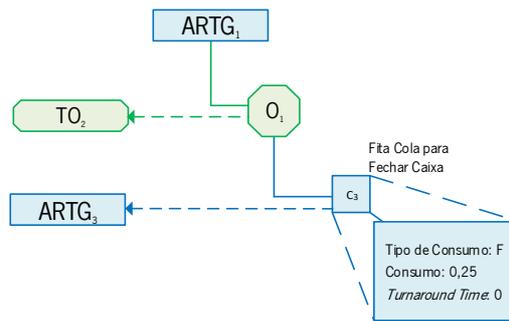


Figura 34 - Representação Gráfica do Componente “Fita Cola para Fechar Caixa” na Operação “Embalar e Fechar Caixa com Antenas”

A título de exemplo, na Figura 35, demonstra-se a criação do componente “Caixa para Embalar Antena”.

Figura 35 - Definição do Componente “Caixa para Embalar Antena” no Software

### **Precedências das Operações de Embalagem dos Artigos:**

No caso de estudo, só existe uma operação de embalagem da antena, como tal, não existem precedências a serem definidas.

### **BOMO de Embalagem dos Artigos:**

No caso de estudo apresentado, a BOMO de embalagem da Antena é (Figura 36):

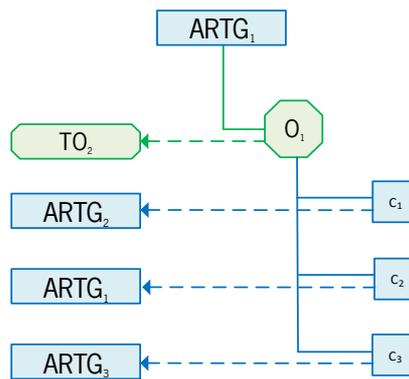


Figura 36 - Representação Gráfica da BOMO de Embalagem da Antena

No *software* desenvolvido apresenta-se na Figura 37 a BOMO de embalagem do artigo “Antena” no formato em árvore.

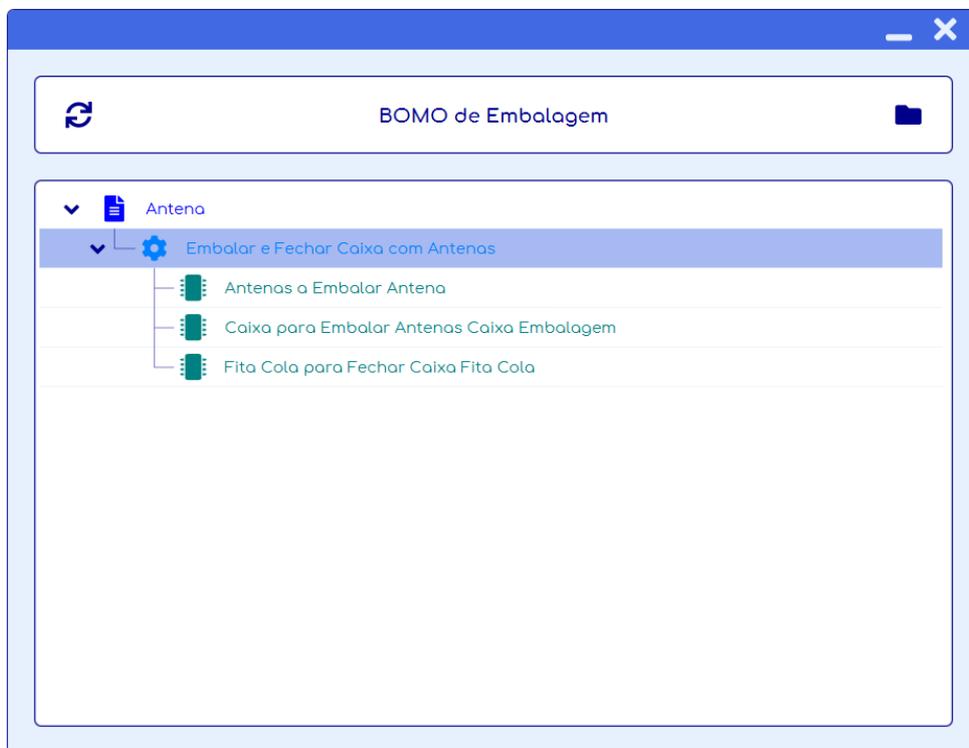


Figura 37 - BOMO de Embalagem da "Antena" no Software

### Encomendas:

A encomenda no caso de estudo é definida como (Tabela 25):

Tabela 25 - Encomendas no Caso de Estudo

Encomendas				
Código da Encomenda	Código do Terceiro	Código do Artigo	Quantidade	Data de Entrega
ENC01	CLIN1	ARTG1	5632	30/01/2024

A data de entrega da encomenda está definida ao dia anterior da data de expedição. Esta característica batizada “Data de Entrega” não simboliza a data de entrega da encomenda ao cliente, mas sim a entrega da encomenda aos processos de expedição. O objetivo deste pormenor é permitir ao planeamento realizado na área funcional PCP terminar as operações de embalagem até ao final do dia 30/01/2024 e ficar com o dia 31/01/2024 para a realização das operações de expedição.

A representação gráfica da encomenda é (Figura 38):

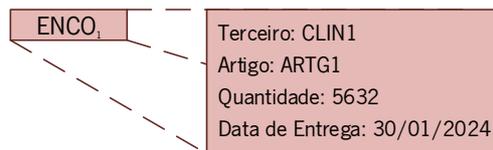


Figura 38 - Representação Gráfica da Encomenda de Antenas

Na Figura 39 apresenta-se o detalhe da encomenda criada no *software* no âmbito do caso de estudo apresentado.

Encomenda	
Terceiro	Cliente 1
ID Ordem	1
Estado	Em Criação
Artigo	Antena
Quantidade	5632
Data Entrega	30 Janeiro 2023

- Consultas**
  - Conferir Encomenda
  - Operações de Embalagem da Encomenda
  - Ordem de Programação da Encomenda
- Detalhar**
  - Criar Operação de Embalagem da Encomenda
- Executar**
  - Criar Encomenda
- Área de Trabalho**
  - Indicadores/Alertas
- Lazy Mode**
  - Adicionar
  - Criar

Figura 39 - Definição da Encomenda no Software

### **BOMO da Encomenda:**

Com o funcionamento do modelo dá-se a herança da BOMO de embalagem do artigo encomendado para a BOMO da encomenda

No caso de estudo apresentado, a BOMO da encomenda é (Figura 40):

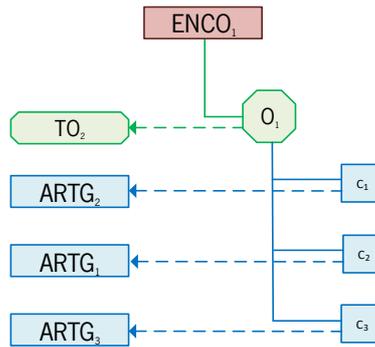


Figura 40 - Representação Gráfica da BOMO da Encomenda 1

No *software* desenvolvido apresenta-se na Figura 41 a BOMO da encomenda 1 no formato em árvore. Esta BOMO foi criada automaticamente pelo sistema através da herança da BOMO de embalagem do artigo encomendado, como tal, a árvore apresenta-se muito semelhante, à exceção da sua raiz que agora remete para a encomenda 1 e não para o artigo “Antena”.

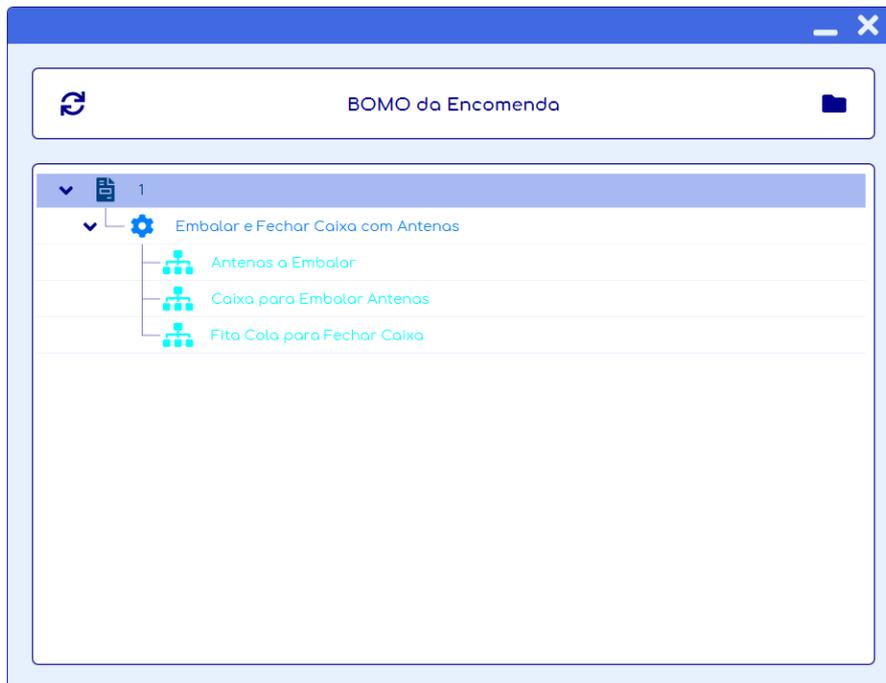


Figura 41 - BOMO da Encomenda 1 no Software

### Embalagem Standard:

A definição da embalagem standard no caso de estudo é (Tabela 26):

Tabela 26 - Embalagem Standard no Caso de Estudo

Embalagem Standard				
Código da Embalagem	Descrição	Código do Tipo de Operação Produtiva	Duração	Tamanho do Lote de Embalagem
EMBSTD	Separar	TO2	0,333333	1

A sua representação gráfica apresenta-se na Figura 42:

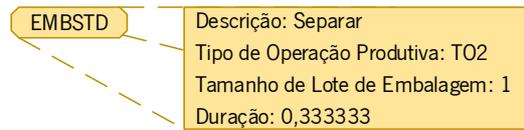


Figura 42 - Representação Gráfica da Embalagem Standard

De acordo com o caso de estudo, existe uma embalagem standard cuja criação é apresentada na Figura 43.

Criar Embalagem Standard

ID Embalagem: EMBSTD

Desc. Embalagem: Separar

Tipo Operação: Embalar Artigos

Tamanho Lote Embalagem: 1

Tempo (Min): 0.33

Executar Cancelar

Figura 43 - Definição da Embalagem Standard "Separar" no Software

### 5.2.2. Representação de Operações de Expedição

O objetivo desta subsecção é apresentar a definição de todas as entidades apresentadas para o modelo de representação de operações de expedição no âmbito do caso de estudo definido. Adicionalmente, no *software* desenvolvido, são definidas algumas das entidades apresentadas para o modelo de representação de operações de expedição no âmbito do caso de estudo definido.

#### Tipos de Unidades de Expedição:

Os tipos de unidades de expedição necessários para o caso de estudo são (Tabela 27):

Tabela 27 - Tipos de Unidades de Expedição no Caso de Estudo

Tipos de Unidades de Expedição	
Código	Descrição
TUEXP1	Palete
TUEXP2	Contentor

No caso de estudo existem dois tipos de unidades de expedição. Devido às suas características podem ser apresentados ambos na Figura 44:

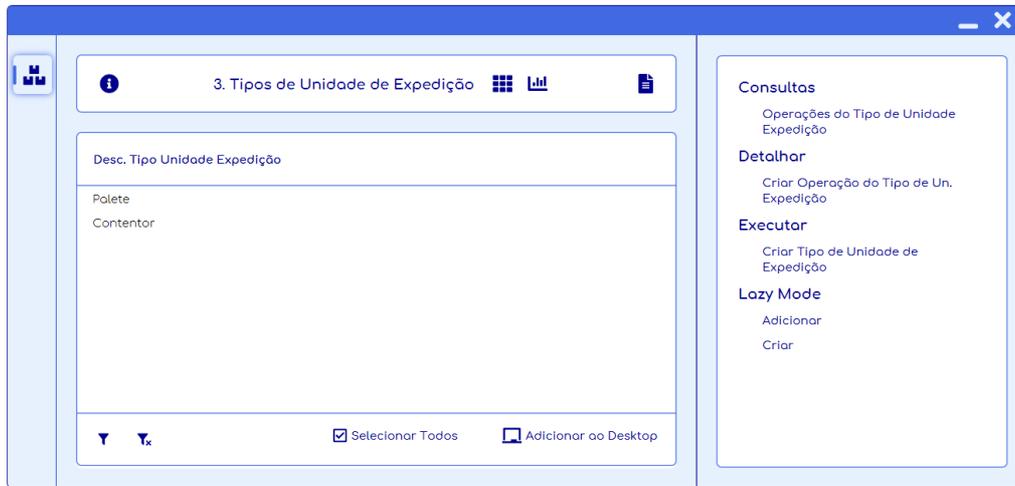


Figura 44 - Definição de Tipos de Unidades de Expedição no Software

### Operações dos Tipos de Unidades de Expedição:

Na organização, as paletes são construídas e plastificadas no mesmo posto numa única operação. No que toca ao contentor, o mesmo é carregado com as paletes plastificadas e fechado para a expedição no mesmo posto. Assim sendo, as operações destes dois tipos de unidades de expedição são (Tabela 28):

Tabela 28 - Operações dos Tipos de Unidades de Expedição no Caso de Estudo

Operações dos Tipos de Unidades de Expedição						
Código do Tipo de Unidade de Expedição	Código da Operação	Descrição	Código do Tipo de Operação Produtiva	Código do Tipo de Consumo	Duração	Tamanho do Lote de Expedição
TUEXP1	OPER1	Montar e Plastificar Paleta	T04	F	10	1
TUEXP2	OPER1	Encher Contentor	T03	F	20	1

A título de exemplo apresenta-se a representação gráfica da operação “Encher Contentor” (Figura 45):

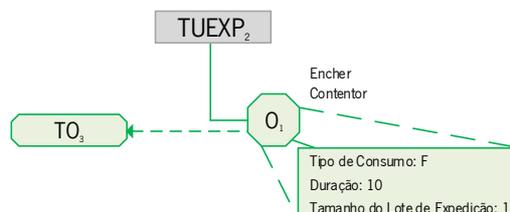


Figura 45 - Representação Gráfica da Operação “Encher Contentor” do Tipo de Unidade de Expedição “Contentor”

No caso de estudo existem duas operações de dois tipos de unidades de expedição diferentes. A título de exemplo, na Figura 46, demonstra-se o detalhe da Operação “Encher Contentor” do tipo de unidade de expedição “Contentor”.



Figura 46 - Definição da Operação "Encher Contentor" no Software

### Componentes das Operações dos Tipos de Unidades de Expedição:

Os componentes dos tipos de unidades de expedição refletem os artigos utilizados como componentes nas operações dos tipos de unidades de expedição. Considerando o caso de estudo (Tabela 29):

Tabela 29 - Componentes das Operações dos Tipos de Unidades de Expedição no Caso de Estudo

Componentes das Operações dos Tipos de Unidades de Expedição						
Código do Tipo de Unidade de Expedição	Código da Operação de Expedição	Descrição do Componente	Código do Artigo Componente	Consumo	Código do Tipo de Consumo	Turnaround Time
TUEXP1	OPER1	Artigo Paleta	ARTG4	1	F	0
TUEXP1	OPER1	Artigo Plástico	ARTG5	1	F	0
TUEXP2	OPER1	Artigo Contentor	ARTG6	1	F	0

Como exemplo apresenta-se o “Artigo Paleta” como componente da operação “Montar e Plastificar Paleta” na Figura 47:

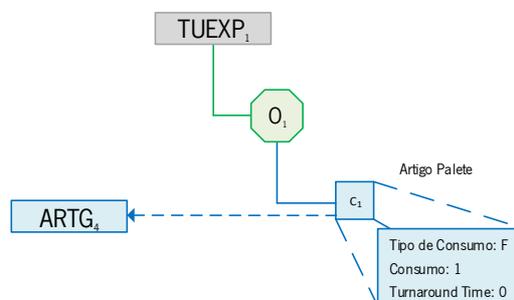


Figura 47 - Representação Gráfica do Componente “Artigo Paleta” na Operação “Montar e Plastificar Paleta” do Tipo de Unidade de Expedição “Paleta”

No caso de estudo existem dois componentes da operação “Montar e Plastificar Palete”, a título de exemplo, na Figura 48, demonstra-se a criação do componente “Artigo Plástico”.

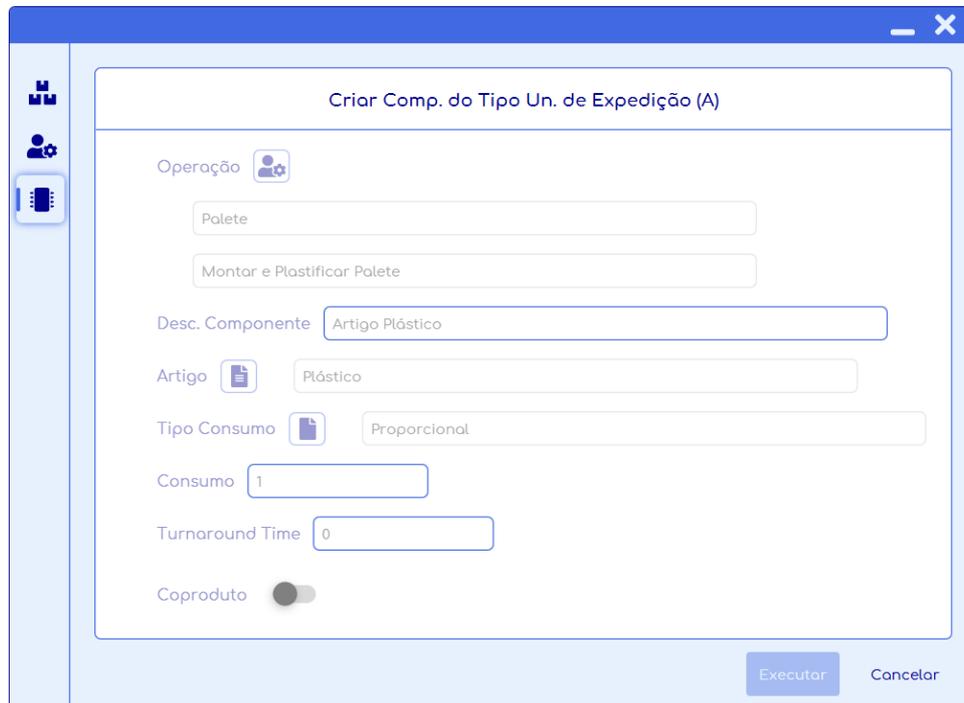


Figura 48 - Definição do Componente “Artigo Plástico” no Software

**Precedências das Operações dos Tipos de Unidades de Expedição:**

Devido às operações dos tipos de unidades de expedição apresentadas no caso de estudo, não existem precedências a definir uma vez que cada tipo de unidade de expedição apenas apresenta uma operação.

**BOMO dos Tipos de Unidades de Expedição:**

No caso de estudo apresentado, as BOMO dos tipos de unidades de expedição apresentados são (Figura 49):

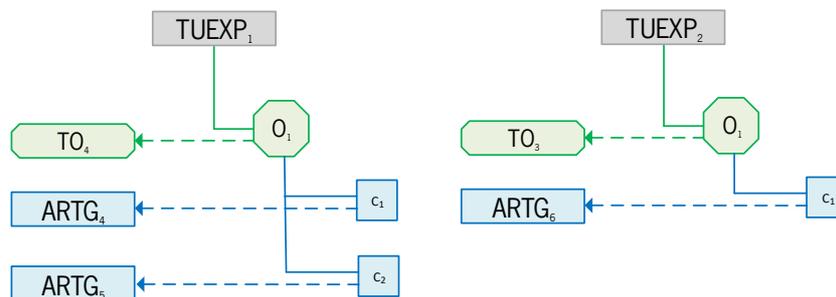


Figura 49 - Representação Gráfica das BOMO dos Tipos de Unidades de Expedição “Palete” e “Contentor”

Na Figura 50 apresentam-se as BOMO dos tipos de unidades de expedição, no SMS, criados no caso de estudo:

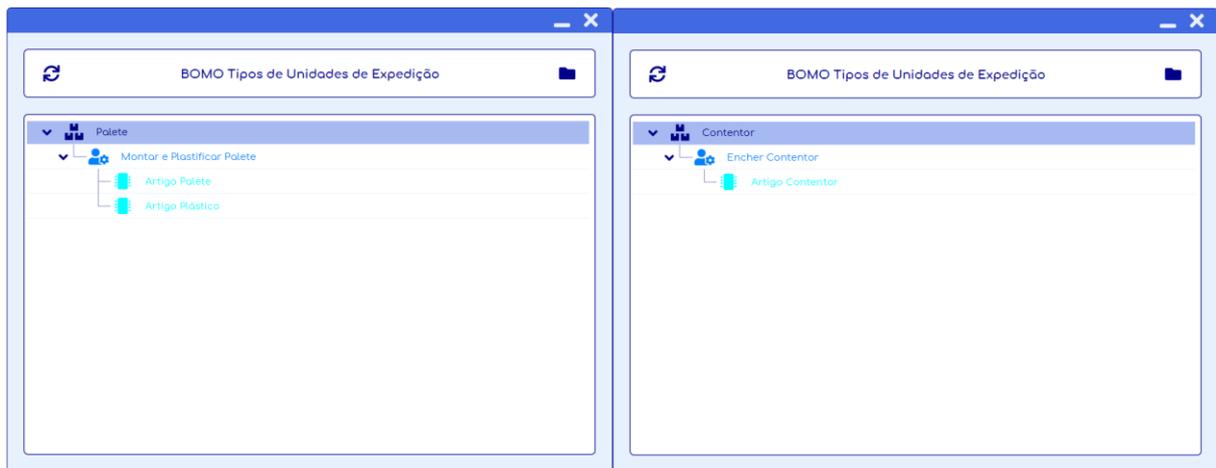


Figura 50 - BOMO dos Tipos de Unidades de Expedição no Software

### Listas de Expedição:

Com vista a satisfazer a encomenda do Cliente 1 com a estrutura definida para a expedição especificada no caso de estudo é necessário criar uma lista de expedição que terá duas unidades de expedição de dois tipos de unidades de expedição diferentes, uma para as paletes e outra para o contentor. Estas estruturas são conhecidas pela organização e usadas frequentemente para satisfazer outras necessidades de expedição com estruturas semelhantes (paletes plastificadas dentro de um contentor). Desta forma, a lista de expedição do caso de estudo apresenta-se como (Tabela 30):

Tabela 30 - Lista de Expedição no Caso de Estudo

Listas de Expedição			
Código	Terceiro	Data Início	Data Fim
1	Cliente 1	31/01/2024	31/01/2024

A data de início e fim da lista de expedição é a mesma visto que os processos de embalagem da encomenda estão completos até ao final de dia 30/01. Devido à reduzida duração das operações de expedição um dia útil é suficiente para a realização das mesmas.

De acordo com o caso de estudo, apenas existe uma lista de Expedição cuja criação é apresentada na Figura 51:



Figura 51 - Definição da Lista de Expedição no Software

### Unidades de Expedição:

Com base no caso de estudo apresentado, têm de ser criadas duas unidades de expedição (Tabela 31):

Tabela 31 - Unidades de Expedição no Caso de Estudo

Unidades de Expedição					
Código	Descrição	Código da Lista de Expedição	Dimensão	Quantidade	Tipo de Unidade de Expedição
UEXP1	Palete para Cliente 1	1	DIM2	11	TUEXP1
UEXP2	Contentor para Cliente 1	1	DIM1	1	TUEXP2

Com as informações do caso de estudo é possível contabilizar a quantidade de unidades de expedição. Desta forma, é necessário um contentor e onze paletes para satisfazer as necessidades de expedição. A título de exemplo apresenta-se a unidades de expedição “Palete para Cliente 1” na Figura 52:

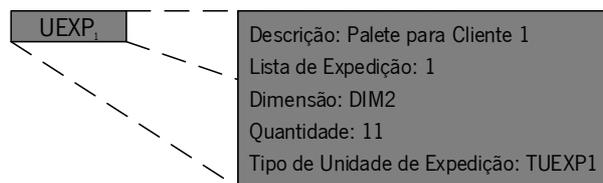


Figura 52 - Representação Gráfica da Unidade de Expedição “Palete para Cliente 1”

Na Figura 53 apresenta-se a criação da unidade de expedição “Palete para Cliente 1”.



Figura 53 - Definição da Unidade de Expedição “Paquete para Cliente 1” no Software

### **BOMO das Unidades de Expedição:**

Com o funcionamento do modelo de expedição dá-se a herança das BOMO dos tipos de unidades de expedição para as unidades de expedição que contém o tipo de unidade de expedição associado. No entanto, estas BOMO não se encontram completas e, como tal, é necessário definir as encomendas componentes e as unidades de expedição componentes das operações de expedição.

### **Componentes das Operações das Unidades de Expedição:**

Com o funcionamento do modelo de expedição dá-se a herança dos artigos componentes das operações dos tipos de unidades de expedição para as operações da unidade de expedição. No entanto, tal como foi apresentado no modelo, cabe ao utilizador definir as encomendas componentes e as unidades de expedição componentes das operações das unidades de expedição. Desta forma:

#### Encomendas Componentes Definidas pelo Utilizador nas Operações das Unidades de Expedição:

Tabela 32 - Encomendas Componentes das Operações das Unidades de Expedição no Caso de Estudo

<b>Encomendas Componentes das Operações das Unidades de Expedição</b>						
<b>Código da Unidade de Expedição</b>	<b>Código da Operação de Expedição</b>	<b>Descrição do Componente</b>	<b>Código da Encomenda Componente</b>	<b>Consumo</b>	<b>Código do Tipo de Consumo</b>	<b>Turnaround Time</b>
UEXP1	OPER1	Encomenda para Construir Paquete	ENC01	512	F	0

A quantidade de encomenda definida como componente desta operação reflete o número de antenas por caixa multiplicado pelo número de caixas que vão completar uma paquete.

Tal como foi explicitado no modelo é também necessário definir quais as encomendas componentes das operações. Desta forma, a encomenda 1 será componente da operação “Montar e Plastificar Paquete” da unidade de expedição “Paquete para Cliente 1” cuja criação é apresentada na Figura 54.

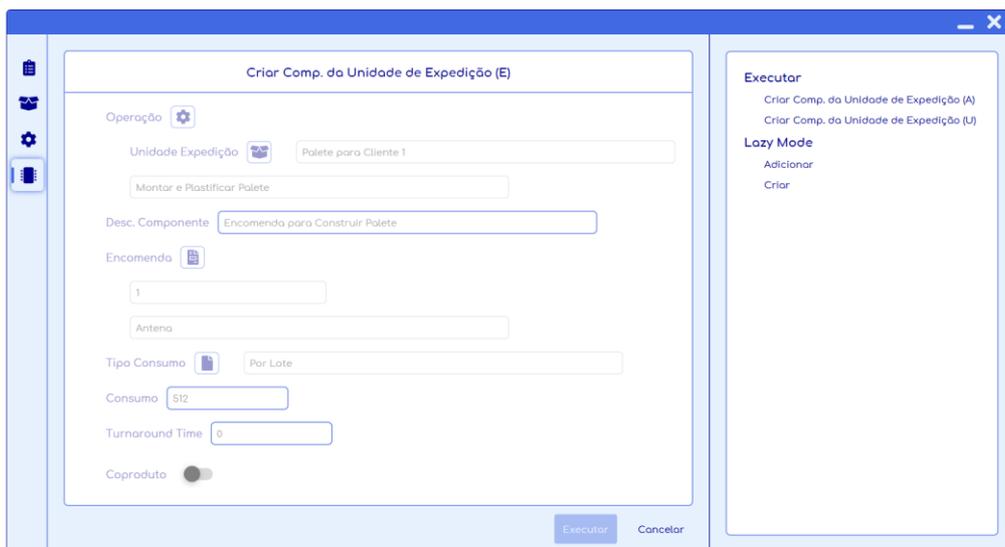


Figura 54 - Definição do Componente "Encomenda para Construir Palete" da Operação da Unidade de Expedição "Palete para Cliente 1" no Software

Unidades de Expedição Componentes Definidas pelo Utilizador nas Operações das Unidades de Expedição:

Tabela 33 - Unidades de Expedição Componentes das Operações de Expedição das Unidades de Expedição no Caso de Estudo

Unidades de Expedição Componentes das Operações de Expedição das Unidades de Expedição						
Código da Unidade de Expedição	Código da Operação de Expedição	Descrição do Componente	Código da Unidade de Expedição Componente	Consumo	Código do Tipo de Consumo	Turnaround Time
UEXP2	OPER1	Palete para Contentor Pronto a Expedir	UEXP1	11	F	0

No caso de estudo apresentado as paletes vão ser inseridas no contentor, como tal, as unidades de expedição "Palete para Cliente 1" são componentes da única operação da unidade de expedição "Contentor para Cliente 1".

De acordo com o caso de estudo, a unidade de expedição "Palete para Cliente 1" é também componente da operação "Encher Contentor" da unidade de expedição "Contentor para Cliente 1". A sua criação é apresentada na Figura 55.

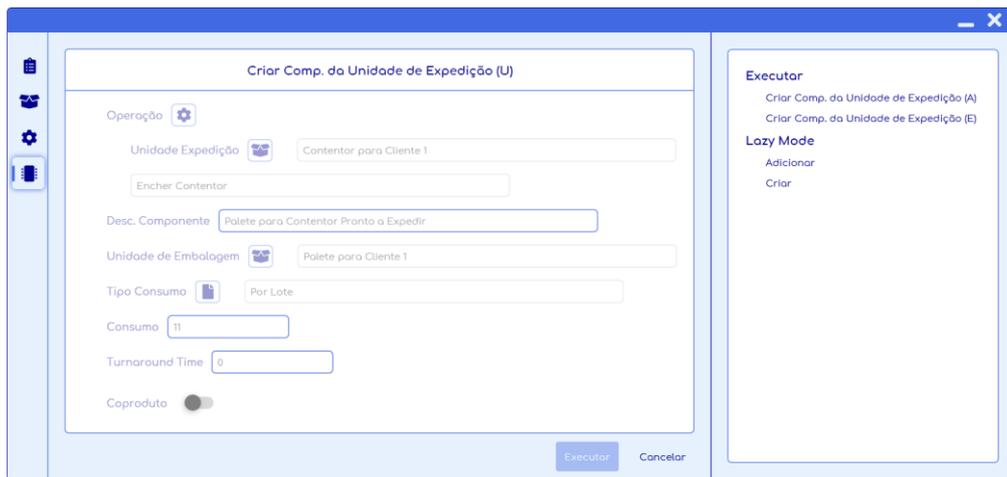


Figura 55 - Definição do Componente "Palete para Contentor Pronto a Expedir" da Operação da Unidade de Expedição "Contentor para Cliente 1" no Software

A título de exemplo apresentam-se, com detalhe, todos os componentes da operação "Montar e Plastificar Palete" da unidade de expedição "Palete para Cliente 1" (Figura 56).

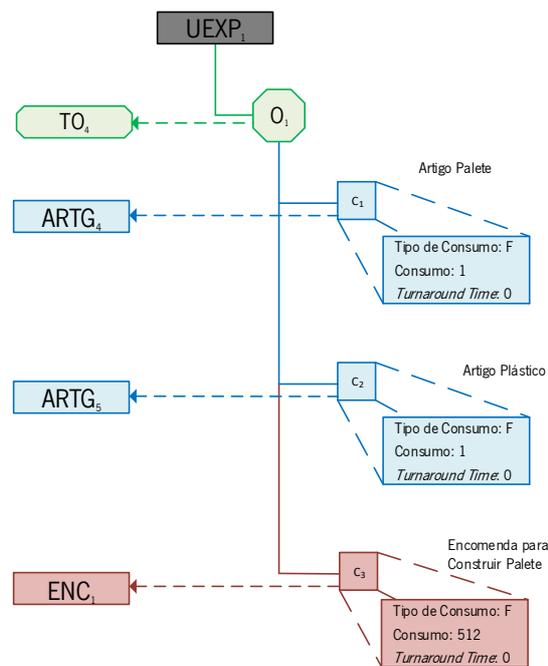


Figura 56 - Representação Gráfica dos Componentes na Operação "Montar e Plastificar Palete" da Unidade de Expedição "Palete para Cliente 1"

No caso de estudo apresentado, as BOMO das de unidades de expedição apresentados são (Figura 57):

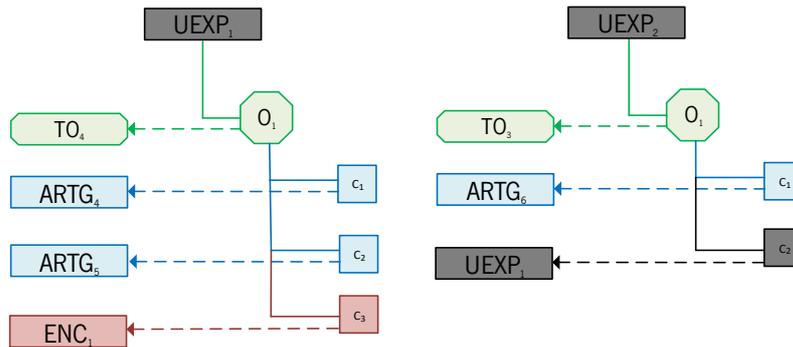


Figura 57 - Representação Gráfica das BOMO das Unidades de Expedição “Paleta para Cliente 1” e “Contentor para Cliente 1”

Devido à representação em árvore apresentada pelo *software* bem como o facto de a unidade de expedição “Paleta para Cliente 1” ser componente na operação “Encher Contentor” da unidade de expedição “Contentor para Cliente 1” é possível apresentar uma BOMO integrada das unidades de expedição (Figura 58).

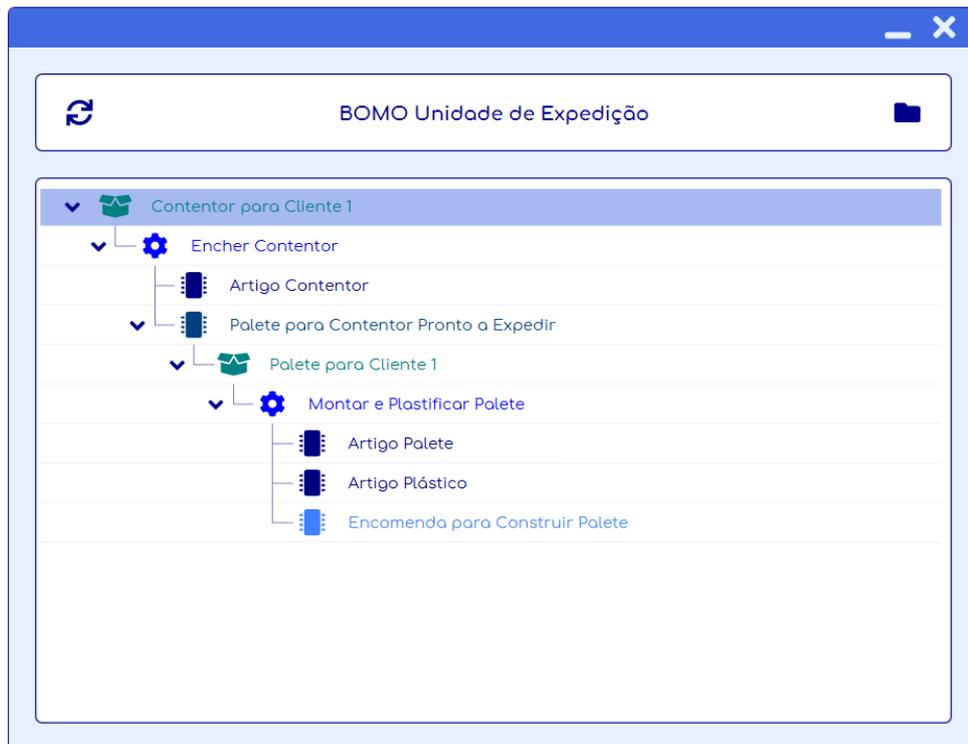


Figura 58 - BOMO das Unidades de Expedição no Software

### 5.3. Impacto dos Modelos no *Smart Manufacturing System*

O objetivo desta secção é apresentar os impactos dos modelos de representação de operações de embalagem e de operações de expedição nas áreas funcionais alimentadas pela informação disponibilizada pelos modelos tendo como base o caso de estudo apresentado.

Esta secção encontra-se dividida em duas subsecções. Na primeira são apresentados os impactos do caso de estudo modelado no *software* na área funcional de Planeamento e Controlo da Produção. Na segunda são apresentados os impactos do caso de estudo modelado no *software* na área funcional de Programação e Monitorização da Produção.

#### 5.3.1. Planeamento e Controlo da Produção a médio prazo

O objetivo desta subsecção é demonstrar de que forma os modelos de representação de operações de embalagem e expedição influenciam a área funcional de planeamento e controlo da produção a médio prazo. Esta área funcional tem como objetivo definir as quantidades e datas em que é preciso comprar ou produzir artigos para satisfazer as necessidades dos clientes. Desta forma, nesta área funcional encontram-se algoritmos para o planeamento de necessidades de materiais (MRP) e de capacidade (CRP), existem também ferramentas para o lançamento de ordens de compra e de produção derivadas do cálculo do MRP ou por vontade do utilizador.

O Planeamento de Necessidades de Materiais (MRP) necessita de informação dos artigos e componentes nas operações de embalagem e expedição para realizar o planeamento sobre o que produzir ou comprar, em que quantidades e em que datas. Os modelos fornecem informações sobre o *lead time*, tamanho de lote de planeamento dos artigos e stock de segurança dos artigos (apesar do tamanho do lote de planeamento e o stock de segurança não terem sido apresentados na dissertação). O *lead time* é uma informação considerada na definição das datas de cada lançamento previsto e o tamanho de lote de planeamento e stock de segurança influenciam as quantidades a produzir ou a comprar. As definições dos componentes das operações fornecem informações sobre os componentes a produzir ou comprar para satisfazer as necessidades de materiais.

O Planeamento de Necessidades de Capacidade (CRP) necessita de informação sobre as operações. Os modelos fornecem informações sobre as competências dos tipos de operação associados às operações para definir perfis de capacidade. Os tempos das operações permitem o cálculo da capacidade necessária de cada competência para cada período.

#### **Operações de Embalagem:**

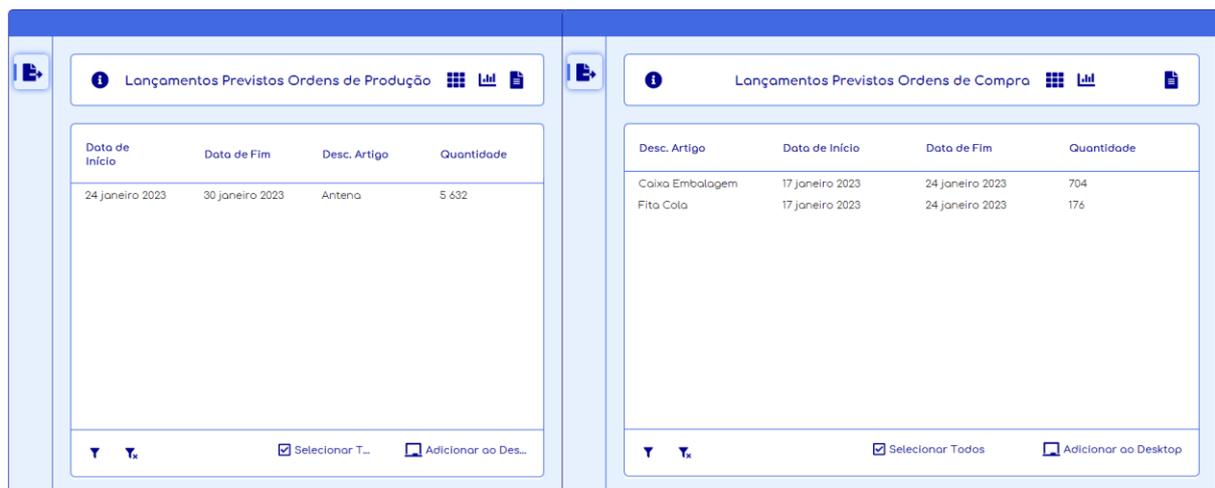
De acordo com o caso de estudo existe uma encomenda para o dia 30 de janeiro de 2024 (Figura 39). Os artigos necessários para satisfazer o embalamento do artigo encomendado são: antena, caixa de embalagem e fita cola. Todos os artigos têm um *lead time* de cinco dias. Desta forma, considerando o estado inicial do sistema onde não existem ordens lançadas, o sistema sugere um lançamento previsto de 5632 antenas para o dia 24 de janeiro de 2024 que estarão completas no dia 30 de janeiro de 2024.

No que diz respeito aos componentes da operação de embalagem da antena: caixa de embalagem e fita cola, os mesmos apresentam um *turnaround time* de zero. Como tal, a sua data de fim é no dia 24 de janeiro de 2024 e a sua data de início é no dia 17 de janeiro de 2024, respeitando o *lead time* de cinco dias.

No que diz respeito ao componente “Antena”, o mesmo apresenta um *lead time* de cinco dias e um *turnaround time* de cinco dias, assim sendo, esta informação traduz-se na necessidade de antenas para embalar nos mesmo períodos da produção das mesmas. Assim sendo, a sua data de início é para o dia 24 de janeiro de 2024 que estarão completas no dia 30 de janeiro de 2024, que está refletido no lançamento previsto de antenas.

No que diz respeito às quantidades, apesar de estarem definidos valores para o tamanho de lote de planeamento, estes são inferiores às necessidades, como tal o sistema devolve as quantidades estritamente necessárias para satisfazer as necessidades. Não havendo stock de segurança definido o sistema devolve as quantidades estritamente necessárias para satisfazer as necessidades.

Na Figura 59 encontram-se os lançamentos previstos devolvido pelo sistema.



Lançamentos Previstos Ordens de Produção			
Data de Início	Data de Fim	Desc. Artigo	Quantidade
24 janeiro 2023	30 janeiro 2023	Antena	5 632

Lançamentos Previstos Ordens de Compra			
Desc. Artigo	Data de Início	Data de Fim	Quantidade
Caixa Embalagem	17 janeiro 2023	24 janeiro 2023	704
Fita Cola	17 janeiro 2023	24 janeiro 2023	176

Figura 59 - Lançamentos Previstos Devolvidos pelo Software

No sistema informático a encomenda gera o plano de necessidades de capacidade para a competência do tipo de operação associado à operação de embalagem do artigo “Antena”, para as respetivas datas de início e fim.

Na Figura 60 é apresentado o gráfico do Plano de Necessidades de Capacidade, com uma necessidade de capacidade da competência “Embalar” de aproximadamente 70 minutos diários distribuídos pelos 5 dias de *lead time* da Antena a contar de dia 30 de janeiro de 2024 para trás o que resulta nas datas de 24 de janeiro de 2024 a 30 de janeiro de 2024.



Figura 60 - Gráfico de Necessidades de Capacidade Diárias Devolvido pelo Software

### Operações de Expedição:

Os resultados do planejamento a médio prazo apresentados para a expedição têm em consideração os resultados apresentados para a embalagem. Desta forma, para satisfazer as necessidades de expedição, de acordo com o caso de estudo, existe uma lista de expedição cujas atividades têm de ser iniciadas e terminadas no dia 31 de janeiro de 2024.

No que diz respeito ao planejamento de necessidades de materiais os artigos componentes para as duas unidades de expedição criadas no caso de estudo têm de estar disponíveis no início de dia 31 de janeiro de 2024. Desta forma, o cálculo do MRP apresentado na Figura 61 reflete as datas de início e fim dos lançamentos previstos destes componentes, bem como as quantidades necessárias tendo em consideração as características dos artigos e dos artigos componentes apresentados.

Assim sendo, existe a necessidade de comprar onze paletes, onze unidades de plástico e um contentor na data 25 de janeiro de 2024 para estarem disponíveis a serem utilizados no início do dia 31 de janeiro de 2024.

Desc. Artigo	Data de Início	Data de Fim	Quantidade
Palete	25 janeiro 2024	31 janeiro 2024	11
Plástico	25 janeiro 2024	31 janeiro 2024	11
Contentor	25 janeiro 2024	31 janeiro 2024	1

Figura 61 - Lançamentos Previstos Devolvidos pelo Software

O resultado do cálculo do planeamento de necessidades de capacidade encontra-se na Figura 62 onde se pode observar a necessidade de duas competências de modo a satisfazer os dois tipos de operação utilizados nas operações das duas unidades de expedição, “Expedir” e “Plastificar”. Sendo que são necessários 110 minutos de plastificação e 20 minutos de expedição no dia 31 de janeiro de 2024 de modo a satisfazer as necessidades criadas pelas unidades de expedição do caso de estudo.

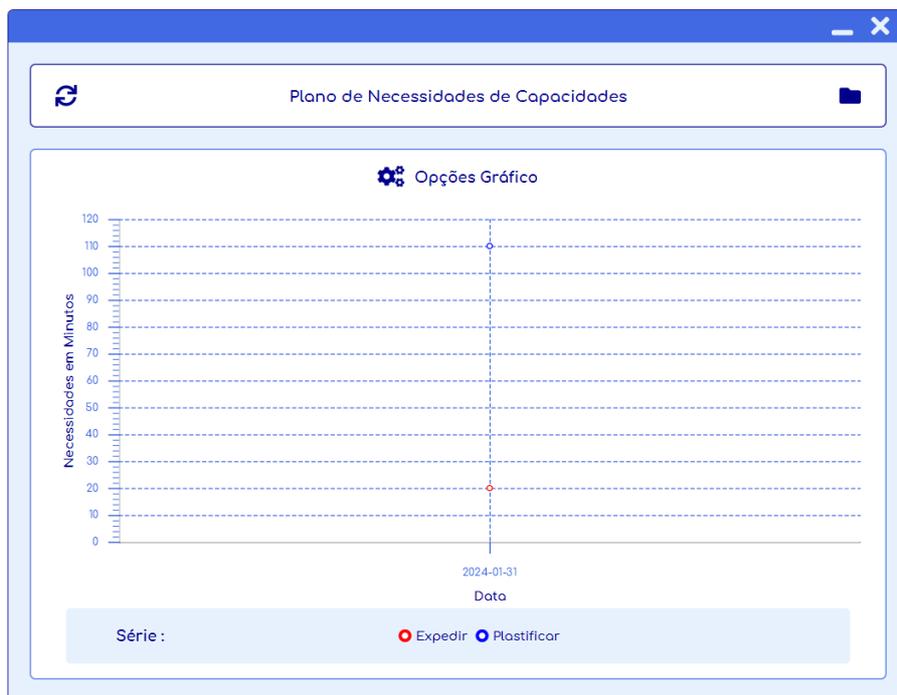


Figura 62 - Gráfico de Necessidades de Capacidade Diárias Devolvido pelo Software

### 5.3.2. Programação e Monitorização da Produção

O objetivo desta subsecção é demonstrar de que forma os modelos de representação de operações de embalagem e expedição influenciam a área funcional de programação e monitorização da produção. Esta área funcional tem como objetivo a alocação e sequenciação de trabalhos pelo chão de fábrica para ser cumprido o planeamento definido no médio prazo, para isso, dá-se a utilização de um conjunto de algoritmos e funções de alocação de trabalhos a postos, sincronização de atividades, cálculo do número de *Kanbans*, etc. Esta área funcional também compreende a monitorização da execução dos trabalhos que foram alocados. Desta forma, são analisados os processos de geração e alocação de trabalhos a postos, bem como a execução de atividades nos postos.

#### **Geração dos Trabalhos:**

No caso de estudo apresentado o resultado da aplicação de ambos os modelos são as respetivas BOMO da encomenda e das unidades de expedição. Nas BOMO encontram-se as operações e respetivas características bem como os componentes e respetivas características (no caso de estudo não existem precedências de operações). Como tal, é nesta área funcional que se dá a criação dos trabalhos com base nestas estruturas, respetivos elementos e respetivas características.

Com o lançamento da encomenda o sistema gera 704 trabalhos da encomenda que refletem a operação de “Embalar e Fechar Caixa com Antena”, estes trabalhos têm a duração de 30 segundos (0,5 minutos) – graças ao tipo de consumo Fixo definido. Cada trabalho tem uma quantidade de 8 antenas a embalar (Figura 63).

ID Trabalho	ID Ordem	Desc. Artigo	Desc. Operação	Quantidade	Duração	Estado
704	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
703	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
702	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
701	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
700	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
699	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
698	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
697	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
696	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
695	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
694	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
693	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
692	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
691	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
690	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
689	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
688	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
687	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW
686	1	Antena	Embalar e Fechar Caixa com A...	8	0.5	NEW

Figura 63 - Trabalhos da Encomenda 1 Gerados pelo Software

De forma semelhante, com a quantidade definida na criação das unidades de expedição e BOMO associada a cada uma, ao lançá-las, o sistema gera onze trabalhos da operação “Montar e Plastificar Palete” com a duração de dez minutos cada e um trabalho da operação “Encher Contentor” com a duração de vinte minutos (Figura 64).

ID Trabalho	Desc. Unidade Expedição	Desc. Operação	Quantidade	Duração	Estado	Fila
705	Palete para C...	Montar e Plastificar...	1	10	NEW	FSYS
706	Palete para C...	Montar e Plastificar...	1	10	NEW	FSYS
707	Palete para C...	Montar e Plastificar...	1	10	NEW	FSYS
708	Palete para C...	Montar e Plastificar...	1	10	NEW	FSYS
709	Palete para C...	Montar e Plastificar...	1	10	NEW	FSYS
710	Palete para C...	Montar e Plastificar...	1	10	NEW	FSYS
711	Palete para C...	Montar e Plastificar...	1	10	NEW	FSYS
712	Palete para C...	Montar e Plastificar...	1	10	NEW	FSYS
713	Palete para C...	Montar e Plastificar...	1	10	NEW	FSYS
714	Palete para C...	Montar e Plastificar...	1	10	NEW	FSYS
715	Palete para C...	Montar e Plastificar...	1	10	NEW	FSYS
716	Contentor pa...	Encher Contentor	1	20	NEW	FSYS

Figura 64 - Trabalhos das Unidades de Expedição Gerados pelo Software

### Alocação de Trabalhos:

O algoritmo de alocação de trabalhos implementado no sistema verifica as seguintes condições para alocar um trabalho a um posto:

- Disponibilidade de componentes: Todos os componentes necessários à realização do trabalho existem no chão de fábrica;
- Verificação das Precedências: todas as operações precedentes já devem ter sido executadas para ocorrer a alocação do trabalho;
- Posto com habilidade e disponível: Deve existir um posto com habilidade para executar os trabalhos e o posto deve estar ativo, ou seja, disponível para executar trabalhos produtivos;
- Espaço na fila do Posto: O posto deve ter espaço na sua fila do posto para que trabalhos possam ser alocados.

Os modelos de representação de operações de embalagem e expedição são responsáveis por disponibilizar as informações relativas aos componentes a consumir em cada operação, as precedências das operações e fornecer informações relativas às habilidades associadas a cada tipo de operação das operações de embalagem e expedição a serem realizadas e que, desta forma, condiciona a alocação de trabalhos a postos.

Aquando da alocação de trabalhos aos postos é gerado um trabalho de *setup* e o mesmo é programado nas atividades do posto. Porém, no caso de estudo não existem *setups* a serem realizados.

Na Figura 65 b), a título de exemplo, é disponibilizada informação sobre os trabalhos alocados ao posto. Carregando na área realçada a vermelho é apresentada a informação detalhada dos trabalhos semelhante ao encontrado na Figura 63.

### **Início/Fim de Trabalhos:**

Para o início de um trabalho é definido nos modelos de representação de operações de embalagem e expedição, caso existam, os componentes da operação necessários para a realização de trabalhos dessa operação e algumas propriedades do componente da operação como, por exemplo, a quantidade a consumir do componente e o tipo de consumo que permite definir a quantidade a consumir do componente no trabalho da operação - Figura 65 a). Carregando na área realçada a vermelho é possível consultar com detalhe os componentes a utilizar na realização do trabalho 29. O sistema só sugere o início de um trabalho quando reconhece que os componentes necessários para a realização da operação já se encontram no posto. A chegada de componentes a um posto é realizada através de algoritmos de sincronização de atividades de chão de fábrica e pode ser realizada, por exemplo, por um comboio logístico ou por um colaborador de um posto. Depende das características definidas pela organização no sistema.

Após início de um trabalho o sistema sugere o seu término e, quando o colaborador terminar a sua execução, pode dar fim ao trabalho no sistema carregando no botão verde (Figura 66).



Figura 65 - Terminal do Software a Sugerir o Início de um Trabalho de Embalagem



Figura 66 - Terminal do Software a Sugerir o Fim de um Trabalho de Embalagem

## 6. CONCLUSÕES

Os requisitos introduzidos pela Indústria 4.0 aliados à evolução histórica da produção levaram a novos desenvolvimentos científicos e ao desenvolvimento do conceito de *Smart Manufacturing System*. Estes sistemas são capazes de integrar os requisitos da Indústria 4.0, os requisitos de um SPCP e conseguem uma evolução na integração de novas tecnologias para dar resposta a necessidades cada vez mais específicas de forma eficiente e com o menor esforço possível ao utilizador. É neste âmbito que surgem os modelos de representação de operações de embalagem e de expedição implementados no SMS desenvolvido no projeto de investigação *ContiFoF*, que pretendem atender, de forma eficiente, a diversidade associada aos processos de embalagem e expedição.

Este documento tem como principal objetivo a apresentação de modelos para a representação de operações de embalagem e expedição. Para alcançar este objetivo foi necessário: demonstrar a importância de representar estes processos, desenvolver modelos que respondessem aos problemas existentes com estes processos, explicar os modelos desenvolvidos e apresentar as suas integrações e impactos no SMS desenvolvido com diferentes casos de estudo.

O modelo de representação de operações de embalagem permite a representação da informação de todos os processos de embalagem de uma organização. Estes processos são obrigatórios no SMS desenvolvido, visto que tem sempre de ocorrer, pelo menos, uma operação de separação de artigos para satisfazer uma encomenda. Assim sendo, os resultados da aplicação do modelo resumem-se numa estrutura BOMO associada à encomenda que define todos os processos de embalagem a serem realizados naquela encomenda. A informação relativa à BOMO da encomenda é fornecida a outras áreas funcionais do SPCP. A forma como é criada esta BOMO de encomenda reflete a eficiência do modelo, sabendo que a mesma pode ser herdada da BOMO de embalagem do artigo ou, caso esta não exista, da embalagem standard. A BOMO da encomenda encontra-se depois disponível ao utilizador caso seja necessário realizar alterações para uma encomenda em particular, permitindo lidar com eventuais exceções à regra que possam ocorrer. A regra mencionada define a organização e origem dos processos de embalagem. Neste modelo, a BOMO de embalagem encontra-se anexada ao artigo, uma vez que, na grande maioria das organizações, um artigo é sempre embalado da mesma maneira.

O modelo de representação de operações de expedição permite ao SPCP lidar com todos os processos de expedição de uma organização, caso existam. Devido a este pormenor, o modelo não apresenta qualquer obrigatoriedade no SMS desenvolvido. Os resultados da aplicação do modelo resumem-se numa estrutura BOMO associada às unidades de expedição de uma lista de expedição. Estas estruturas definem todos os processos de expedição a serem realizados nas unidades de expedição de maneira a

completar a lista de expedição. A informação relativa à BOMO das unidades de expedição é fornecida a outras áreas funcionais do SPCP. A forma como são criadas estas BOMO de unidades de expedição reflete a eficiência do modelo, sabendo que a mesma é herdada da BOMO do tipo de unidade de expedição (estruturas padronizadas conhecidas pela organização). A BOMO das unidades de expedição encontram-se depois disponíveis para o utilizador completar as informações restantes no que diz respeito às encomendas componentes ou unidades de expedição componentes nas operações das unidades de expedição e, caso seja necessário, realizar alterações para uma unidade de expedição em particular. Existe a necessidade de acrescentar informação por parte do utilizador, pois não foi possível colmatar estes problemas.

Na apresentação dos modelos são apresentadas representações gráficas para os principais elementos do modelo. A informação relevante definida para cada elemento do modelo indica ao SMS: quais as operações, em que operação cada componente é consumido (uma vez que a lista de materiais fica associada a cada operação) e, por último, qual a ordenação, caso exista, da execução das operações (através da relação de precedência entre operações).

Os modelos permitiram a representação da informação necessária para o caso de estudo. A definição desta informação no SMS permitiu avaliar o impacto da solução nas áreas funcionais de PCP e PMP, nomeadamente, no cálculo do MRP e CRP, tal como, nos algoritmos de alocação de trabalhos a postos. Adicionalmente, permitiu reconhecer a importância de conhecer os elementos e propriedades apresentados no modelo para depreender que repercussões apresentam para o SMS.

A integração dos modelos no SMS demonstrou ser capaz de disponibilizar mais e melhor informação, bem como, realçar a facilidade de utilização, tanto do *software* como dos modelos.

Na perspetiva da realização de trabalhos futuros propõe-se a aplicação dos modelos a mais casos de estudo de diferentes setores industriais – com outros processos de embalagem e expedição – para comprovar a capacidade dos modelos em representar diversas realidades. Estas propostas de modelos não estão fechadas e, futuramente, novas propriedades podem ser adicionadas para representar qualquer característica ou comportamento de um elemento dos modelos, com o objetivo de disponibilizar informação aos algoritmos de outras áreas funcionais do SPCP.

Por fim, apesar da capacidade de representação dos modelos apresentar bons resultados, identificaram-se algumas limitações ao longo deste trabalho, nomeadamente, a necessidade de representar informação sobre as operações de qualidade. Para além disso, reconheceu-se que a representação de operações de transporte externo, apesar de ser possível, os requisitos e integrações ou desenvolvimentos desta área são uma oportunidade a explorar no modelo de representação de operações de expedição.

Por último, apesar dos modelos conseguirem lidar de forma eficiente com a diversidade associada aos processos de embalagem e expedição, o modelo apresentado para a representação de operações de expedição requer informações adicionais por parte do utilizador para se completar a BOMO que será fornecida às áreas funcionais PCP e PMP. Este problema torna o modelo menos eficiente e, como tal, no futuro, poderá culminar numa limitação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., & Yin, B. (2017). Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. *IEEE Access*, *6*, 6505–6519. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682>
- Da Silveira, G., Borenstein, D., & vio Fogliatto, F. S. (2001). *Mass customization: Literature review and research directions*.
- Erol, S., & Sihni, W. (2017). Intelligent Production Planning and Control in the Cloud - Towards a Scalable Software Architecture. *Procedia CIRP*, *62*, 571–576. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.01.003>
- Hellström, D., & Saghir, M. (2007a). Packaging and logistics interactions in retail supply chains. *Packaging Technology and Science*, *20*(3), 197–216. <https://doi.org/10.1002/pts.754>
- Hellström, D., & Saghir, M. (2007b). Packaging and logistics interactions in retail supply chains. *Packaging Technology and Science*, *20*(3), 197–216. <https://doi.org/10.1002/pts.754>
- Kagermann, H., & Wahlster, W. (2022). Ten Years of Industrie 4.0. In *Sci* (Vol. 4, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/sci4030026>
- Kim, Y., Kang, S. H., Lee, S. H., & Yoo, S. B. (2001). A distributed, open, intelligent product data management system. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *14*(2), 224–235. <https://doi.org/10.1080/09511920150216341>
- Lawson, B., Pil, F. K., & Holweg, M. (2018). Multi-Modal Order Fulfillment: Concept and Application. *Production and Operations Management*, *27*(2), 269–284. <https://doi.org/10.1111/poms.12801>
- Lin, F.-R., & Shaw, M. J. (1998). Reengineering the Order Fulfillment Process in Supply Chain Networks. In *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems* (Vol. 10).
- Oluyisola, O. E., Bhalla, S., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2022). Designing and developing smart production planning and control systems in the industry 4.0 era: a methodology and case study. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *33*(1), 311–332. <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01808-w>
- Phuyal, S., Bista, D., & Bista, R. (2020). Challenges, Opportunities and Future Directions of Smart Manufacturing: A State of Art Review. In *Sustainable Futures* (Vol. 2). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2020.100023>
- Qu, Y. J., Ming, X. G., Liu, Z. W., Zhang, X. Y., & Hou, Z. T. (2019). Smart manufacturing systems: state of the art and future trends. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *103*(9–12), 3751–3768. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03754-7>

- Resman, M., Turk, M., & Herakovic, N. (2020). Methodology for planning smart factory. *Procedia CIRP*, 97, 401–406. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.258>
- Robert Jacobs, F., & “Ted” Weston, F. C. (2007). Enterprise resource planning (ERP)-A brief history. *Journal of Operations Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.11.005>
- Sharma\*, A., & Singh, B. J. (2020). Evolution of Industrial Revolutions: A Review. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(11), 66–73. <https://doi.org/10.35940/ijitee.I7144.0991120>
- Sony, M., Antony, J., Mc Dermott, O., & Garza-Reyes, J. A. (2021). An empirical examination of benefits, challenges, and critical success factors of industry 4.0 in manufacturing and service sector. *Technology in Society*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101754>
- Volling, T., Matzke, A., Grunewald, M., & Spengler, T. S. (2013). Planning of capacities and orders in build-to-order automobile production: A review. *European Journal of Operational Research*, 224(2), 240–260. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.07.034>
- Vollmann, T., Jacobs, R., Whybark, C., & Berry, W. (2011). *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management*.
- Wiendahl, H. H., Von Cieminski, G., & Wiendahl, H. P. (2005). Stumbling blocks of PPC: Towards the holistic configuration of PPC systems. *Production Planning and Control*, 16(7), 634–651. <https://doi.org/10.1080/09537280500249280>
- Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018a). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018b). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Zawadzki, P., & Zywicki, K. (2016). Smart product design and production control for effective mass customization in the industry 4.0 concept. *Management and Production Engineering Review*, 7(3), 105–112. <https://doi.org/10.1515/mper-2016-0030>
- Zheng, P., wang, H., Sang, Z., Zhong, R. Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarok, K., Yu, S., & Xu, X. (2018a). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. In *Frontiers of Mechanical Engineering* (Vol. 13, Issue 2, pp. 137–150). Higher Education Press. <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0499-5>
- Zheng, P., wang, H., Sang, Z., Zhong, R. Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarok, K., Yu, S., & Xu, X. (2018b). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives.

In *Frontiers of Mechanical Engineering* (Vol. 13, Issue 2). Higher Education Press.

<https://doi.org/10.1007/s11465-018-0499-5>

Zhou, K., Taigang, L., & Zhou, L. (2015). *Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges*.