

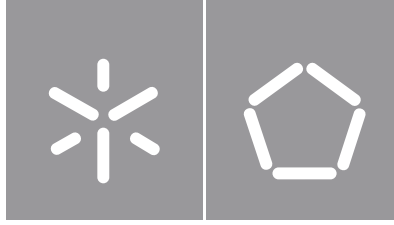


João Carlos Neiva da Cruz Pereira

Implementação do Smart Manufacturing System GenSYS na indústria da construção civil – processo de industrialização do setor

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho

Escola de Engenharia

João Carlos Neiva da Cruz Pereira

**Implementação do Smart Manufacturing
System GenSYS na indústria da construção
civil – processo de industrialização do setor**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Paulo Jorge de Figueiredo Martins

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

Segundo A Origem das Espécies de Darwin, não é a espécie mais inteligente que sobrevive, nem a mais forte; a espécie que sobrevive é a que melhor se adapta ao ambiente em constante mudança onde se encontra. É nesta adaptação contínua que o engenheiro e gestor industrial se destaca quando comparado aos demais profissionais. Posto isto, um obrigado à Universidade do Minho e a todos os seus docentes, por desde cedo me darem a capacidade de estar preparado para qualquer desafio.

A todos os que contribuíram para o meu crescimento ao longo destes anos, um eterno agradecimento.

Ao meu pai, que me inspirou a ser um engenheiro e uma melhor pessoa. À minha mãe, que me ensinou a não me contentar apenas com o suficiente. Ao meu irmão, que me ajudou a superar as dificuldades quando menos as esperava.

Ao meu orientador, Professor Doutor Paulo Martins, por ter trazido o seu conhecimento e rigor, contributos imprescindíveis para a realização desta dissertação.

A toda a equipa da GenSYS, ao Micael, à Andreia, aos meus colegas de estágio, e em especial ao orientador da empresa, João Paulo, por toda a disponibilidade e acompanhamento ao longo deste projeto. Um obrigado também à equipa da BluFab, pela oportunidade que me deram.

Aos amigos que fiz na Universidade do Minho, por todas as memórias que me vão deixar, dos bons e maus momentos; estarão para sempre no meu coração. Foi um prazer partilhar com vocês este percurso. Mais aventuras nos esperam.

Muito obrigado.

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.

RESUMO

A presente dissertação foi elaborada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial. O projeto de investigação foi realizado na GenSYS, empresa que desenvolveu um sistema informático de planeamento e controlo da produção, que está a ser implementado na BluFab, empresa do setor da construção civil. A implementação do sistema *GenSYS* requer a criação de artigos, listas de materiais, operações e gamas operatórias, informação necessária para que o sistema faça a gestão da produção. O objetivo central desta dissertação passa, portanto, pela análise e melhoria do processo de criação destas estruturas, através da metodologia investigação-ação.

Com o intuito de fundamentar teoricamente este projeto de investigação, em particular, a análise crítica da implementação do sistema e o desenvolvimento e implementação da proposta de melhoria, foi realizada uma revisão da literatura. Esta abordou temas da Indústria 4.0, a sua implementação na construção civil, e conceitos relacionados aos sistemas de planeamento e controlo da produção, com destaque para a gestão de informação de artigos.

Através da análise crítica à implementação deste sistema decorrente na BluFab, foram identificados dois problemas causados pelo facto de o processo ser realizado manualmente: o elevado tempo de caracterização das referências no *GenSYS* e a quantidade excessiva de erros que daí resultavam.

Posto isto, foi desenvolvida uma ferramenta que permite a importação de grande parte da informação de maneira mais automática. Esta solução resultou numa redução do tempo de caracterização das referências de 92,94%, equivalente a 875,39 h/ano, que corresponde a uma poupança de 5970,16 € por ano. Foi estimada também uma redução dos erros na caracterização de referências de 100%, equivalente a 89,6 erros por ano, que corresponde a uma poupança de 57981,17 € por ano. Além disto, é também esperado um aumento de produtividade dos colaboradores e que a ferramenta consiga lidar com qualquer aumento da escala da informação, sem necessitar de mais alocação de recursos por parte da BluFab. Finalmente, esta ferramenta tem ainda a capacidade de ser utilizada em mais implementações pela GenSYS, trazendo assim todas as suas funcionalidades para outros clientes.

PALAVRAS-CHAVE

Construção civil, Gestão de informação de artigos, Indústria 4.0, Sistema de planeamento e controlo da produção

ABSTRACT

The present dissertation was elaborated within the scope of the Integrated Master's Degree in Industrial Engineering and Management. The research project was carried out at GenSYS, a company that developed a production planning and control IT system, which is being implemented in the construction company BluFab. Implementing *GenSYS*, requires the creation of parts, bills of materials, operations and bills of operations, data which allows the system to manage all production. Therefore, the main goal of this dissertation focuses on the analysis and improvement of the process of creating these structures, through an action-research methodology.

In order to provide a theoretical foundation to this research project, in particular, to the critical analysis of the system implementation, and the development and implementation of the improvement proposal, a literature review was executed. It explored topics from Industry 4.0 and its implementation in construction, to concepts related to production planning and control systems, focusing mainly on product data management.

Resulting from the critical analysis of this system's implementation in BluFab, some problems caused by the fact that the process was done manually were identified: the reference's characterization time on *GenSYS* was too long and an excessive number of errors resulted from it.

Consequently, a tool, which allows for a more automatic data entry process, was developed. This solution resulted in a 92,94% reduction of the time it takes to characterize the references, equal to 875,39 h/year, which corresponds to savings of 5970,16€ per year. An 100% reduction of the errors from the reference's characterization process was also estimated, equal to 89,6 errors per year, which corresponds to savings of 57981,17€ per year. In addition to this, it is also expected that worker productivity will increase and that the tool will be able to handle an increase in data scale, without the need for the allocation of more resources by BluFab. Finally, this tool has the capacity to be used by GenSYS in more implementations, therefore, bringing all of its capabilities to other clients.

KEYWORDS

Construction, Industry 4.0, Product data management, Production planning and control system

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas.....	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xiv
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de investigação.....	2
1.4 Estrutura da dissertação.....	3
2. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1 Indústria 4.0.....	4
2.1.1 Motivações e princípios.....	4
2.1.2 Conceitos e tecnologias.....	5
2.1.3 Requisitos da Indústria 4.0.....	7
2.1.4 <i>Smart Manufacturing Systems</i>	10
2.1.5 Implementação na construção civil.....	12
2.2 Sistema de planeamento e controlo da produção.....	15
3. Stakeholders.....	25
3.1 GenSYS.....	25
3.2 BluFab.....	29
4. Descrição e análise crítica da implementação do sistema <i>GenSYS</i>	30
4.1 Descrição do processo manual de criação das estruturas utilizado no <i>GenSYS</i>	30
4.1.1 Tipos de parâmetros.....	30
4.1.2 Referências genéricas.....	31
4.1.3 BOMs genéricas.....	32

4.1.4	Tipos de operações.....	33
4.1.5	Gamas operatórias genéricas.....	34
4.1.6	Integração de BOMs e gamas operatórias genéricas.....	35
4.1.7	Templates	36
4.1.8	Resumo de conceitos.....	36
4.2	Apresentação das estruturas utilizadas na BluFab.....	36
4.2.1	Caraterização de artigos e definição das BOMs	37
4.2.2	Caraterização das operações e definição das gamas operatórias	39
4.3	Análise crítica ao processo de criação das estruturas na BluFab.....	40
4.3.1	Tempo de caraterização de referências dos semiacabados e produtos acabados	41
4.3.2	Erros na caraterização de referências dos semiacabados e produtos acabados.....	42
5.	Desenvolvimento e implementação da proposta de melhoria	45
5.1	Introdução à ferramenta desenvolvida.....	45
5.2	Estrutura específica para a importação	46
5.3	Lista exportada – origem da informação	47
5.3.1	Modificação da lista exportada	50
5.3.2	Transformação da BOM de engenharia na BOM de produção	51
5.4	Funcionamento da ferramenta.....	54
5.4.1	Tratamentos	55
5.4.2	Templates	57
5.5	Resultado da transformação	58
6.	Análise e discussão de resultados	60
7.	Conclusões.....	64
7.1	Considerações finais	64
7.2	Trabalho futuro	65
	Referências Bibliográficas	66
	Apêndice 1 – BOM do WC completo	70
	Apêndice 2 – BOMO do WC completo.....	71
	Apêndice 3 – Técnica da amostragem no TCR	73

Apêndice 4 – Matérias-primas e tipos de operações criados no <i>GenSYS</i>	75
Apêndice 5 – Menu da ferramenta.....	76
Apêndice 6 – Templates criados no <i>GenSYS</i>	79
Apêndice 7 – Semiacabados criados no <i>GenSYS</i>	82
Apêndice 8 – Produtos acabados criados no <i>GenSYS</i>	85
Apêndice 9 – Medição do tempo de importação.....	86
Apêndice 10 – Técnica da amostragem no preenchimento dos campos no <i>Inventor</i>	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Três níveis que compõem um CPS.....	6
Figura 2 - Estrutura conceptual dos SMS.....	10
Figura 3 - Estrutura de uma smart factory	12
Figura 4 - Produtividade no setor industrial e na construção	13
Figura 5 - Sistema de Planeamento e Controlo da Produção.....	16
Figura 6 - a) Exemplo de uma BOM; b) Elementos de uma BOM	19
Figura 7 - Representação de uma BOM.....	19
Figura 8 - Representação de uma gama operatória: a) com sequência única; b) com sequências.....	20
Figura 9 - Representação de uma BOMO	21
Figura 10 - Exemplos de: a) Desenho de engenharia; b) BOM de engenharia; c) BOM de produção....	22
Figura 11 - Logótipo da GenSYS.....	25
Figura 12 - Principais clientes da GenSYS	26
Figura 13 - Estrutura dos módulos do Gensys	26
Figura 14 - Demonstração da aplicação GenPDM.....	27
Figura 15 - Demonstração das aplicações: a) GenPDM; b) GenPLN	28
Figura 16 - Demonstração das aplicações: a) GenPROG; b) GenFLOOR; c) Terminal; d) Terminal Milk	28
Figura 17 - a) Produção dos WC; b) Transporte dos WCs; c) Montagem dos WCs.....	29
Figura 18 - Representação gráfica de tipos de parâmetros: a) em compreensão; b) em extensão	30
Figura 19 - Criação de um tipo de parâmetro em compreensão no GenPDM	31
Figura 20 - Preenchimento de valores num tipo de parâmetro em extensão no GenPDM.....	31
Figura 21 - Representação gráfica de uma referência genérica	31
Figura 22 - Criação de uma referência genérica no GenPDM	32
Figura 23 - Associação de parâmetros à referência genérica no GenPDM	32
Figura 24 - Representação gráfica de uma BOM genérica.....	33
Figura 25 - Associação de componentes à referência genérica no GenPDM	33
Figura 26 - Representação gráfica de um tipo de operação.....	34
Figura 27 - Criação de um tipo de operação no GenPDM.....	34
Figura 28 - Representação gráfica de uma gama operatória genérica	35
Figura 29 - Associação de operações à referência genérica no GenPDM	35
Figura 30 - Associação de componentes às operações de uma referência genérica no GenPDM	35

Figura 31 - a) Planta do WC; b) Representação 3D de uma parede do WC	38
Figura 32 - BOM do WC com a parede da porta	39
Figura 33 - BOMO do WC com a parede da porta	40
Figura 34 - Processo de funcionamento da ferramenta	46
Figura 35 - Estrutura da informação para criar referências no GenSYS.....	46
Figura 36 - Estrutura da informação para criar BOMs no GenSYS	47
Figura 37 – Exemplo genérico da lista exportada inicial.....	48
Figura 38 - Exemplo da placa na lista exportada a) Sem campos; b) Com campos.....	50
Figura 39 - Exemplo genérico da lista exportada final	51
Figura 40 - BOM de engenharia do WC com a parede da porta.....	52
Figura 41 - Lista exportada que representa a BOM de produção	53
Figura 42 - Menu da ferramenta	54
Figura 43 - Folha da ferramenta que permite as associações.....	55
Figura 44 - Folha da ferramenta que permite as associações dos parâmetros.....	55
Figura 45 - Folha com a estrutura específica para a criação das referências no GenSYS	58
Figura 46 - Folha com a estrutura específica para a criação das BOMs no GenSYS.....	59
Figura 47 - Estrutura final do WC	60
Figura 48 - BOM do WC completo	70
Figura 49 - BOMO do WC completo (Parte 1)	71
Figura 50 - BOMO do WC completo (Parte 2)	72
Figura 51 - Valores do TCR e cálculo do TCR médio	74
Figura 52 - Exemplo de matéria-prima (CER001) criada no GenSYS.....	75
Figura 53 - Exemplo de tipo de operação (EMB001) criado no GenSYS.....	75
Figura 54 - Menu da ferramenta depois de uma transformação bem-sucedida.....	76
Figura 55 - Menu da ferramenta depois de uma transformação e uma importação bem-sucedidas	77
Figura 56 - Menu da ferramenta depois de uma transformação bem-sucedida e de um erro na importação	78
Figura 57 - a) Template do WC criado no GenSYS; b) Gama operatória respetiva	79
Figura 58 - a) Template da parede criado no GenSYS; b) Gama operatória respetiva	79
Figura 59 - a) Template da placa criado no GenSYS; b) Gama operatória respetiva	80
Figura 60 - a) Template do kit da estrutura metálica criado no GenSYS; b) Gama operatória respetiva	80

Figura 61 - a) Template da placa infraestruturada criado no GenSYS; b) Gama operatória respetiva; c) Parâmetros respetivos	81
Figura 62 - a) Referência da parede da porta criada no GenSYS; b) Gama operatória respetiva; c) BOM respetiva; d) Componentes nas operações	82
Figura 63 - a) Referência da placa maquinada criada no GenSYS; b) Gama operatória respetiva; c) BOM respetiva	83
Figura 64 - a) Referência do kit da estrutura metálica criada no GenSYS; b) Gama operatória respetiva; c) BOM respetiva	83
Figura 65 - a) Referência da placa infraestruturada da porta criada no GenSYS; b) Gama operatória respetiva; c) BOM respetiva	84
Figura 66 - a) Referência do WC criada no GenSYS; b) Gama operatória respetiva; c) BOM respetiva .	85
Figura 67 - Tempos de importação	86
Figura 68 - Valores do TPCI e cálculo do TPCI médio	87

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos associados às dimensões da integração	8
Tabela 2 - Requisitos associados às prioridades do produto e da produção	8
Tabela 3 - Requisitos associados aos fatores humanos.....	9
Tabela 4 - Resumo dos conceitos da gestão de informação de artigos	36
Tabela 5 - Classificação e codificação de artigos.....	37
Tabela 6 - Codificação de operações	39
Tabela 7 - Métodos iniciais e métodos propostos para realizar cada processo	45
Tabela 8 - Templates, campos da lista exportada e campos a preencher na criação das referências ..	57
Tabela 9 - Resultado da ferramenta no tempo gasto pelos colaboradores	61
Tabela 10 - Resultado da ferramenta no lead time.....	61
Tabela 11 - Resultado da ferramenta nos erros na caracterização das referências	62

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AdI - Agência de Inovação

API - *Application Programming Interface*

BIM - *Building Information Modeling*

BOM - *Bill Of Materials*

BOMO - *Bill Of Materials and Operations*

BOO - *Bill Of Operations*

CAD - *Computer-Aided Design*

CAM - *Computer-Aided Manufacturing*

CPS - *Cyber-Physical Systems*

CPU - *Control Processing Unit*

CRP - *Capacity Requirements Planning*

ED - Erro Detetado

END - Erro Não Detetado

GPS - *Global Positioning System*

IoT - *Internet of Things*

IT - *Information Technology*

PDM - *Product Data Management*

PIB - Produto Interno Bruto

PPC - *Production Planning and Control*

RFID - *Radio Frequency IDentification*

SFC - *Shop Floor Control*

SMS - *Smart Manufacturing System*

SPCP - Sistema de Planeamento e Controlo da Produção

STEP - *Standard for The Exchange of Product model data*

TCR - Tempo de Caraterização de uma Referência

TPCI - Tempo de Preenchimento dos Campos no *Inventor*

TRED - Tempo de Retrabalho de um ED

VBA - *Visual Basic for Applications*

WIP - *Work in Progress*

1. INTRODUÇÃO

Este projeto de dissertação, que foi realizado em contexto empresarial na empresa GenSYS, tem como finalidade a conclusão do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial.

A GenSYS desenvolve e comercializa um sistema informático de gestão da produção com o mesmo nome da empresa. Este é dirigido principalmente para empresas que pretendem implementar tecnologias e conceitos associados à Indústria 4.0. O foco principal desta dissertação encontra-se nos primeiros passos da implementação deste sistema numa empresa recente do setor da construção.

Neste capítulo é apresentado um enquadramento ao tema da dissertação, os seus principais objetivos, a metodologia utilizada e a estrutura de toda a dissertação.

1.1 Enquadramento

O setor da construção civil encontra-se numa posição distinta de outros setores do mercado. Apesar do contributo que traz à economia dos países, manifestado pelo peso de 9% do Produto Interno Bruto (PIB) da União Europeia (Deloitte Spain, 2019), continua ainda com uma vertente industrial pouco desenvolvida, sendo que, em alguns aspetos, ainda nem fez a transição para Indústria 3.0 (Farmer, 2016). Isto acontece, em parte, devido às limitações da construção tradicional, chamada de modelo *onsite*, em que o trabalho é realizado *in situ*. De forma a contrariar este fenómeno, o modelo de construção *offsite* tem vindo a crescer nos últimos anos (Li et al., 2014). Este novo modelo, também chamado de construção pré-fabricada, tem como principal intenção, a deslocação das atividades de construção normalmente realizadas na obra, para um ambiente controlado, tipicamente associado a uma fábrica (Arif & Charles, 2010).

É neste contexto que aparece o Grupo Casais, uma das maiores empresas de construção em Portugal, que pretende estar na vanguarda desta transformação. Para alcançar o nível de produtividade e previsibilidade que é possível atingir com uma produção em fábrica, este grupo criou a empresa BluFab, que se foca então no modelo *offsite* de construção. Usando este modelo de construção e uma plataforma *Building Information Modeling* (BIM), é possível implementar tecnologias associadas à Indústria 4.0, como *Radio Frequency Identification* (RFID) e *Internet of Things* (IoT) (Zhong, Peng, et al., 2017). Estas tendem a reduzir a complexidade e incerteza e a melhorar a comunicação entre os *stakeholders*, aumentando assim a produtividade e qualidade (Oesterreich & Teuteberg, 2016).

Foi então à procura de melhorar a gestão da sua produção, que a BluFab decidiu implementar o *GenSYS*, um *Smart Manufacturing System* (SMS) que permite gerir a produção de forma integrada e sincronizada, desde a gestão de informação de artigos, passando pelo planeamento e controlo da produção e pela programação e monitorização da produção.

Para implementar o *GenSYS* é necessário, primeiramente, definir que produtos vão ser tratados e como deve ficar organizado o chão de fábrica que lidará com a sua produção. De seguida, é necessário traduzir essa informação para as estruturas corretas, que representam todos os produtos, processos pelos quais estes atravessam e como estes elementos se relacionam. Finalmente, estas estruturas devem ser criadas no *GenSYS*, para permitir ao mesmo gerir a produção. Este projeto de dissertação foca-se neste último passo.

1.2 Objetivos

O processo manual de criação de artigos, listas de materiais, operações e gamas operatórias utilizado no sistema *GenSYS* revelou-se como um grande entrave na implementação do mesmo na BluFab. O principal objetivo da realização deste projeto de dissertação é, portanto, melhorar a eficiência do processo de criação destas estruturas no *GenSYS*, que ocorre na BluFab. Posto isto, será necessário:

- Realizar um diagnóstico deste processo, que decorre na BluFab;
- Identificar os problemas do mesmo;
- Desenvolver e implementar uma proposta de melhoria que solucione os problemas identificados;
- Realizar uma análise de resultados, com o propósito de avaliar a proposta implementada.

1.3 Metodologia de investigação

A filosofia da investigação molda a maneira como o investigador interpreta a realidade, os métodos que este utiliza e a maneira como avalia as descobertas (Saunders et al., 2016). A filosofia que vai ser adotada nesta dissertação é o pragmatismo, pois, neste projeto, os conceitos apenas são considerados relevantes se suportarem a ação e são interpretados tendo em conta o papel que têm em contextos reais. A abordagem será dedutiva, visto que os dados são recolhidos de forma a avaliar as propostas feitas anteriormente. Uma estratégia de investigação pode ser definida como o plano através do qual o investigador pretende atingir os seus objetivos (Saunders et al., 2016).

A estratégia de investigação que vai ser utilizada nesta dissertação é a investigação-ação, pois o presente projeto de dissertação envolve a resolução de problemas organizacionais e a produção de resultados práticos, através de uma abordagem participativa do investigador.

Esta estratégia é considerada iterativa, pois consiste na realização de várias etapas até que realmente o objetivo seja cumprido. Devido a isto, o contexto e objetivo iniciais podem-se alterar ao longo da investigação. Cada iteração inclui a realização das seguintes fases: diagnóstico, planeamento, implementação, avaliação e interpretação (O'Brien, 1998). O diagnóstico consiste na identificação dos problemas, através da recolha de dados da situação inicial. O planeamento é realizado de forma a resolver os problemas encontrados, propondo soluções alternativas. As soluções propostas passam depois por uma implementação prática, de onde são recolhidos dados que permitam uma avaliação da sua eficácia. Finalmente, são tiradas ilações, que permitem uma interpretação das descobertas realizadas.

1.4 Estrutura da dissertação

O presente projeto de dissertação contém sete capítulos.

O primeiro capítulo apresenta um enquadramento do tema que vai ser abordado, a delineação dos objetivos para o projeto, a sua metodologia e, finalmente, a estrutura pela qual este se vai guiar.

O segundo capítulo contém uma revisão bibliográfica dos dois principais temas que vão ser abordados, em particular, da Indústria 4.0 e da gestão de informação de artigos.

No terceiro capítulo, é apresentada a empresa GenSYS, o sistema informático que a mesma desenvolveu e a empresa BluFab onde este vai ser implementado.

O quarto capítulo descreve não só o processo manual de criação de artigos, listas de materiais, operações e gamas operatórias utilizado no *GenSYS*, como também a informação que vai ser utilizada para explicar este processo. Termina depois numa análise crítica ao estado inicial deste processo na BluFab.

O quinto capítulo apresenta o desenvolvimento e implementação de uma proposta de melhoria do processo descrito anteriormente.

No sexto capítulo, é realizada uma análise e discussão dos resultados da implementação realizada.

Por último, o sétimo capítulo contém uma comparação entre os resultados obtidos e os objetivos apresentados inicialmente. Termina com algumas sugestões de trabalho a ser realizado no futuro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo contém uma revisão bibliográfica dos temas mais relevantes para esta dissertação, com especial consideração pela Indústria 4.0 e pela gestão de informação de artigos. Em relação à Indústria 4.0, são apresentados os princípios, conceitos, requisitos e um breve resumo da sua aplicação na construção civil. De seguida, é realizada uma descrição sucinta dos sistemas de planeamento e controlo da produção, onde são explicados os principais elementos da gestão de informação de artigos. Aí é também demonstrado o contraste que existe entre as listas de materiais de engenharia e produção.

2.1 Indústria 4.0

O conceito de Indústria 4.0 foi introduzido pela primeira vez em 2011 pelo governo alemão, como uma estratégia *high-tech* para 2020. Em 2013, na feira industrial *Hannover Fair*, este ganhou notoriedade outra vez, tendo-se tornado, entretanto, na estratégia nacional alemã que tenciona revolucionar o setor industrial. (Zhou et al., 2016)

O termo Indústria 4.0 tem como origem uma presumida quarta revolução industrial e está estilizado como as diferentes versões de um *software* (Lasi et al., 2014). A primeira revolução industrial é geralmente associada à introdução de sistemas de produção mecânicos, que utilizam a energia do vapor de água. A segunda revolução representa a produção em massa, através do uso de energia elétrica. Finalmente, a terceira revolução industrial introduziu a automação e as tecnologias eletrónicas e informáticas na produção. (L. Da Xu et al., 2018; Zhou et al., 2016)

A quarta revolução industrial foca-se na digitalização de todo o processo produtivo e na integração de ecossistemas digitais industriais (L. Da Xu et al., 2018). Esta representa a tendência atual para a utilização de sensores, atuadores, *Control Processing Units* (CPU) e dispositivos de comunicação, em networks que interligam o mundo físico com o virtual através de *Cyber-Physical Systems* (CPS). Está também associada a tecnologias como *big data*, *cloud computing* e IoT, que em conjunto com os CPS, permitem uma criação de valor descentralizada e autorregulada. (Hofmann & Rüsçh, 2017)

2.1.1 Motivações e princípios

O desenvolvimento da Indústria 4.0 é motivado por dois fundamentos, a procura de novas aplicações por parte da indústria e o aumento da utilização de novas tecnologias industriais (Lasi et al., 2014). A procura de novas aplicações é provocada por várias necessidades industriais, tais como a diminuição do tempo de desenvolvimento dos produtos, a customização dos produtos por parte dos clientes, o aumento

da flexibilidade na produção, a descentralização das tomadas de decisão e o aumento da eficiência na utilização de recursos (Lasi et al., 2014). O aumento da utilização de novas tecnologias deve-se, em parte, a três fatores: o aumento da mecanização e automação na produção, como auxílio na realização trabalhos físicos; a digitalização de todo o processo produtivo e dos bens e serviços; a diminuição do espaço utilizado pelos dispositivos, como consequência da evolução tecnológica (Lasi et al., 2014).

Segundo Hermann et al., 2016, os quatro princípios para o desenvolvimento de um projeto da Indústria 4.0 são:

- A interconexão, neste caso utilizando tecnologias de comunicação *wireless*, para conectar máquinas, dispositivos, sensores e pessoas;
- A transparência da informação, fomentada pelo aumento de objetos e pessoas interconectados em conjunto com a utilização de cópias virtuais do mundo físico;
- As decisões descentralizadas, utilizando CPS que permitem controlar e monitorizar o mundo físico de forma autónoma;
- A assistência técnica. Visto que a maior parte dos trabalhos físicos vão ser realizados por *robots* e as decisões básicas tomadas de forma autónoma pelos CPS, as pessoas precisam de ser auxiliadas por sistemas de assistência, para garantir que tomam as decisões importantes de forma informada e que resolvem problemas esporádicos urgentes.

2.1.2 Conceitos e tecnologias

Os principais conceitos e tecnologias que são normalmente associados à Indústria 4.0, são explicados de seguida:

- Os sistemas CPS são considerados uma das bases da Indústria 4.0 (Drath & Horch, 2014; Hofmann & Rüscher, 2017; Nunes et al., 2017; L. Da Xu et al., 2018; Zhou et al., 2016). Estes são normalmente definidos como sistemas que permitem a conexão entre o mundo físico e o mundo virtual (Zhou et al., 2016). Um CPS permite realizar duas funcionalidades principais: fornecer uma conectividade que garanta a aquisição de dados do mundo físico em tempo real e o seu *feedback* para o mundo virtual; a gestão inteligente de informação e de capacidades analíticas e computacionais para criar o ambiente digital (J. Lee et al., 2015). Um CPS abrange um grande número de metodologias interdisciplinares, como a teoria cibernética, a engenharia mecânica, a mecatrónica, a ciência computacional, entre outros (Zhong, Xu, et al., 2017). Na Figura 1 é possível observar os três níveis que compõem um CPS;

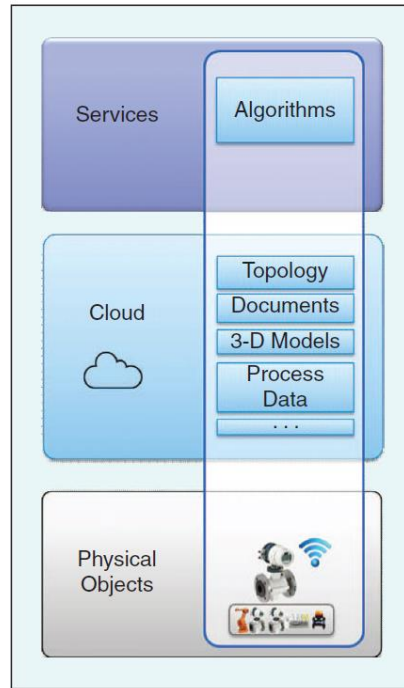


Figura 1 - Três níveis que compõem um CPS
 Fonte: (Drath & Horch, 2014)

- A IoT refere-se a um ambiente em rede, em que vários objetos são embutidos com sensores, atuadores e outros dispositivos digitais, de modo a ficarem conectados, com o objetivo de recolher dados e de os transmitir (Zhou et al., 2016). De uma forma geral, a IoT disponibiliza uma conectividade avançada entre objetos físicos, sistemas e serviços, permitindo a sua comunicação e a partilha de informação (Zhong, Xu, et al., 2017). Além disto, também permite a identificação inteligente, localização, *tracking*, monitorização e gestão de objetos, isto tudo utilizando dispositivos RFID, sensores *infrared*, *Global Positioning System* (GPS), *scanners laser*, em conjunto com a *internet* (Zhou et al., 2016);
- As tecnologias tradicionais de bases de dados têm dificuldades a capturar, armazenar, gerir e analisar grandes quantidades de informação (Zhou et al., 2016). Big data é um conjunto de tecnologias que permite usar dados de várias fontes e em variados formatos, filtrando a informação relevante, de forma a que seja possível tomar melhores decisões (Zhou et al., 2016). As diferentes fontes agem como canais e podem ser equipamentos dos CPS, sensores, dispositivos, áudio, vídeo, *internet*, *feed* das redes sociais, arquivos de ficheiros, entre outros (Zhong, Xu, et al., 2017; Zhou et al., 2016). Estes canais fazem *upload* de grandes quantidades de dados para um centro de *cloud computing*, onde os dados são armazenados e analisados (Zhou et al., 2016);

- Cloud computing é um termo geral que se refere à prestação de serviços computacionais a utilizadores usando recursos através da internet (Zhong, Xu, et al., 2017). Estes serviços incluem *software*, *hardware*, plataformas e outras infraestruturas de *Information Technology* (IT) (Zhou et al., 2016). O utilizador usa os recursos consoante as suas necessidades, através de acesso *on-demand* a computadores e sistemas de armazenamento de dados (Zhou et al., 2016);
- A realidade aumentada é uma tecnologia que combina o mundo físico com textos, imagens e animações geradas por computadores, fornecendo uma experiência interativa e intuitiva aos seus utilizadores (Nunes et al., 2017). Esta pode ser definida como uma visão aumentada, em tempo real, da realidade, combinando objetos físicos com virtuais (Nunes et al., 2017). Utilizando informação de máquinas inteligentes, a realidade aumentada pode refletir o estado da própria máquina e o seu comportamento em tempo real (Zheng et al., 2018);
- A tecnologia mais importante ao nível dos dispositivos e do *hardware*, para utilizar IoT, CPS e outras tecnologias da Indústria 4.0, são os sensores, visto que estes são a tecnologia básica para adquirir dados em tempo real (Kang et al., 2016). Os smart sensors conseguem integrar várias funcionalidades para adquirir dados, seja de temperatura, força, pressão e humidade (Zheng et al., 2018). Estes sensores são incorporados em vários objetos, de forma a sincronizar as operações e postos de trabalho com fluxos de produtos e de informação (Zheng et al., 2018);
- Additive manufacturing, também chamada de impressão 3D, é uma maneira de converter modelos 3D num objeto físico, unindo ou ligando materiais, através de luz, vibração ultra-sónica, *laser* ou feixes de eletrões (Kang et al., 2016). Esta tecnologia começou como uma maneira de criar protótipos rapidamente, mas, com os avanços tecnológicos, permite agora criar produtos completos (Kang et al., 2016) e tem um grande impacto no desenvolvimento de novos materiais, no desenho de novos produtos e de novos processos de produção (Kusiak, 2018). Este método tem algumas vantagens, tais como a eficiência na utilização de materiais e recursos e a flexibilidade na produção (Kang et al., 2016).

2.1.3 Requisitos da Indústria 4.0

Os requisitos da Indústria 4.0 foram resumidos por Lu, 2017; Roblek et al., 2016 em cinco pontos essenciais: a digitalização, otimização e customização da produção; a automação e adaptação; a interação entre pessoas e máquinas; os serviços e negócios; a comunicação e transferência automáticas de dados. Drath & Horch, 2014 definem os requisitos da Indústria 4.0 como: a necessidade de obter

retorno nos investimentos nas novas tecnologias, a estabilidade da produção que não deve ser perturbada para instalar as novas tecnologias, a privacidade do *know-how* da empresa e a *cybersecurity*. Lu, 2017 dividiu os requisitos da Indústria 4.0 em três grupos: dimensões de integração, prioridades do produto e da produção e fatores humanos. Em relação aos requisitos ligados às dimensões de integração, existem três: a integração vertical, a integração digital *end-to-end* e a integração horizontal, que estão explicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Requisitos associados às dimensões da integração

Dimensão da integração	Explicação
Integração vertical	Refere-se à integração de vários sistemas IT em diferentes níveis hierárquicos da produção, pois esta permite que os CPS criem sistemas de produção flexíveis e reconfiguráveis nas fábricas.
Integração digital <i>end-to-end</i>	Refere-se a uma visão da engenharia digital com o objetivo de fechar a lacuna entre o desenvolvimento de produtos, a produção e o cliente.
Integração horizontal	Refere-se à utilização de tecnologias para trocar e gerir informação entre diferentes departamentos numa fábrica, como a logística, o marketing, a gestão da produção, etc.

Os requisitos referentes às prioridades do produto e da produção, que estão apresentadas na Tabela 2, são: a *self-awareness* do produto, a flexibilidade e personalização, a tomada otimizada de decisões, o aparecimento de novos serviços e modelos de negócio e a eficiência de recursos/energia.

Tabela 2 - Requisitos associados às prioridades do produto e da produção

Prioridade do produto e da produção	Explicação
<i>Self-awareness</i> do produto	Refere-se à existência de informações sobre a história, estado e localização dos produtos.
Flexibilidade e personalização	Refere-se à adaptação flexível da produção e do produto aos requisitos individuais de cada cliente.
Tomada otimizada de decisões	Este é um dos requisitos mais críticos, onde a análise visual aplicada à <i>big data</i> deve estar talhada a quem toma decisões.
Aparecimento de novos serviços	Refere-se à existência de um alter ego digital do produto físico, que permite a utilização de novos serviços, como a criação de redes sociais com objetos da mesma linha de produção.
Eficiência de recursos/energia	Refere-se à utilização de tecnologias como ambientes virtuais e de simulação, que diminuem o consumo de energia e recursos.

Finalmente, existem cinco requisitos relacionados com fatores humanos, que estão explicados na Tabela 3. Estes são: o desenho e organização do trabalho, a fomentação da criatividade nos trabalhadores, a formação e desenvolvimento profissional, a segurança e a interação sociotécnica.

Tabela 3 - Requisitos associados aos fatores humanos

Fator humano	Explicação
Desenho e organização do trabalho	Refere-se à melhoria da intervenção humana utilizando, por exemplo, tecnologias que permitam interações com a voz ou gestos.
Fomentação da criatividade nos trabalhadores	Refere-se à fomentação da criatividade dos trabalhadores mais experientes, através de simulações virtuais da produção, e à utilização de ferramentas que permitam a realização de discussões entre engenheiros e trabalhadores.
Formação e desenvolvimento profissional	Refere-se à aquisição de conhecimento dos trabalhadores e a transferência deste entre eles.
Segurança	Refere-se à utilização de tecnologias para detetar ou prevenir eventos que podem ocorrer na fábrica e que podem por em risco a segurança dos trabalhadores.
Interação sociotécnica	Refere-se à utilização de tecnologias, como ambientes virtuais, para melhorar a interação de pessoas com <i>robots</i> configuráveis.

De acordo com Qin et al., 2016, os requisitos da Indústria 4.0 podem ser divididos em 4 vertentes: a fábrica, o negócio, o produto e o cliente.

A fábrica requer uma integração de todos os recursos, desde sensores, atuadores, máquinas, *robots*, entre outros, que devem estar conectados e trocar informação de forma automática. Além disto, a fábrica deve ser inteligente o suficiente para prever eventos, fazer a manutenção de máquinas e controlar e gerir toda a produção. Os vários processos da produção, como o desenvolvimento de produtos e o planeamento da produção devem estar conectados de forma *end-to-end*, sendo comandados por um sistema descentralizado e controlados de forma interdependente. Este tipo de fábrica é muitas vezes chamado de *smart factory* (Hofmann & Rüsçh, 2017).

Em relação ao negócio, a Indústria 4.0 implica a criação de uma rede de comunicação entre várias empresas, fábricas, fornecedores, operadores logísticos, clientes, entre outros. Cada secção deve otimizar a sua configuração em tempo real, de acordo com as suas necessidades e com o estado das outras secções associadas, o que maximiza o lucro para todos os intervenientes.

Quanto aos produtos, estes devem ser incorporados com sensores, componentes identificáveis e processadores que guardam dados sobre os clientes e sobre os sistemas de produção. Isto permite verificar o estado do produto ou dos utilizadores, armazenar estes dados, rastrear os produtos e analisar a informação. Os produtos com estas características são geralmente chamados de *smart products* (Nunes et al., 2017).

Finalmente, no que diz respeito aos clientes, estes devem ter acesso a um novo método de compra, que lhes permita encomendar produtos, escolhendo o máximo de funcionalidades possíveis. Além disto, os

clientes poderão também alterar a encomenda a qualquer momento durante a sua produção e poderão aceder a informações sobre a produção em tempo real e a recomendações sobre a sua utilização.

2.1.4 Smart Manufacturing Systems

O conceito de SMS é inseparável da Indústria 4.0 e está especialmente ligado às *smart factories*. Os SMS conectam todos os elementos da produção, como as compras, a produção, o produto, a logística e os serviços. Através de um CPS e baseando-se na IoT, os SMS conseguem partilhar toda a informação necessária para gerir a produção e controlar todos os processos na fábrica. (Choi et al., 2015)

Qin et al., 2016 apresenta uma estrutura conceptual para os SMS, que está apresentada na Figura 2. O eixo horizontal contém conceitos já existentes na produção tradicional, que sofreram uma evolução devido à Indústria 4.0 e o eixo vertical contém várias áreas necessárias à implementação de um SMS.

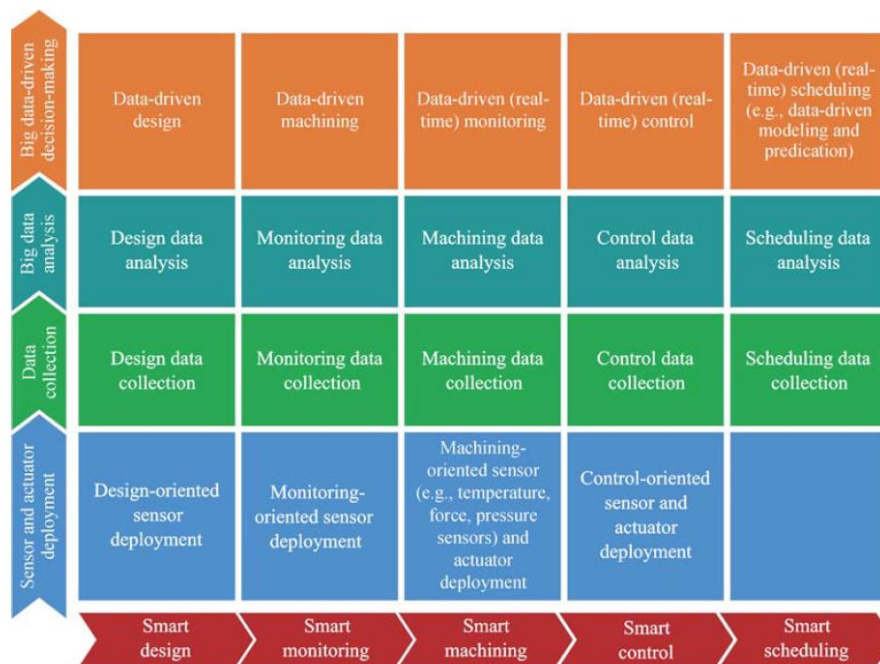


Figura 2 - Estrutura conceptual dos SMS
Fonte: (Qin et al., 2016)

O *smart design* é uma evolução do desenho tradicional, causada em parte pelas novas tecnologias como a realidade virtual e a realidade aumentada. Os softwares de desenho como *Computer-Aided Design* (CAD) e *Computer-Aided Manufacturing* (CAM) podem interagir em tempo real com protótipos físicos, através de impressoras 3D, integradas com CPS e realidade aumentada.

A *smart machining* pode ser alcançada com o auxílio de *smart robots* e outros objetos inteligentes, como, por exemplo, ferramentas ligadas a CPS, que capturam dados em tempo real e os transferem para uma

cloud, para que todos os seus trabalhos fiquem sincronizados. Além disto, alguns sistemas permitem realizar o controlo de qualidade durante o processo, retirando a necessidade de o fazer no final.

A *smart monitoring* é possível através da utilização de *smart sensors*, que recolhem dados sobre objetos da produção em tempo real. Este método fornece uma visualização gráfica destes dados e alerta quando alguma irregularidade ocorre nas máquinas ou ferramentas. Isto só acontece, devido à utilização de tecnologias como CPS e IoT.

O *smart control* é principalmente usado para controlar fisicamente máquinas ou ferramentas inteligentes, através de plataformas na *cloud*. Os utilizadores podem, por exemplo, desligar uma máquina ou *robot* através de smartphones. Isto permite que as decisões se reflitam em tempo real nas linhas de produção que utilizam *robots* ou nas máquinas inteligentes.

A *smart scheduling* utiliza modelos avançados e algoritmos para retirar informação relevante dos dados capturados pelos sensores. Posteriormente, estruturas de decisão avançadas baseadas nessa informação, realizam a programação da produção. A partir daí, os procedimentos na produção são executados de forma automática e eficaz.

Smart factory

Como foi referido anteriormente, os SMS estão interligados às *smart factories*. As *smart factories* podem ser definidas como fábricas que auxiliam pessoas e máquinas na execução das suas tarefas, através dos sistemas SMS, que trabalham em segundo plano (Lucke et al., 2008). Estes sistemas tomam em consideração a informação sobre o estado e posição de objetos e introduzem-na em tecnologias *big data*, que proporcionam *feedback* e coordenam a produção (Wang et al., 2016). A informação pode vir tanto do mundo físico, por exemplo, a posição ou condição de uma ferramenta, como do mundo virtual, por exemplo, documentos, desenhos e modelos de simulação eletrónicos (Lucke et al., 2008).

A estrutura de uma *smart factory*, apresentada na Figura 3, foi resumida por (Wang et al., 2016) utilizando 4 níveis, os recursos físicos, a rede industrial, a *cloud* e os terminais de supervisão.

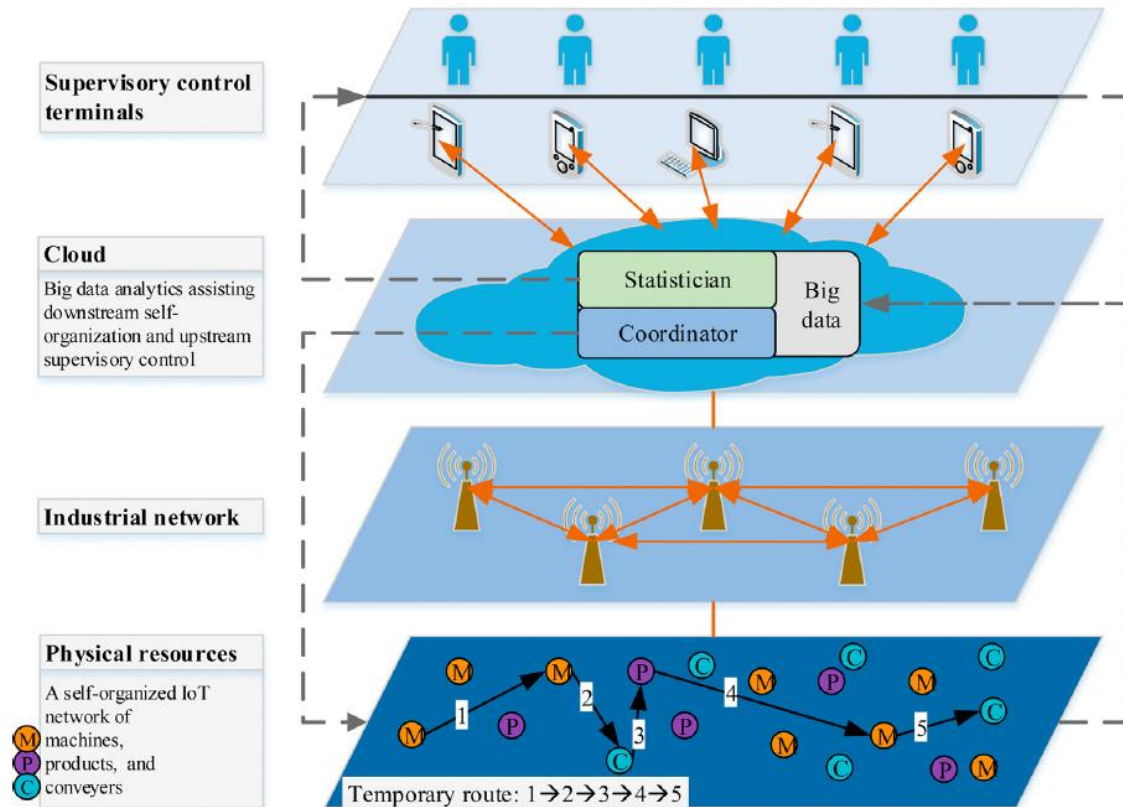


Figura 3 - Estrutura de uma smart factory
 Fonte: (Wang et al., 2016)

Os recursos físicos são objetos inteligentes que comunicam entre si através da rede industrial. Os sistemas de informação integrada existem na *cloud*, que recolhe grandes quantidades de dados dos objetos inteligentes e interage com pessoas através dos terminais de supervisão. O SMS tem a obrigação de responder a estes 4 níveis, isto é, de ligar o mundo físico ao mundo virtual. A utilização de terminais ou de RFID serve para identificar e localizar os objetos, e os sensores para adquirir dados sobre os objetos. A informação é então armazenada, tratada e analisada por tecnologias *big data*. Finalmente, os terminais de supervisão reproduzem a informação relevante de forma clara para auxiliar na tomada de decisões.

2.1.5 Implementação na construção civil

Nas últimas décadas, a produtividade no setor da construção civil estagnou por todo o mundo, ao contrário do setor industrial, que conseguiu duplicar a sua produtividade no mesmo período, como é possível verificar na Figura 4 (Changali et al., 2015).

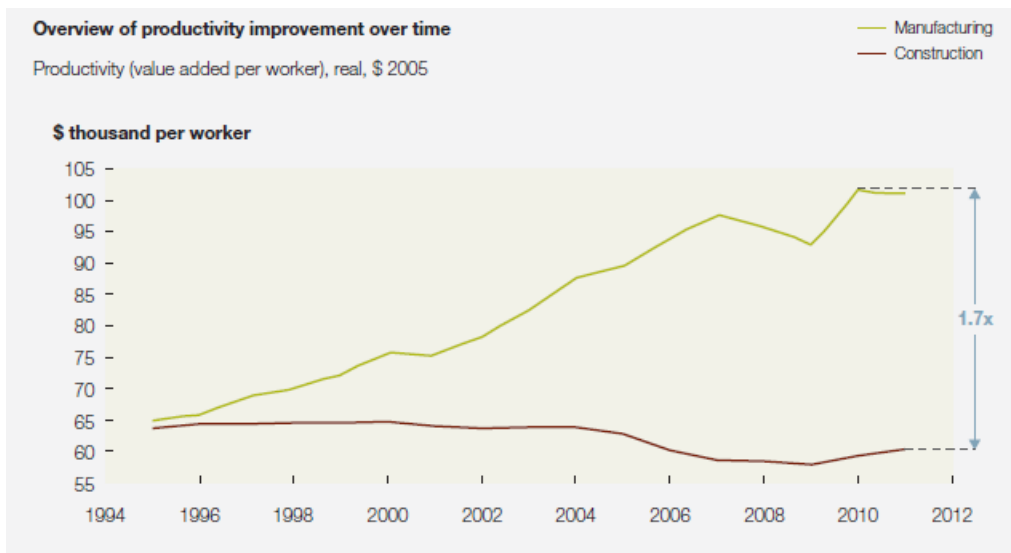


Figura 4 - Produtividade no setor industrial e na construção
Fonte: (Changali et al., 2015)

Existem vários fatores que contribuem para a fraca produtividade na construção civil:

- Má organização e comunicação, principalmente entre empreiteiros, subcontratados e proprietários (Changali et al., 2015);
- Mau planeamento a longo prazo, visto que as empresas de construção se focam em projetos temporários (Changali et al., 2015);
- Gestão de riscos insuficiente, devido às incertezas existentes na construção (Changali et al., 2015; Dubois & Gadde, 2002; Farmer, 2016);
- Grande nível de complexidade, pois os projetos de construção envolvem muitos processos e participantes (Dubois & Gadde, 2002).
- Cultura muito rígida e resistente a mudanças (Farmer, 2016; Oesterreich & Teuteberg, 2016).

Todos estes fatores têm em comum o facto de acontecerem no método tradicional de construção – modelo *onsite* – em que a construção acontece na obra. Como resposta a estes problemas, o setor tem-se direcionado para um outro método de construção, o modelo *offsite* (Farmer, 2016; Li et al., 2014; McGraw-Hill, 2011). De uma forma generalizada, este método consiste na deslocação de operações associadas à construção para um ambiente controlado, fora da obra (Arif & Charles, 2010). Estas operações são assim executadas numa fábrica, onde são construídos componentes de grande escala ou partes deles, que são transportados para a obra e montados (Oesterreich & Teuteberg, 2016; Zhong, Peng, et al., 2017). Além de resolver alguns dos problemas acima referidos, o modelo *offsite* também permite uma melhoria na qualidade e segurança, a par de uma redução de desperdícios e custos (McGraw-Hill, 2011). Farmer, 2016 apresenta vários casos de estudo onde este modelo, também

chamado de construção pré-fabricada, foi implementado com sucesso, como na construção de paredes, chãos e tetos na Singapura e em alvenaria no Reino Unido.

Indústria 4.0 na construção civil

Em relação à adoção da Indústria 4.0 no setor da construção, esta tem tido alguns entraves, visto que, como foi referido anteriormente, o setor é muito adverso a mudanças (Newman et al., 2020). Este receio provém de vários fatores, como a perceção das empresas que os custos de implementação das tecnologias são excessivos, a necessidade destas dedicarem muitos recursos para formar trabalhadores e, finalmente, a resistência à rutura de sistemas, processos e procedimentos tradicionais que estão já enraizados na cultura do setor (Newman et al., 2020). No entanto, é previsto que a Indústria 4.0 traga melhorias nas comunicações, nos materiais, na energia, na logística e na gestão de informação e das instalações (Newman et al., 2020). Em concreto, estas tecnologias irão trazer vários benefícios para a construção, tais como:

- A utilização de CPS, para melhorar a coordenação entre os modelos virtuais e a construção física (Akanmu & J. Anumba, 2015);
- A utilização de CPS, para criar um sistema de monitorização de equipamentos de proteção individual em tempo real (Barro-Torres et al., 2012);
- A utilização de RFID, para localizar e gerir ferramentas, máquinas, materiais e componentes pré-fabricados (Majrouhi Sardroud, 2012);
- A utilização de IoT, para realizar a manutenção preventiva de máquinas e equipamentos antes destes falharem, isto é, de forma proativa em vez de reativa (Oesterreich & Teuteberg, 2016).
- A utilização da realidade virtual para criar um ambiente de aprendizagem sem riscos (Chun et al., 2012);
- A utilização de *cloud computing*, para permitir que todos os participantes num projeto tenham acesso à mesma fonte de informação e que possam comunicar entre si (Oesterreich & Teuteberg, 2016);
- A utilização de *big data*, para recolher dados relevantes de vários agentes e dispositivos, como sensores, máquinas, modelos BIM, entre outros, e torná-los acessíveis aos vários participantes do projeto (Oesterreich & Teuteberg, 2016);
- Utilização de *big data*, para analisar o histórico de informação, identificando padrões e probabilidades de riscos associados à construção (Oesterreich & Teuteberg, 2016).

O modelo *offsite* facilita a adoção da Indústria 4.0, pois garante um ambiente mais controlado e previsível do que o existente numa obra (Southern, 2016). Isto pode auxiliar na implementação de várias tecnologias e conceitos, na produção dos componentes para a construção. Dificilmente seria possível implementá-las fora de uma fábrica ou então não seriam obtidos todos os benefícios possíveis.

Por outro lado, a adoção da Indústria 4.0 pode responder a vários problemas específicos à construção *offsite*, que foram encontrados por Zhong, Peng, et al., 2017, como:

- A transferência de informações sobre os desenhos para os construtores acontece sempre com alguma ambiguidade;
- A gestão automática da informação das encomendas por parte dos clientes, fornecedores e construtores, é quase impossível;
- A associação dos componentes pré-fabricados à sua própria informação, de forma a esta ser utilizada na obra, nos armazéns e no transporte, é impraticável;
- As decisões nas fábricas *offsite* são tomadas com base na experiência ou com base em dados imprecisos, que não chegam no tempo oportuno;
- A comunicação é maioritariamente feita através de métodos tradicionais, como o *fax* ou o telefone.

2.2 Sistema de planeamento e controlo da produção

Scheer, 1994 define o planeamento e controlo da produção, também chamado de logística da produção, como o processo que acompanha todo o fluxo de ordens de compra e de trabalho, desde o planeamento das necessidades à conclusão da ordem de produção.

Os Sistemas de Planeamento e Controlo da Produção (SPCP) têm como principal função o planeamento e controlo de todos os aspetos da produção, incluindo gerir de forma eficiente o fluxo de materiais, gerir a utilização de máquinas e pessoas, e coordenar fornecedores e clientes (Jacobs et al., 2011).

Devido à sua natureza complexa, estes sistemas são normalmente divididos em vários subprocessos. Jacobs et al., 2011 agruparam os subprocessos em diferentes horizontes temporais da seguinte forma. No longo prazo, o sistema é responsável por fornecer informações relevantes para a tomada de decisões sobre a capacidade apropriada de equipamentos, edifícios, fornecedores, entre outros, necessários para corresponder à procura futura do mercado. No médio prazo, o sistema deve-se focar em fornecer o material exato e a capacidade de produção necessária para corresponder à procura do cliente. Isto requer planear que os materiais cheguem ao sítio certo na quantidade certa, fornecer aos clientes prazos de

entrega e aos fornecedores prazos de recebimento, e determinar a possibilidade de subcontratar. No curto prazo, o sistema necessita de realizar a programação detalhada dos recursos, tendo em conta os requisitos da produção. Os recursos abrangem tempo, pessoas, materiais, equipamentos e instalações, e a sua utilização deve ser controlada em conjunto com os resultados da mesma. Esta informação é utilizada para reportar o consumo de materiais, utilização de mão-de-obra e equipamentos, entre outros, aos gerentes, clientes e fornecedores, que devem acompanhar o estado da produção.

Na Figura 5 é possível verificar os subprocessos e a maneira como estão agrupados nos diferentes horizontes temporais.

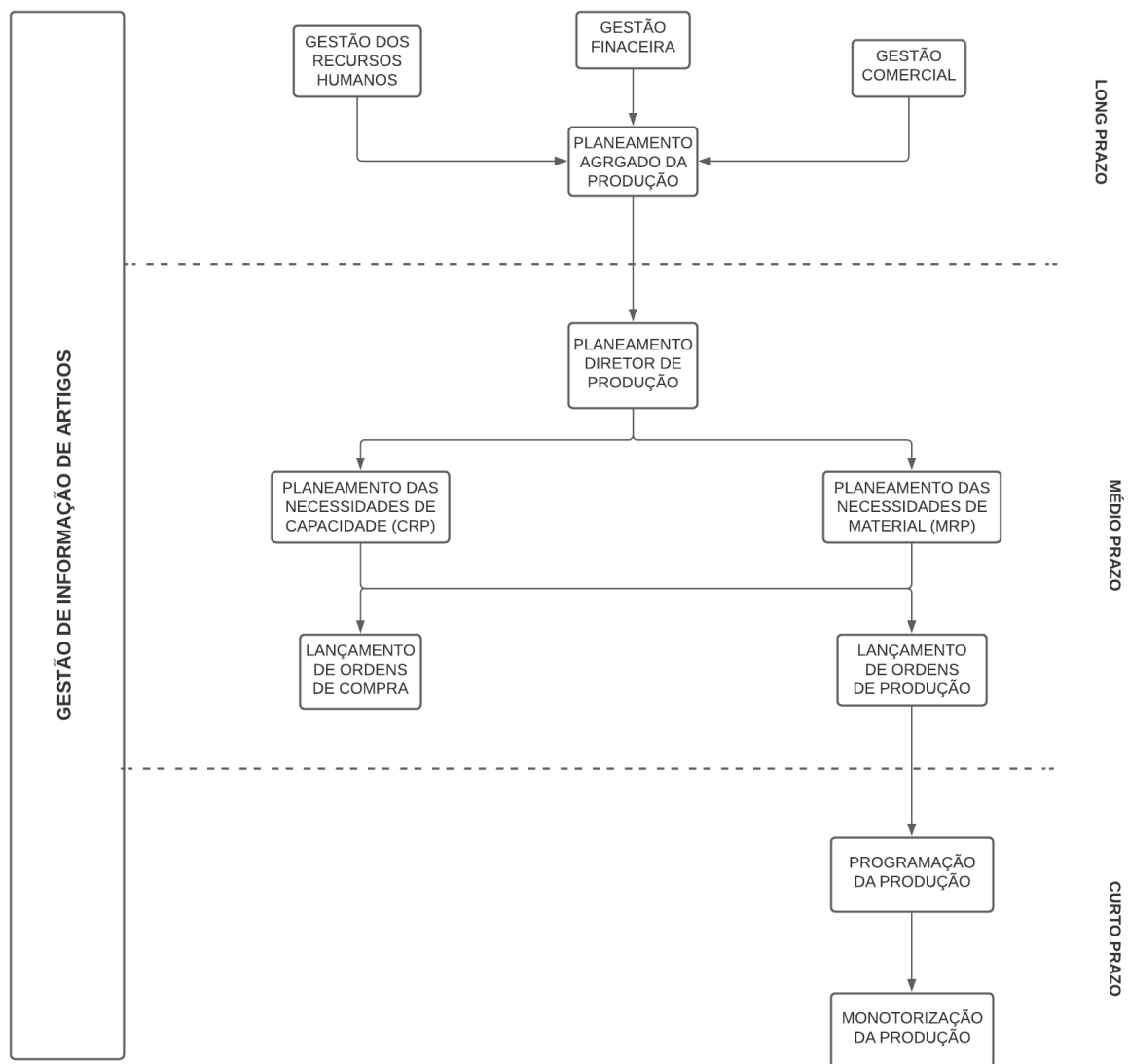


Figura 5 - Sistema de Planeamento e Controlo da Produção
Adaptado de Jacobs et al., 2011

Os subprocessos relevantes para esta dissertação, que vão ser explicados sucintamente de seguida, são o planeamento diretor da produção, o planeamento das necessidades de capacidades, o planeamento

das necessidades de materiais e a programação da produção. A gestão de informação de artigos vai ser aprofundada na Secção 2.2.1.

O planeamento diretor da produção é um subprocesso do médio prazo, responsável por traduzir a estratégia de longo prazo da empresa, fornecida pela gestão comercial e financeira através do planeamento agregado da produção, num planeamento da produção mais específico. Sendo assim, este deve determinar que produtos é necessário produzir, em que quantidades e para que datas, com o objetivo de satisfazer as necessidades dos clientes. Este subprocesso fornece então informações que permitem coordenar a produção, as vendas e as compras. (Jacobs et al., 2011; Lima, 2019; McClelland, 1988)

O planeamento das necessidades de materiais é um subprocesso do médio prazo, que cria sugestões sobre que produtos comprar ou produzir, definindo quantidades e datas, com base no planeamento diretor da produção. Além do planeamento diretor da produção, também é necessária informação sobre o stock existente de cada produto e as listas de materiais dos produtos a serem produzidos, para se determinar quais os componentes e matérias-primas necessários e os que já existem na organização. Deste subprocesso resultam então sugestões de ordens de produção e de compra. (Gomes, 2014; Hastings et al., 1982; Jacobs et al., 2011; Lima, 2019)

O planeamento das necessidades de capacidades é, também, um subprocesso do médio prazo, que permite determinar as necessidades de capacidades para executar o plano diretor de produção. Através da informação resultante do planeamento das necessidades de materiais, é possível utilizar o *Capacity Requirements Planning* (CRP) para realizar o planeamento das necessidades de capacidades. Além disto, o CRP utiliza também informações sobre o *Work in Progress* (WIP), gamas operatórias, ordens planeadas e em curso. Esta técnica realiza então o cálculo da capacidade utilizada num centro de trabalho para um determinado período de tempo, permitindo determinar qual a capacidade que fica disponível. Se a capacidade for insuficiente, é possível realizar horas extra ou subcontratar. (Hastings et al., 1982; Jacobs et al., 2011; Lima, 2019; Scheer, 1994)

A programação da produção é um subprocesso do curto prazo, que utiliza as ordens de produção lançadas para alocar e sequenciar os trabalhos aos centros de trabalho corretos. Para isto, necessita de saber as precedências entre operações dos produtos a produzir, os componentes e ferramentas utilizados, que centros de trabalho estão disponíveis, entre outros. (Gomes, 2014; Hastings et al., 1982; Jacobs et al., 2011; Scheer, 1994)

Gestão de informação de artigos

A gestão de informação de artigos é responsável pelo controlo de informação, ficheiros, documentos e processos de trabalho necessários para desenvolver, construir, suportar, distribuir e manter os produtos (Tony Liu & William Xu, 2001). É uma ferramenta indispensável ao funcionamento do SPCP e trabalha em paralelo com todas as suas áreas funcionais, desde o curto ao longo prazo, disponibilizando informação a todas elas (Sousa et al., 2009). A principal informação que os SPCP utiliza pode ser classificada em artigos, operações, listas de materiais e gamas operatórias (Scheer, 1994). Para além desta, existem também desenhos de engenharia, diagramas de montagem, especificações do produto, programas de controlo numérico, entre outros (Tony Liu & William Xu, 2001).

Existem dois principais modelos de representação desta informação (Gomes et al., 2009; Scheer, 1994). O primeiro é o tradicional, o modelo de representação direta, onde cada artigo tem um código de identificação, uma lista de materiais e uma gama operatória (Jiao et al., 2000). O segundo é o modelo de representação genérica, onde cada artigo é identificado pela sua família e pelo valor que cada uma das suas propriedades tomam (Gomes, 2014).

Os conceitos serão aqui apresentados utilizando um modelo tradicional, visto que este é geralmente mais utilizado (Gomes, 2014). A terminologia do modelo utilizado foi adaptada de Scheer, 1994.

Artigos e Bill Of Materials

Os artigos representam todos os produtos existentes na empresa e englobam três classes, as matérias-primas, os semiacabados e os produtos acabados. As matérias-primas são artigos que não são produzidos na empresa, sendo, por isso, ou fornecidos pelo cliente ou comprados; os semiacabados são constituídos por outros artigos e são também utilizados para produzir outros artigos; os produtos acabados são artigos em que a empresa não realiza processos adicionais e não são utilizados noutros artigos. (Scheer, 1994)

Os artigos podem ser agrupados de forma gráfica consoante a sua composição na *Bill Of Materials* (BOM), também chamada de lista de materiais (Figura 6).

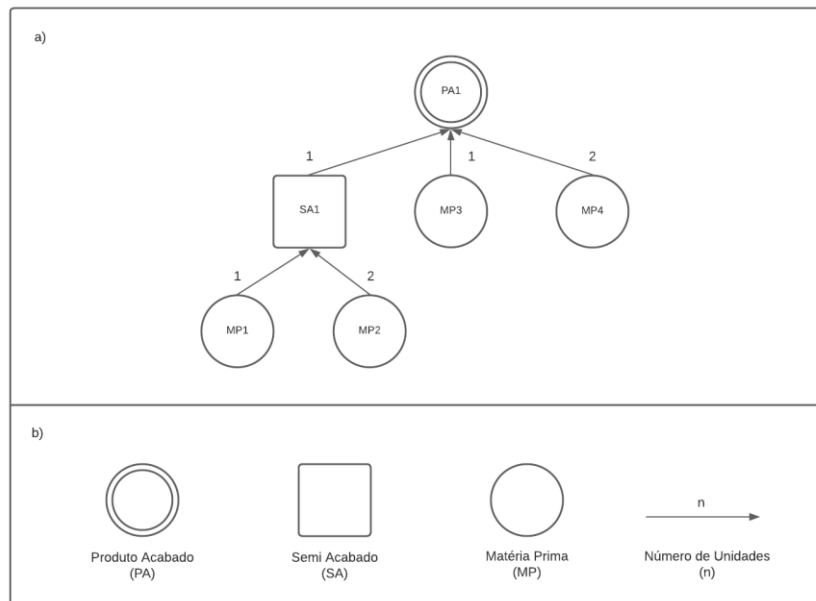


Figura 6 - a) Exemplo de uma BOM; b) Elementos de uma BOM
Adaptado de Scheer, 1994

No exemplo acima, o produto acabado **PA1** é constituído por uma unidade do semiacabado **SA1**, que é composta por uma unidade de matéria-prima **MP1** e duas **MP2**. Além do **SA1**, o **PA1** também é constituído por uma unidade da matéria-prima **MP3** e duas da **MP4**.

Além da representação gráfica de Scheer, 1994, existem também outras representações, como por exemplo a Figura 7, que vai ser utilizada no resto desta dissertação.

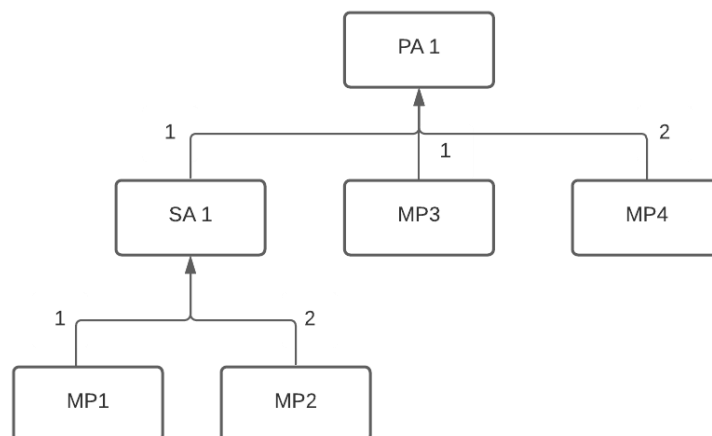


Figura 7 - Representação de uma BOM
Adaptado de Ptak & Smith, 2011

Desde a orçamentação, à identificação dos componentes que devem ser comprados ou produzidos, a BOM disponibiliza informações indispensáveis ao SPCP. Posto isto, esta deve ser definida da forma mais correta possível. A criação de artigos e de níveis de uma BOM dependem de vários fatores, que foram agrupados por (Gomes, 2014):

- A necessidade de realizar um plano diretor de produção para um artigo;
- A necessidade de comercializar um artigo;
- A necessidade de substituir um dos componentes do produto final, devido ao serviço de assistência ao cliente;
- A necessidade de um artigo entrar nos processos de planeamento da produção;
- A necessidade de utilizar um semiacabado em diferentes produtos acabados;
- A necessidade de controlar o *stock* e efetuar os movimentos de entrada e saída de um artigo;
- A necessidade de documentar uma compra de um artigo para comunicar com o fornecedor;
- A necessidade de gerir uma multiplicidade de variantes específicas de um só artigo.

Operações e gamas operatórias

Paralelamente aos artigos e às BOMs, existem as operações, que representam processos que transformam artigos noutros artigos (Gomes, 2014). As operações podem ter informações referentes ao tempo padrão da sua duração, ao tempo do seu *setup*, ao código do artigo pai que contém esta operação, entre outros. As operações podem ser agrupadas em gamas operatórias, também chamadas de *Bill Of Operations* (BOO) ou listas de operações. Estas representam a sequência ou conjunto de operações que o artigo segue até estar completo (Arnold et al., 2008). A gama operatória oferece informações sobre como programar a produção ou como determinar a capacidade interna da organização, sendo assim também um elemento essencial no SPCP. A representação gráfica utilizada nesta dissertação foi adaptada de Scheer, 1994 e aparece na Figura 8.

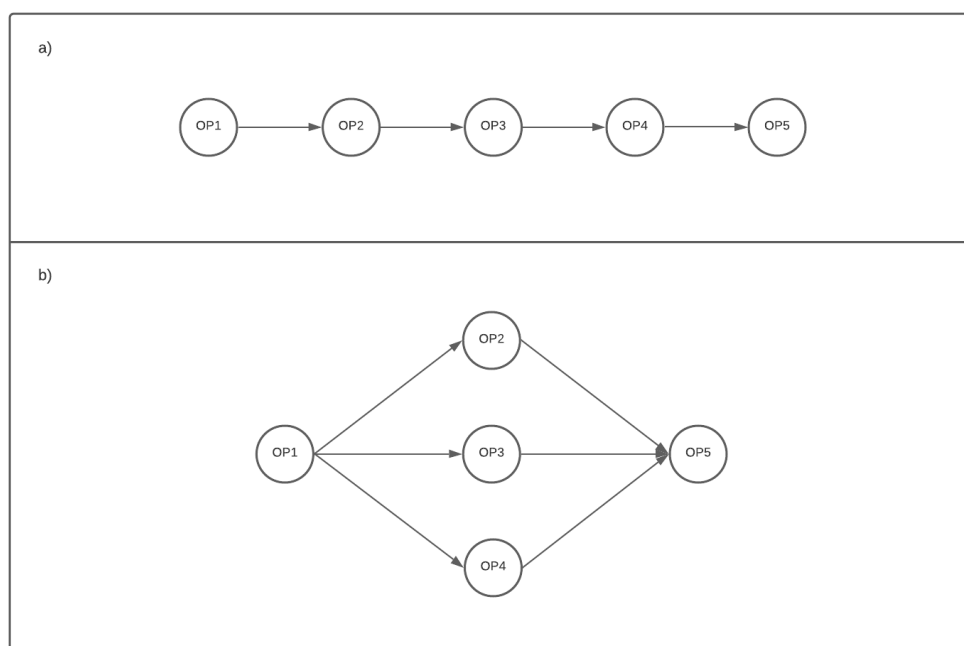


Figura 8 - Representação de uma gama operatória: a) com sequência única; b) com sequências paralelas
 Adaptado de Scheer, 1994

Bill Of Materials and Operations

Como método de integrar a informação das BOMs e das gamas operatórias, Jiao et al., 2000 sugeriram a criação de um modelo referido como *Bill Of Materials and Operations* (BOMO). Uma possível representação deste modelo é apresentada na Figura 9.

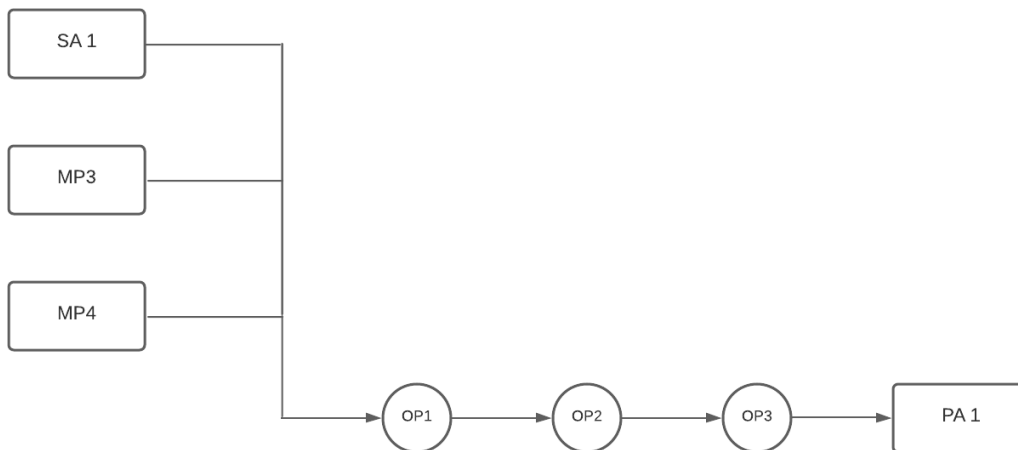


Figura 9 - Representação de uma BOMO

No exemplo acima, o produto acabado **PA1** é constituído pelas matérias-primas **MP3** e **MP4**, e pelo semiacabado **SA1**. Estes três artigos passam por três operações, **OP1**, **OP2** e **OP3**, resultando assim no **PA1**.

BOM de engenharia e BOM de produção

Um dos principais problemas da integração dos sistemas de desenvolvimento de produtos com os SPCP, é a dificuldade em transformar uma BOM de engenharia numa BOM de produção (H. C. Xu et al., 2008). A BOM de engenharia é uma lista com artigos relacionados com os seus artigos pai, de acordo com a sua representação em desenhos de montagem, ao invés da BOM de produção, que relaciona os artigos com os seus artigos pai, de acordo com o seu processo produtivo (Ou-Yang & Pei, 1999; H. C. Xu et al., 2008). Na Figura 10 é possível perceber a diferença entres estas duas BOMs. Normalmente, a BOM de engenharia resulta da utilização de sistemas CAD, enquanto que a BOM de produção necessita de intervenção humana baseada na BOM de engenharia.

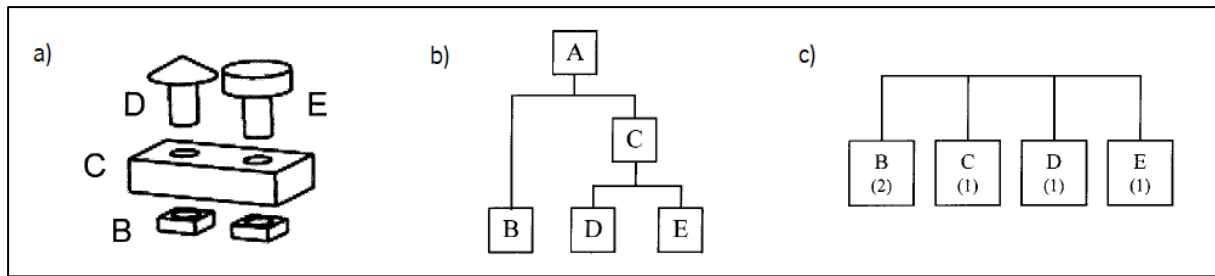


Figura 10 - Exemplos de: a) Desenho de engenharia; b) BOM de engenharia; c) BOM de produção
 Fonte: (Ou-Yang & Pei, 1999)

Existem já várias propostas para a transformação da BOM de engenharia na BOM de produção. H. C. Xu et al., 2008 propõem a sua transformação utilizando a gama operatória do artigo, Ou-Yang & Pei, 1999 propõem a sua transformação utilizando a norma *Standard for The Exchange of Product model data* (STEP) e (C. Lee et al., 2011) propõem a sua transformação utilizando a produção digital e baseando-se em modelos de simulação do ambiente fabril.

Impacto da BOM e da gama operatória

A BOM tem diferentes funções, que foram agrupadas por Maull et al., 1992, dependendo do tipo de produção da empresa:

- Num ambiente *make-to-stock*, os produtos acabados são produzidos em antecipação às encomendas dos clientes, então o controlo da produção é feito através de previsões da procura. Neste cenário, o planeamento diretor da produção é determinado em função da BOM do produto acabado.
- Num ambiente *assemble-to-order*, a produção é controlada através de previsões, mas a montagem do produto acabado só acontece quando o cliente confirma a encomenda. Este tipo de produção acontece nas organizações em que a elevada variedade de produtos não permite o armazenamento dos produtos acabados. Sendo assim, é necessário aumentar os componentes que são consumidos antes da montagem em mais que um produto acabado, para diminuir a variedade de produtos na fase imprevisível. Isto pode ser feito através do estudo e alterações das BOMs dos produtos acabados.
- Num ambiente *make-to-order*, tanto a produção como a montagem são controladas pela confirmação da encomenda pelo cliente. Neste ambiente, a BOM pode ser utilizada para facilitar na previsão da procura de componentes que não podem ser comprados consoante a encomenda (como tinta) ou que têm de ser comprados em lotes grandes devido ao seu custo elevado.
- Num ambiente de *engineer-to-order*, os produtos são desenvolvidos consoante as especificações do cliente, sendo habitual o cliente alterar as mesmas ao longo do desenvolvimento e produção

do produto. A BOM facilita na realização das alterações ao produto e no armazenamento das diferentes variantes ao longo do tempo.

Resumindo, em relação à engenharia de processos, a BOM é utilizada para auxiliar no desenvolvimento dos produtos, como ferramenta de fácil compreensão, que pode ser transferida e alterada de forma simples. Quanto ao planeamento da produção, a BOM é utilizada na realização do planeamento das necessidades de materiais e da programação da produção, pois fornece informações sobre os componentes utilizados para produzir o produto. No chão de fábrica, a BOM é utilizada para demonstrar como se produz e monta um produto. Além disto, a BOM é também utilizada para realizar o custeio do produto, em conjunto com os custos de cada material.

As gamas operatórias, apesar de não terem tantas funções, são igualmente um elemento crucial nos SPCP. Estas contêm informações sobre as operações necessárias para produzir um produto, a sua sequência e os tempos de execução. Em conjunto com informações sobre os centros de trabalho, estas permitem a realização do planeamento das necessidades de capacidades e da programação da produção de forma detalhada. Em relação à programação da produção, as gamas operatórias são assim utilizadas para o escalonamento das operações para uma determinada ordem de produção (Lima, 2019). Além destas funções, utilizando o tempo de execução das operações e o custo da mão-de-obra, é possível realizar o custeio dos produtos.

Na literatura, foram encontrados vários casos onde a BOM e a gama operatória foram utilizadas em conjunto, trazendo diferentes vantagens para a produção. Du et al., 2005 propõem uma estrutura genérica da BOM integrada com gamas operatórias, que reflete o fluxo de materiais de todo o processo produtivo. Esta estrutura genérica permite uma maior flexibilidade na gestão de relações entre variantes de materiais e operações, criando assim uma fonte de dados padronizada para o desenvolvimento de produtos e para o planeamento da produção. Sendo assim, esta estrutura permite que o sistema de produção gira uma grande variabilidade de produtos e de alternativas na produção. Tatiopoulos, 1996 refere que a utilização integrada da BOM com a gama operatória permite a realização do planeamento de necessidades de materiais em conjunto com o planeamento de necessidades de capacidades. Além disto, permite também uma maior unificação entre os vários intervenientes da cadeia de valor, facilitando a gestão de recursos e o planeamento de atividades. Em relação ao chão de fábrica, se utilizadas em conjunto, estas duas ferramentas permitem a implementação do método *backflushing*. Este diminui a quantidade de transações feitas ao sistema para reportar os eventos da produção e manter o controlo do inventário. Pires et al., 2008 concluíram que uma BOM integrada com a gama operatória, se for

relacionada de forma precisa com as encomendas, garante um fluxo de informação adequado para fornecer a informação necessária ao SPCP.

Para melhorar a integração da BOM e da gama operatória num SPCP, estas estruturas necessitam de estar completas, isto é, de conter todos os produtos e operações existentes na organização. Além de estarem completas, devem estar estruturadas com rigor, estando os componentes e operações associados aos produtos corretos. (Maull et al., 1992)

Referenciação genérica

O modelo tradicional de representação da informação, que foi utilizado até agora, tem algumas dificuldades na gestão de ambientes com alta variedade de produtos, em particular na explosão, redundância, abrangência e separação da informação (Jiao et al., 2000). Visto isto, começaram a ser desenvolvidos modelos de referenciação genérica, que são caracterizados pela divisão dos artigos em famílias com propriedades similares. As propriedades podem tomar vários valores e é das diferentes combinações dos valores que resultam os artigos individuais (ou variantes). A BOM e a gama operatória são definidas para a família de artigos e não para a variante. Isto permite que este modelo apresente uma maior flexibilidade na sua implementação e uma manutenção facilitada da informação, especialmente respondendo à alta diversidade de artigos que resulta da customização em massa (Gomes et al., 2011; Jiao et al., 2000). Existem vários modelos de referenciação genérica, mas o que vai ser brevemente explicado nesta dissertação é o modelo *GenPDM*, desenvolvido no Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho, que se encontra implementado no sistema informático de planeamento e controlo da produção - *GenSYS*.

3. STAKEHOLDERS

Este capítulo abrange uma breve apresentação da GenSYS, do sistema informático que esta desenvolveu e da BluFab. Inicialmente, será apresentada de forma sucinta a GenSYS, empresa onde foi realizado o projeto, dando-se ênfase à sua história e missão. Posteriormente, será explicado de forma integral o *GenSYS*, sistema informático de planeamento e controlo da produção que esta empresa desenvolveu para dar resposta a ambientes de customização em massa com altas variedades de produtos. Finalmente, será apresentada a BluFab, empresa que se foca na construção *offsite* e onde este sistema informático está a ser implementado.

3.1 GenSYS

O projeto GenSYS iniciou-se em 2008 com uma proposta de investigação financiada pelo Programa IDEIA da Agência de Inovação (AdI). Este projeto tinha como objetivo o desenvolvimento de modelos de gestão de informação de artigos para ambientes de grande diversidade e de customização em massa. Além disto, existia também a intenção de adequar o modelo a empresas de diferentes setores da indústria e diferentes produtos. (Engium, 2020)

Em 2013, o projeto avançou para o desenvolvimento e implementação das restantes áreas funcionais, o planeamento e controlo da produção e a programação da produção, através de uma parceria com a BOSCH Car Multimedia Portugal, S.A., baseando-se no conceito de *kanbans* eletrónicos (Engium, 2020).

A empresa GenSYS – Generic Systems, Lda (Figura 11) nasceu em 2016, quando foi também adquirida pelo grupo Pinto Brasil, começando aí a avançar para a implementação do sistema noutros setores do mercado (Grupo Pinto Brasil, 2021).



Figura 11 - Logótipo da GenSYS

Além da BluFab, empresa ligada à construção civil, que já foi referida anteriormente, a GenSYS continua com a implementação do sistema na BOSCH Car Multimedia Portugal, S.A., do setor automóvel, e avançou para a implementação noutras empresas, como a Aquatlantis, líder europeia no fabrico de aquários, a Pinto Brasil, especializada em metalomecânica e a Divmac, que desenvolve equipamentos de testes elétricos e periféricos industriais dedicados (Figura 12).



Figura 12 - Principais clientes da GenSYS

Todas as implementações levadas a cabo pela GenSYS são orientadas por uma diretriz que consiste no empoderamento dos clientes, através de ferramentas e conhecimento, para melhorar a eficiência e eficácia dos seus SPCP (GenSYS, 2021). Para alcançar este principal objetivo, a GenSYS dispõe de vários serviços, como o desenvolvimento de ferramentas IT, a consultoria e a formação. Esta dissertação passa pelo desenvolvimento de ferramentas IT como solução para problemas encontrados.

Sistema GenSYS

Tendo em conta os objetivos desta dissertação, é necessário ter uma noção básica do funcionamento do sistema *GenSYS*. Posto isto, nesta secção será apresentada uma visão superficial de todo o sistema.

A estrutura do *GenSYS* divide-se em três módulos (Figura 13). O primeiro é o *PDM* (*Product Data Management*), que se dedica à gestão de informação de artigos, contendo toda a informação sobre os produtos, variáveis e processos geridos por um modelo de referência genérica, conseguindo ainda suportar o modelo de referência direta. Em relação ao médio prazo, existe o *PPC* (*Production Planning and Control*), que se dedica ao planeamento e controlo da produção, permitindo o planeamento das atividades da produção com base em informações em tempo real e do chão de fábrica. Finalmente, para o curto prazo, existe o *SFC* (*Shop Floor Control*), que trata da programação e monitorização da produção, permitindo sincronizar e integrar todas as atividades do chão de fábrica.

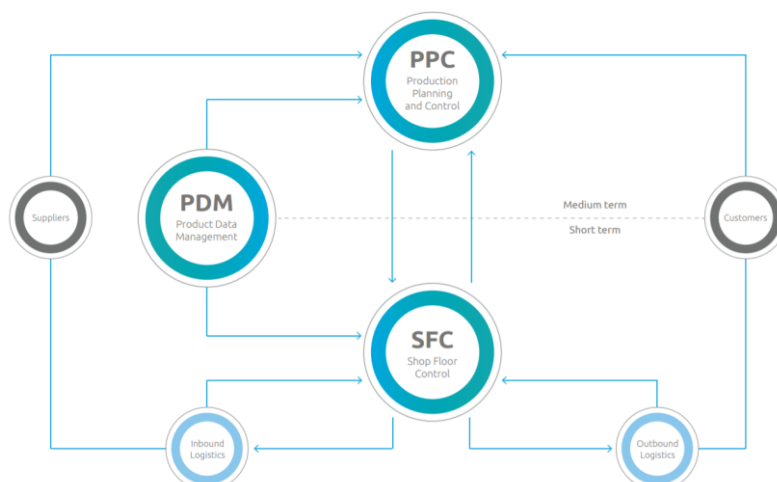


Figura 13 - Estrutura dos módulos do GenSYS

O PDM é tratado pela aplicação *GenPDM*, que utiliza o modelo de referência genérica *GenPDM* para gerir toda a informação relativa aos produtos e processos presentes na organização. Isto inclui toda a terminologia específica à organização, e também vários conceitos, propriedades, comportamentos e atributos que ditam como funciona a organização e como se caracterizam os produtos. De uma forma mais detalhada, esta aplicação permite a identificação e caracterização de artigos, desde as matérias-primas, semiacabados, produtos finais, ferramentas e kits, mas também de operações, classificando as diferentes competências, internas ou subcontratadas. Finalmente, permite a associação destes conceitos na BOMO. Um exemplo da utilização da aplicação *GenPDM* é apresentado na Figura 14.

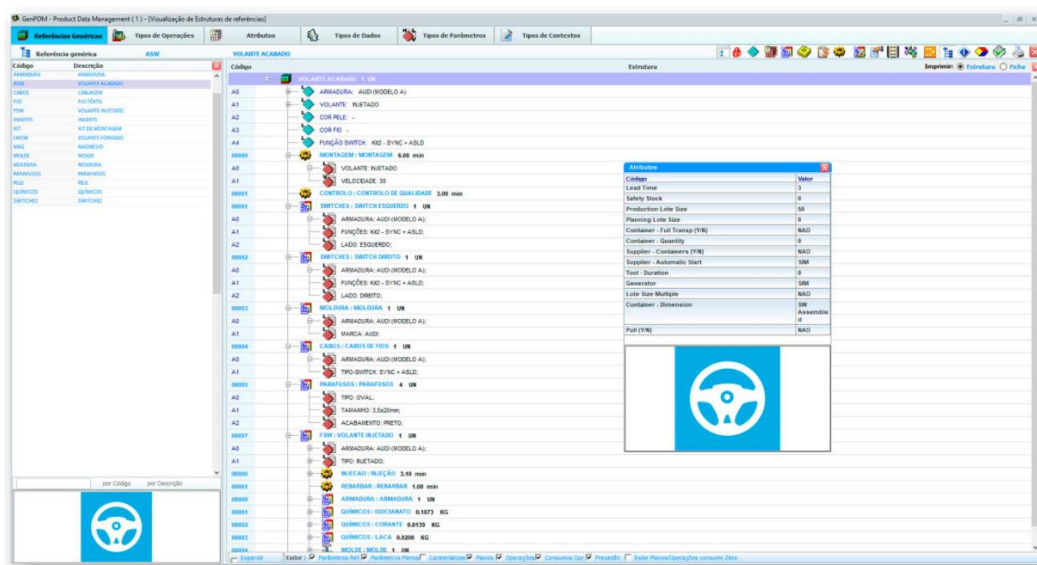


Figura 14 - Demonstração da aplicação *GenPDM*
Fonte: (GenSYS, 2021)

O módulo PPC é tratado por duas aplicações, a *GenPPC* e a *GenPLN*, apresentadas na Figura 15. A *GenPPC* permite a caracterização das necessidades dos clientes e a avaliação da viabilidade de entrega dos produtos finais em função da capacidade disponível. Além disso, inclui ferramentas que possibilitam a realização do orçamento de produtos. É também possível realizar subprocessos de médio prazo do planeamento e controlo da produção, tais como o planeamento diretor da produção, o planeamento das necessidades de materiais e o planeamento das necessidades de capacidades. Além do lançamento de ordens de produção e compra que pode ser feito usando a *GenPPC*, esta aplicação também permite controlar o inventário em tempo real. A *GenPLN* contém ferramentas visuais que permitem a avaliação da capacidade necessária para produzir algo, em comparação com a capacidade interna, e uma melhor análise do planeamento de médio prazo.

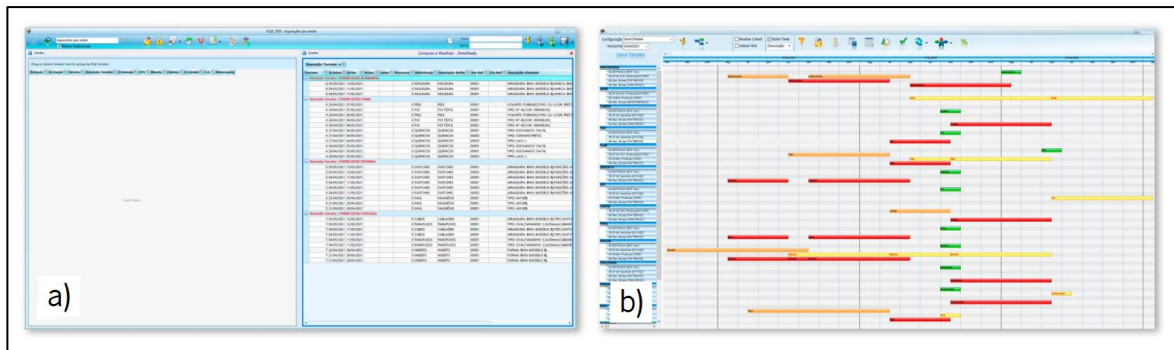


Figura 15 - Demonstração das aplicações: a) *GenPDM*; b) *GenPLN*
 Fonte: (GenSYS, 2021)

O módulo *SFC* é tratado por várias aplicações, a *GenPROG*, a *GenFLOOR*, a aplicação Terminal e a aplicação Terminal *Milk*, apresentadas na Figura 16, que utilizam o conceito de *kanbans* eletrônicos para programar e monitorizar a produção. A *GenPROG* permite executar o escalonamento das operações, enquanto se recebe informações em tempo real sobre o estado do chão de fábrica, permitindo a resposta rápida a qualquer situação. Utilizando algoritmos de escalonamento e de *tracking*, é possível otimizar todo o processo de produção em tempo real e simular cenários para o futuro. A *GenFLOOR* permite a monitorização dos *kanbans* em tempo real de todo o chão de fábrica. A aplicação Terminal fornece não só informações sobre o estado de cada posto de trabalho e armazém, como também fornece informações sobre a produção ao operador. Além disto, também contém funcionalidades para tratar da gestão de *setups* e ferramentas, do controlo de qualidade e manutenção de equipamentos. Finalmente, a aplicação Terminal *Milk* integra de forma sincronizada a produção com a logística interna. Esta informa os operadores que gerem equipamentos de transporte qual é o armazém ou posto de trabalho a que se devem dirigir e que artigos devem transportar.



Figura 16 - Demonstração das aplicações: a) *GenPROG*; b) *GenFLOOR*; c) Terminal; d) Terminal *Milk*
 Fonte: (GenSYS, 2021)

3.2 BluFab

Neste projeto de dissertação, vai ser analisado o processo de implementação do *GenSYS* na BluFab, por isso, segue-se uma pequena apresentação desta empresa e de como esta gere os seus produtos.

A BluFab pertence ao grupo Casais, que foi criado em 1958, sendo agora um dos maiores grupos a nível nacional no setor da construção. Além deste setor, este grupo também tem apostado noutras áreas, como o ambiente, a energia e os serviços. A criação da BluFab teve como principal estímulo, a necessidade do grupo se industrializar para se manter competitivo no mercado. (Grupo Casais, 2021)

A BluFab não tem produtos padronizados, logo fabrica produtos diferentes para cada projeto (obras ou conjuntos de obras), com base nos desenhos de arquitetura que lhe são fornecidos, alternado o processo produtivo em função das necessidades. Um projeto pode ter um número diverso de produtos acabados, dependendo do que o cliente final necessita. Apesar disto, estes tendem a ser semelhantes no seu processo produtivo, não existindo a necessidade de alterar o chão de fábrica a meio de um projeto. No momento da realização deste projeto de dissertação, a BluFab produzia WCs para um hotel. Estes WCs são produzidos na fábrica e, posteriormente, são transportados para a obra, onde são montados (Figura 17). Neste projeto em específico, a BluFab não era responsável pela montagem dos produtos na obra.

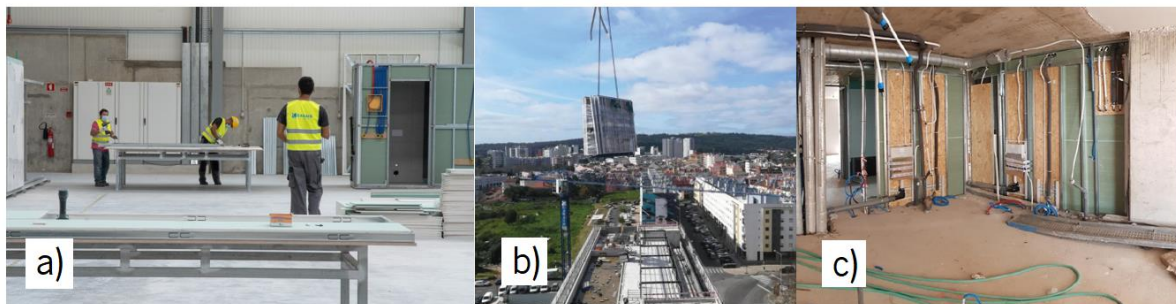


Figura 17 - a) Produção dos WC; b) Transporte dos WCs; c) Montagem dos WCs
Fonte: (Brito et al., 2021)

Com o aumento da competitividade no setor da construção, a BluFab pretende afirmar-se no mercado como uma empresa mais eficiente e sustentável. Para isso, decidiu implementar o *GenSYS* para gerir todo o processo produtivo. No próximo capítulo, será explicado o processo da produção dos WCs e a sua constituição, através de um exemplo.

4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DA IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA *GENSYS*

Neste capítulo, é feita uma descrição do processo manual de criação de artigos, listas de materiais, operações e gamas operatórias utilizado no módulo *PDM* do *GenSYS*. Além disto, são também abordados alguns conceitos de referência genérica, visto que o sistema utiliza este modelo para gerir a informação que lhe é fornecida. Posteriormente, é apresentado um exemplo que vai ser utilizado para explicar o processo manual de criação das estruturas utilizado no sistema, através da caracterização de artigos e operações, e da definição de BOMs e gamas operatórias. Finalmente, é realizada uma análise crítica a este processo na BluFab.

4.1 Descrição do processo manual de criação das estruturas utilizado no *GenSYS*

Neste subcapítulo, é explicado o processo manual de criação das estruturas utilizado no *PDM*, com o intuito de se entender as suas especificidades, em concreto os campos que é necessário preencher. Este módulo utiliza o modelo *GenPDM* de referência genérica para gerir toda a informação, logo é preciso perceber alguns conceitos deste modelo e como o sistema lida com os mesmos. Apesar disto, este módulo também consegue gerir informação utilizando modelos de referência direta.

4.1.1 Tipos de parâmetros

O primeiro conceito que é necessário compreender são os tipos de parâmetros, que identificam propriedades dos artigos e operações necessárias para os caracterizar e distinguir. Estes são úteis para definir propriedades intrínsecas a todos os artigos na organização e para disponibilizar informações ao posto de trabalho, definir habilidades e identificar perfis de capacidade nas operações. Os tipos de parâmetros são assim um conjunto de valores que podem ser divididos em compreensão ou extensão (Figura 18). Os tipos de parâmetros em compreensão contêm um domínio de valores de um determinado tipo de dimensão (inteiro, decimal, etc.) limitado por um intervalo. Os tipos de parâmetros em extensão contêm um domínio de valores definidos individualmente, originando uma lista de valores.

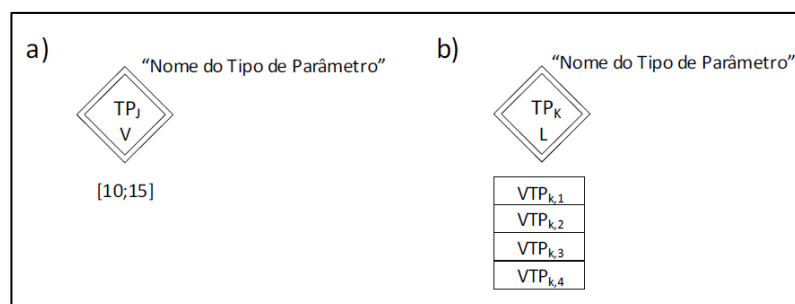


Figura 18 - Representação gráfica de tipos de parâmetros: a) em compreensão; b) em extensão
Fonte: (Velooso, 2019)

Na aplicação *GenPDM*, a criação de todos os tipos de parâmetros implica o preenchimento obrigatório de alguns campos, como o código e a descrição. Além destes dois, se for em compreensão, é necessário ainda preencher o tipo de dimensão, os limites inferior e superior e o valor por defeito (Figura 19).

Figura 19 - Criação de um tipo de parâmetro em compreensão no *GenPDM*

Se for em extensão, não é necessário preencher os campos referidos acima e, ao invés disso, os valores são preenchidos individualmente como se verifica no quadro da Figura 20.

Figura 20 - Preenchimento de valores num tipo de parâmetro em extensão no *GenPDM*

4.1.2 Referências genéricas

As referências genéricas representam famílias de artigos com as mesmas propriedades, que podem ser divididas nas variantes. As variantes representam os artigos individuais e dependem da combinação dos valores que cada propriedade contém. As propriedades são os parâmetros da referência e estão sempre associados a um tipo de parâmetro criado. Além dos parâmetros iguais, as referências genéricas devem também conter apenas artigos com as mesmas BOMs e gamas operatórias. Além disto, também devem conter a unidade de quantidade (unidade, metro, litro, etc.). Na Figura 21, é apresentada uma referência genérica com três parâmetros em extensão, com valores que estão contidos no tipo de parâmetro a que estão associados.

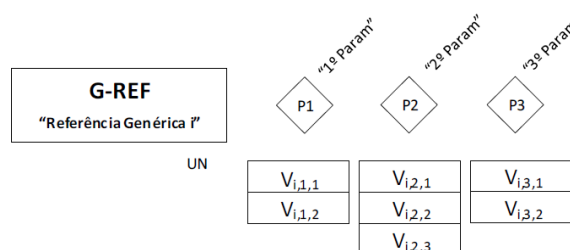


Figura 21 - Representação gráfica de uma referência genérica
Fonte: (Veloso, 2019)

Na aplicação *GenPDM*, a criação de referências genéricas implica o preenchimento obrigatório de vários campos, como o código, a classe, a família, a unidade principal e o armazém (Figura 22). Os valores da classe da referência vêm de uma lista predeterminada (matéria-prima, semiacabado, etc.) e os valores da família são determinados pela organização da maneira que acharem mais relevantes. O armazém é a localização onde se armazenam os artigos representados pela referência.

Figura 22 - Criação de uma referência genérica no *GenPDM*

Depois de criar a referência é possível adicionar os parâmetros, como se vê na Figura 23.

Figura 23 - Associação de parâmetros à referência genérica no *GenPDM*

4.1.3 BOMs genéricas

As BOMs genéricas representam os componentes consumidos na produção de uma família de artigos, e em que quantidades. Estas devem estar estruturadas de forma a que cada variante da referência genérica tenha associada a si uma BOM específica correta. As quantidades consumidas de cada componente podem ser definidas por um valor constante ou por uma expressão que utiliza valores dos parâmetros da referência. Se as referências genéricas dos componentes tiverem parâmetros, estes

devem ser preenchidos com um valor constante ou com um relacionamento direto a um parâmetro da referência genérica do artigo pai. A utilização das expressões nas quantidades consumidas e o relacionamento direto dos parâmetros dos componentes servem para garantir que todas as variantes contidas na referência genérica têm uma BOM específica. Na Figura 24, a referência genérica do artigo pai contém três parâmetros e três componentes. O primeiro componente, que está associado a outra referência genérica já criada, tem um consumo definido por uma expressão que equivale à soma dos valores do segundo e terceiro parâmetros da referência do artigo pai. Os parâmetros do primeiro componente estão associados aos valores do primeiro e terceiro parâmetros da referência do artigo pai, relativamente.

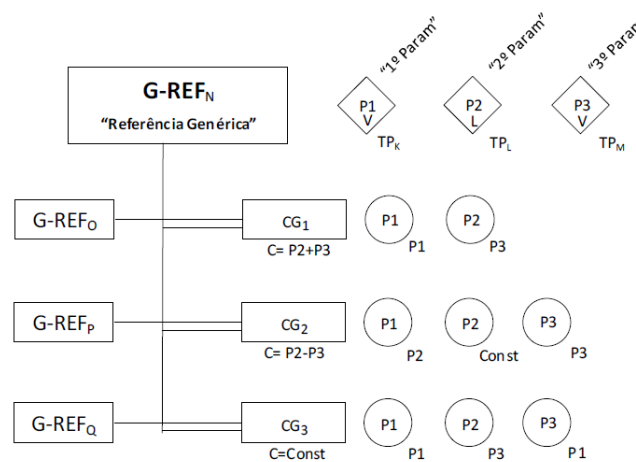


Figura 24 - Representação gráfica de uma BOM genérica
Fonte: (Veloso, 2019)

Na aplicação *GenPDM*, a associação dos componentes à referência genérica do artigo pai apenas implica o preenchimento obrigatório do consumo (Figura 25).

Figura 25 - Associação de componentes à referência genérica no *GenPDM*

4.1.4 Tipos de operações

Os tipos de operações representam as operações que são realizadas na organização para a produção dos artigos. Os parâmetros das operações podem disponibilizar informações aos postos de trabalho

sobre a operação, definir as habilidades de cada posto e identificar os perfis de capacidade. Além dos parâmetros, os tipos de operações devem também conter a unidade do tempo de execução (segundos, minutos, etc.). Na Figura 26, é apresentado um tipo de operação com três parâmetros, em que cada um está associado a um tipo de parâmetro, e com a unidade do tempo de execução de minutos.

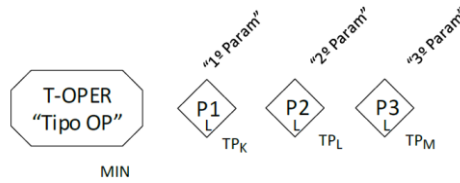


Figura 26 - Representação gráfica de um tipo de operação

Na aplicação *GenPDM*, a criação de tipos de operações implica o preenchimento obrigatório de vários campos, como o código, a descrição e a unidade (Figura 27). A associação dos parâmetros ao tipo de operação é feita da mesma maneira que nas referências.

Código	OP1	Data	13/11/2021	Meta Operação	<input type="checkbox"/>
Descrição	Operação 1				
Imagem	<input type="text"/>				
Armazém	SECT00	SEÇÃO CORTE (WIP)	Unidade	MIN	MIN

Figura 27 - Criação de um tipo de operação no *GenPDM*

4.1.5 Gamas operatórias genéricas

As gamas operatórias genéricas representam sequências de tipos de operações que resultam na produção dos artigos de uma família de artigos e os tempos das suas execuções. Estas devem ser estruturadas de forma a que cada variante da referência genérica tenha associada a si uma gama operatória específica correta. Os tempos de execução podem ser definidos por um valor constante ou por uma expressão que utiliza valores dos parâmetros da referência. Se os tipos de operações tiverem parâmetros, estes devem ser preenchidos da mesma maneira que os parâmetros das referências dos componentes. A utilização das expressões nos tempos de execução e o relacionamento direto dos parâmetros dos tipos de operações servem para garantir que todas as variantes contidas na referência genérica têm uma gama operatória específica. Na Figura 28, a referência genérica do artigo pai contém três parâmetros e três operações. A primeira operação, que está associada a um tipo de operação que já foi criado, tem um consumo constante e o seu parâmetro está associado ao valor do primeiro parâmetro da referência do artigo pai.

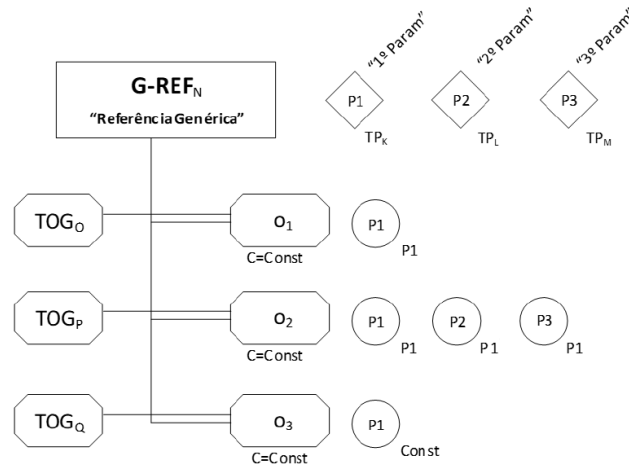


Figura 28 - Representação gráfica de uma gama operatória genérica
 Fonte: (Velo, 2019)

Na aplicação *GenPDM*, a associação das operações à referência genérica do artigo pai apenas implica o preenchimento obrigatório do tempo de execução (Figura 29).

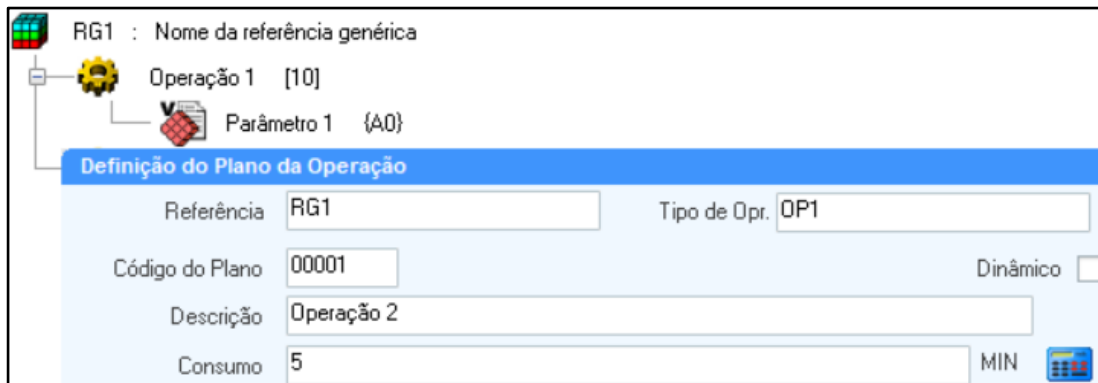


Figura 29 - Associação de operações à referência genérica no *GenPDM*

4.1.6 Integração de BOMs e gamas operatórias genéricas

Como maneira de integrar as BOMs genéricas e as gamas operatórias genéricas, a aplicação *GenPDM* permite associar os componentes consumidos para produzir uma família de artigos às operações da sua gama operatória onde estas são consumidas. Na Figura 30, cada componente está associado a uma operação, mas as operações podem consumir mais que um componente ou não consumir nenhum. Este processo é normalmente associado à criação das gamas operatórias.

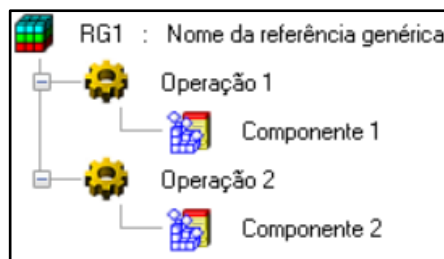


Figura 30 - Associação de componentes às operações de uma referência genérica no *GenPDM*

4.1.7 Templates

A aplicação *GenPDM* contém uma ferramenta, os templates, que permite a criação de referências genéricas de uma forma mais rápida, utilizando sistemas informáticos externos ao *GenSYS*. Estas referências genéricas devem ter semelhanças entre si na constituição das suas BOMs, gamas operatórias, nos parâmetros ou até nos campos que têm de ser preenchidos aquando da sua criação (armazém, unidade principal, etc.). Desta forma, não é preciso preencher manualmente estes dados para cada referência criada, pois estes já se encontram no template, que apenas precisa de ser associado à referência. Se as referências criadas pelo mesmo template tiverem diferenças nas quantidades consumidas na BOM ou nos tempos de execução da gama operatória, o template pode ter parâmetros que não são herdados pela referência, mas servem para preencher esses valores. Nesta dissertação, os templates utilizados vão conter gamas operatórias, parâmetros de template e alguns campos da criação da referência já preenchidos.

4.1.8 Resumo de conceitos

Para resumir todos os conceitos referidos no Subcapítulo 4.1, foi criada a Tabela 4 onde está apresentada a nomenclatura de cada conceito utilizada na *GenPDM*, a que é geralmente utilizada e uma breve explicação.

Tabela 4 - Resumo dos conceitos da gestão de informação de artigos

GenPDM	Nomenclatura	Explicação
Variante	Artigo	Produto individual com uma combinação específica de valores das propriedades.
Operação	Operação	Processo pelo qual um produto individual passa.
Referência genérica	Família de artigos	Conjunto de produtos individuais com propriedades, BOMs e gamas operatórias semelhantes.
Tipo de operação	Família de operações	Conjunto de operações individuais com propriedades e competências semelhantes.
Parâmetro	Propriedade	Propriedade de um artigo individual ou família de artigos, de uma operação individual ou família de operações e de um template.
Tipo de parâmetro	-	Base de dados com todas as propriedades e seus valores.
Componente	Componente	Artigo que é consumido noutra artigo.
BOM genérica	BOM genérica	BOM que representa as BOM de todos os artigos de uma família de artigos.
Gama operatória genérica	Gama operatória genérica	Gama operatória que representa as gamas operatórias de todos os artigos de uma família de artigos.

4.2 Apresentação das estruturas utilizadas na BluFab

A representação da informação apresentada neste subcapítulo, tem como finalidade proporcionar um exemplo das estruturas que podem ser criadas no *GenSYS*. Através deste exemplo, é possível determinar

as necessidades e especificidades inerentes a este processo. Durante a realização deste projeto de dissertação, a BluFab encontrava-se a produzir trinta e oito tipos de WC para um hotel. De modo a manter a confidencialidade dos dados desta empresa, todos os códigos estão alterados e apenas um dos trinta e oito tipos de WC é analisado. Além disto, os componentes e as operações que perfazem o seu processo produtivo vão ser simplificados, mantendo, ainda assim, todas as particularidades e requisitos dos dados reais. Todavia, as análises críticas dos dados iniciais e dos resultados finais, são realizadas utilizando os dados reais.

Todos os artigos, operações, BOMs e gamas operatórias que vão ser apresentados neste subcapítulo, representam, de forma simplificada, o processo produtivo e os produtos que foram definidos por uma equipa com competências transversais à engenharia de produtos e engenharia de processos, antes do início desta dissertação. Toda esta informação vai ser representada utilizando o modelo de referência direta apresentado no Capítulo 2, visto não existir uma grande variedade de artigos.

4.2.1 Caracterização de artigos e definição das BOMs

Os artigos presentes neste projeto foram classificados como produtos acabados, semiacabados e matérias-primas e estão apresentados na Tabela 5 com os respetivos códigos.

Tabela 5 - Classificação e codificação de artigos

Classificação	Artigos	Códigos
Produto acabado	WC	WC001
Semiacabado	Parede da porta	PARPOR001
	Parede do duche	PARDUC001
	Parede da sanita	PARSAN001
	Parede do lavatório	PARLAV001
	Placa maquinada	PLAMAQ001
	Kit da estrutura metálica	KITEM001
	Placa infraestruturada da porta	PLAINFPOR001
	Placa infraestruturada do duche	PLAINFDUC001
	Placa infraestruturada da sanita	PLAINFSAN001
	Placa infraestruturada do lavatório	PLAINFLAV001
Matéria-prima	Cerâmico	CER001
	Placa	PLACA001
	Canal	CANAL001
	Montante	MONT001
	Placa OSB	PLAOSB001

Existem quatro tipos de paredes, que podem ser identificados na Figura 31a). A parede da porta aparece a amarelo, a parede do duche aparece a vermelho, a parede da sanita aparece a azul e a parede do lavatório aparece a verde. Na Figura 31b) são apresentadas duas perspetivas do desenho 3D da parede do lavatório, com placas infraestruturadas.

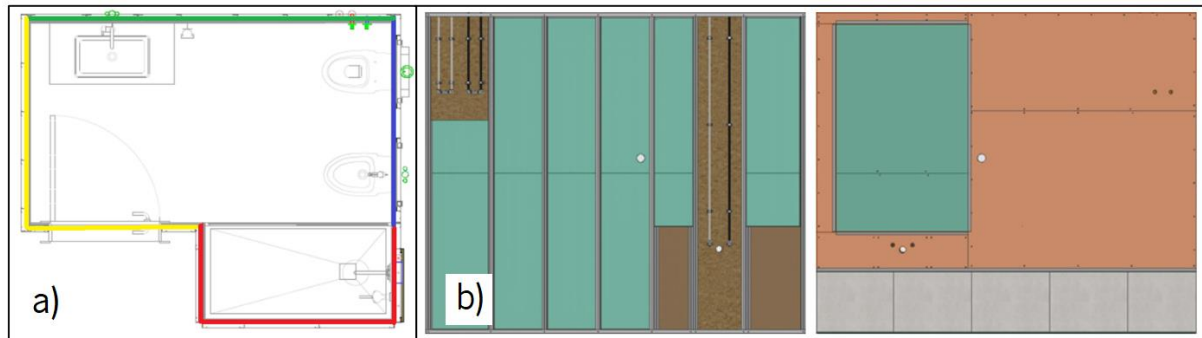


Figura 31 - a) Planta do WC; b) Representação 3D de uma parede do WC
Fonte: (Brito et al., 2021)

Os critérios usados para a criação destes artigos foram os seguintes: o WC é um artigo que é vendido, as diferentes paredes e placas infraestruturadas são artigos armazenados, as placas maquinadas e o kit da estrutura metálica são artigos partilhados por vários artigos pai (as paredes) e todas as matérias-primas são artigos que são comprados e armazenados.

Como é possível verificar na Figura 31a), a parede da porta e do duche contêm dobras, que resultam em subparedes. Apesar disto, o artigo subparede não foi criado, porque não cumpre nenhum critério que justifique a sua criação. A parede da sanita e a do lavatório são compostas por uma parede inteira, a da porta é composta por duas subparedes, e a do duche por três subparedes. O número de subparedes determina a quantidade de kits de estrutura metálica e de placas maquinadas utilizadas, ou seja, por cada subparede são consumidas duas placas maquinadas e um kit da estrutura metálica. Além disto, a placa infraestruturada também depende da funcionalidade da parede, sendo que, para cada parede, o número de furos da placa infraestruturada é diferente. As placas infraestruturadas da sanita e do duche têm três furos e as da porta e do lavatório têm dois furos. Tendo em conta os objetivos deste projeto, vai ser analisado o WC como se este apenas tivesse a parede da porta, visto que o processo de criação das quatro paredes no sistema, não contem diferenças significativas. Tendo isto em conta, a BOM que vai ser analisada é a do WC com a parede da porta, e é apresentada na Figura 32. Ainda assim, a BOM com a totalidade do WC é apresentada no Apêndice 1, com todos os componentes e as suas quantidades.

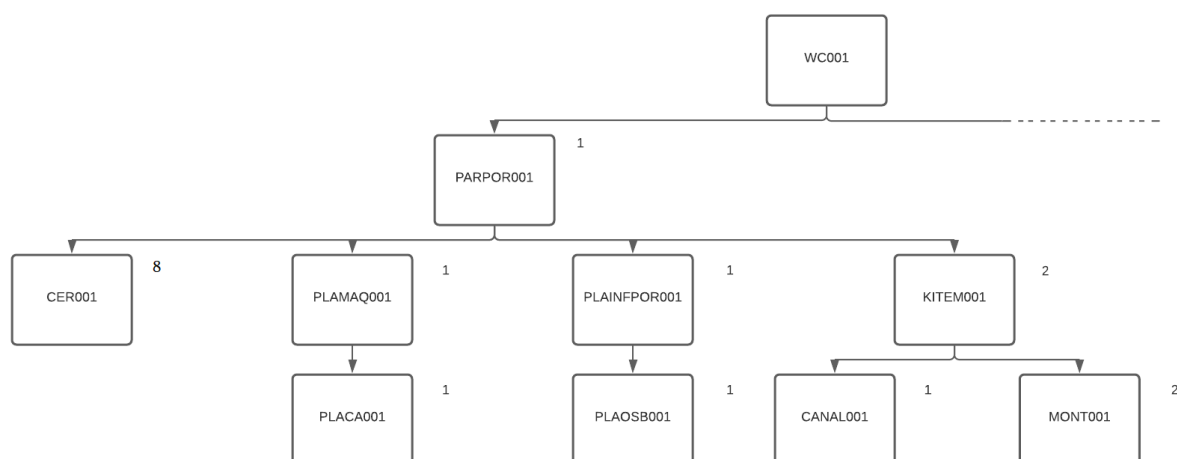


Figura 32 - BOM do WC com a parede da porta

Como se pode verificar na Figura 32, o WC consome a parede da porta, que é composta por duas subparedes, logo consome quatro placas maquinadas, dois kits da estrutura metálica, uma placa infraestruturada da porta e 8 m² de cerâmico, que não depende das subparedes. A placa maquinada consome 1 m² de placa, o kit da estrutura metálica consome um montante de 2 m e um canal de 1 m e a placa infraestruturada da porta consome uma placa OSB inteira.

4.2.2 Caracterização das operações e definição das gamas operatórias

As operações existentes para produzir este WC estão apresentadas na Tabela 6 com os respetivos códigos. As gamas operatórias dos semiacabados são apresentadas na Figura 33, já integradas na BOMO.

Tabela 6 - Codificação de operações

Operações	Códigos
Embalagem	EMB001
Placagem	PLA001
Acabamento	ACA001
Estruturação	EST001
Montagem	MON001
Maquinação	MAQ001
Corte	CRT001

O *GenSYS* permite a integração da BOM com a gama operatória, utilizando a BOMO, logo a gama operatória do WC vai ser apresentada já integrada na BOMO. Como aconteceu na secção anterior, esta estrutura do WC vai ser apresentada apenas com a parede da porta (Figura 33). No Apêndice 2, é apresentada a BOMO completa com todas as paredes e diferenças nos tempos das operações.

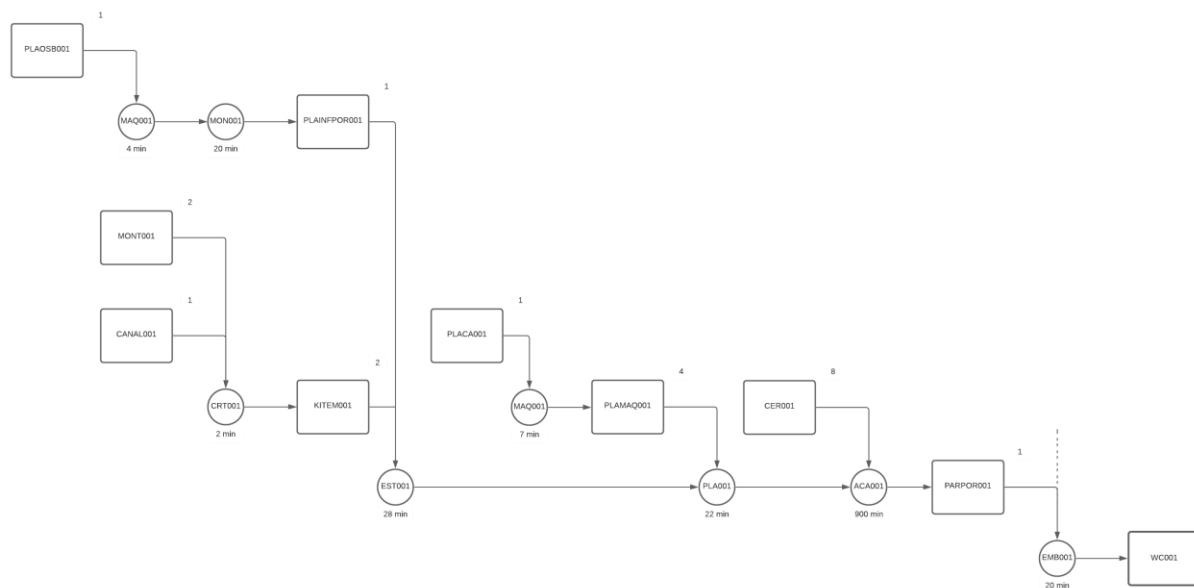


Figura 33 - BOMO do WC com a parede da porta

Como se pode verificar na figura acima, o WC é composto por quatro paredes, que são embaladas, num processo que demora 20 min. As paredes, apesar de diferentes, contêm todas as mesmas três operações: estruturação, placagem e acabamento. Na operação de estruturação, que demora 28 min, é consumida uma placa infraestruturada da porta e kits da estrutura metálica. Na operação de placagem, que demora 22 min, são consumidas placas maquinadas. Na operação de acabamento, que demora 900 min, é consumido o cerâmico. A placa infraestruturada contém uma operação de maquinação, onde é consumida uma placa OSB, que tem uma duração dependente do número de furos, isto é, demora 2 min para cortar a placa na sua totalidade e 1 min por cada furo. A placa infraestruturada da porta tem dois furos, logo demora 4 min na maquinação, tendo depois de passar por uma operação de montagem que demora 20 min. O kit da estrutura metálica consiste em dois montantes e num canal, que passam por uma operação de corte, que demora 2 min. A placa maquinada contém uma operação de maquinação, onde é consumida uma placa, que demora 7 min.

4.3 Análise crítica ao processo de criação das estruturas na BluFab

Depois de serem reunidas as estruturas, estas têm de ser criadas no *GenSYS*. A expressão “caraterização da referência” corresponde à criação da referência e das suas BOM e gama operatória, no sistema; este conjunto de estruturas define, então, toda a informação necessária para caraterizar uma referência. Além disso, o termo “elemento” vai ser utilizado para se referir a uma referência, um tipo de operação, uma BOM ou uma gama operatória.

A caracterização das referências pode ser realizada manualmente ou utilizando ferramentas já criadas pela GenSYS para o acaso. Além dos elementos que são utilizados em vários projetos, como as referências das principais matérias-primas ou os tipos de operações mais comuns, é ainda necessário criar elementos exclusivos para cada projeto. Isto inclui referências novas de: semiacabados, produtos acabados, e matérias-primas usadas excepcionalmente; tipos de operações novos, no caso de projetos que requerem novas operações; e BOMs e gamas operatórias das novas referências de semiacabados e produtos acabados.

Em relação à caracterização das referências das matérias-primas, este processo vai ser realizado apenas uma vez antes de ser importada informação referente a qualquer projeto. Isto porque as principais matérias-primas são utilizadas em vários projetos e as exceções são utilizadas raramente, podendo por isso ser criadas manualmente. Devido à simplicidade da informação que é necessário preencher para caracterizar as referências destes artigos, este processo vai ser realizado preenchendo os campos num ficheiro *Exce/e* e importando tudo utilizando uma ferramenta desenvolvida pela GenSYS.

As referências dos semiacabados e produtos acabados contêm BOMs e gamas operatórias, logo a mesma ferramenta utilizada para as matérias-primas não pode ser utilizada, visto que não consegue lidar com este tipo de informação. Sendo assim, a única alternativa que existe é a caracterização destas referências de forma manual.

Os tipos de operações são semelhantes às matérias-primas, pois existem independentemente dos projetos. Além disto, a quantidade de tipos de operações é pequena, o que permite a sua criação manual, antes de ser importada informação referente a qualquer projeto. Qualquer tipo de operação que tenha de ser criado devido a um projeto novo é criado individualmente.

4.3.1 Tempo de caracterização de referências dos semiacabados e produtos acabados

A caracterização das referências dos semiacabados e produtos acabados é um processo demorado, quando feito manualmente. De modo a quantificar o impacto que este processo tem, recorreu-se à técnica da amostragem para medir o Tempo de Caracterização de uma Referência (TCR), que está apresentada no Apêndice 3. Isto resultou num TCR de 359,8 s. Utilizando os valores reais do projeto atual da Blufab, chegou-se à quantidade de 2356 referências por projeto.

Como a Blufab é uma empresa recente, o número anual de projetos foi estimado apenas com os dados que existiam, chegando-se ao valor de quatro projetos por ano. O número de referências por projeto foi estimado utilizando os valores do atual projeto. Assim sendo, o número anual de referências

caracterizadas é de 9424 e, considerando o TCR = 359,8 s, este processo demora anualmente 941,88 h. Finalmente, considerando um salário de 6,82 €/h, isto equivale a um custo anual de 6423,62 € (Equação (1)).

$$\text{Custo anual} = N^{\circ} \text{ de referências anual} \times \frac{\text{TCR}}{3600} \times \text{Salário/hora} \quad (1)$$

4.3.2 Erros na caracterização de referências dos semiacabados e produtos acabados

Além do impacto causado pela caracterização de referências de forma manual em relação à sua duração, existe ainda outro problema, a frequência de erros que acontecem no preenchimento dos campos. Depois da caracterização de cada referência, esta recebe uma verificação visual, em que o mesmo colaborador que a caracterizou verifica visualmente o preenchimento dos campos. Os erros cometidos podem ter dois níveis de gravidade:

- Erro no preenchimento dos campos, que é detetado na verificação visual. Este necessita apenas da realização da correção da referência ou da eliminação da mesma, e da sua caracterização de novo – Erro Detetado (ED)
- Erro no preenchimento dos campos, que não é detetado na verificação visual. Este erro é mais grave, pois apenas é detetado no chão de fábrica, geralmente no final do processo, quando se coloca o cerâmico. Até esse momento, a parede e os seus componentes já passaram por muitas operações e grande parte desses produtos não pode ser reaproveitada – Erro Não Detetado (END)

Apesar de terem sido verificados erros na criação manual de dados no *GenSYS*, estes são raros e, tendo em conta a duração deste projeto de dissertação, não foi possível medir com certeza a probabilidade de os mesmos acontecerem. Sendo assim, esta probabilidade foi estimada a partir da probabilidade de acontecerem erros na introdução manual de dados num sistema informático determinada por Barchard & Pace, 2011. Daqui tiram-se os seguintes dados: a probabilidade de serem cometidos erros no preenchimento manual, sejam estes detetados ou não na verificação visual, é $p_{\text{Erro}} = 0,0095$, isto é, por cada 1000 referências criadas, 9,5 contêm um erro; a probabilidade de serem cometidos erros no preenchimento manual de campos e estes não serem detetados numa verificação visual é de $p_{\text{END}} = 0,0082$, isto é, por cada 1000 referências criadas e verificadas visualmente, 8,2 contêm um erro. Daqui é possível retirar que a probabilidade de os erros serem detetados é dada pela Equação (2), e resulta em $p_{\text{ED}} = 0,0013$.

$$p_{ED} = p_{Erro} - p_{END} \quad (2)$$

Considerando o número de referências caracterizadas anualmente na BluFab, de 9424, calculado na secção anterior, é possível concluir que, anualmente, cerca de 77,3 referências com erro não são encontradas através da verificação visual, sendo o erro apenas detetado no chão de fábrica e cerca de 12,3 referências com erro são detetadas na verificação visual (Equações (3) e (4)). Estes valores não se afastam muito da realidade verificada na amostra da BluFab, onde se detetaram, proporcionalmente, poucos mais erros. Os valores verificados são superiores aos estimados, visto que o período analisado não é longo o suficiente e, no início da implementação do *GenSYS*, os colaboradores têm mais dificuldade em utilizar o sistema. Sendo assim, é esperado que este valor normalize com o decorrer da implementação.

$$N^{\circ} \text{ de referências anuais com ED} = N^{\circ} \text{ de referências anuais} \times p_{ED} \quad (3)$$

E

$$N^{\circ} \text{ de referências anuais com END} = N^{\circ} \text{ de referências anuais} \times p_{END} \quad (4)$$

Depois de determinadas as quantidades de referências que contêm um ED ou um END, vai ser analisado o impacto que estes erros têm na BluFab. O custo dos erros ED pode ser determinado através do tempo que demora criar uma referência. O Tempo de Retrabalho de um ED (TRED) equivale a aproximadamente 265 s. Utilizando uma adaptação da Equação (1), onde o número de referências anual é 12,3 e em vez do TCR temos o TRED, é possível determinar que o custo anual do retrabalho dos erros ED é 6,17 €.

O custo dos erros END pode ser determinado utilizando o custo de retrabalho no chão de fábrica de 750,00 € por parede. Este valor contém o custo dos materiais, o custo de realizar as operações e o custo logístico que corresponde ao transporte, movimentação e armazenamento dos materiais; além destes custos, considera ainda o reaproveitamento de uma percentagem dos materiais. Os erros END podem afetar as paredes diretamente ou um dos seus componentes, situações que resultam igualmente no desperdício de grande parte do material que compõe a parede. Visto isto, é possível determinar que, para cada erro numa referência, seja de um produto acabado ou de um semiacabado, se aplica o custo de 750,00 €. Tendo isto em conta, utilizou-se a Equação (5), onde o número de referências anuais com erro END é 77,3, para calcular o custo anual do retrabalho dos erros END, resultando num valor de 57975,00 €.

$$\text{Custo anual END} = N^{\circ} \text{ de referências anuais END} \times \text{Custo por erro END} \quad (5)$$

Em conclusão, o custo anual do retrabalho causado pelos erros que são detetados na verificação visual é um valor residual de 6,17 €, enquanto que o custo anual do retrabalho causado pelos erros que não são detetados na verificação visual é um valor muito mais significativo de 57975,00 €.

5. DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA DE MELHORIA

Este capítulo foca-se na explicação da solução encontrada para responder aos problemas do capítulo anterior. Esta tem, portanto, dois objetivos; o de diminuir o tempo de caracterização das referências dos semiacabados e dos produtos acabados no *GenSYS*; e o de reduzir o número de erros provenientes da caracterização das referências neste sistema.

A solução encontrada para cumprir estes objetivos foi a de desenvolver uma ferramenta que lida com a criação das referências e das BOMs dos semiacabados e produtos acabados. As gamas operatórias são associadas às respetivas referências utilizando os templates do *GenSYS*. Os templates podem ser criados manualmente, tendo em conta a pequena quantidade de gamas operatórias e parâmetros diferentes existente em cada novo projeto. A ferramenta fica também encarregue de associar os templates às referências, para que exista o mínimo de interação humana. Na Tabela 7 são apresentados, para cada processo, o método inicial como este era realizado e a justificação que levou à sua definição, e o método proposto e a justificação que levou a ser criada essa proposta.

Tabela 7 - Métodos iniciais e métodos propostos para realizar cada processo

Processo	Método inicial	Justificação	Método proposto	Justificação
Caraterização das referências das matérias-primas	Importação através de uma ferramenta desenvolvida pela GenSYS.	Matérias-primas não contêm BOMs nem gama operatória.	Mesmo método (Figura 52 do Apêndice 4).	Análise deste método não resultou em problemas.
Criação das referências e BOMs dos semiacabados e produtos acabados	Criação manual.	Ferramenta utilizada nas matérias-primas não permite importar BOMs.	Utilização da ferramenta desenvolvida, com o auxílio de templates.	Criação manual implica um tempo elevado e resulta em retrabalho.
Criação dos tipos de operações	Criação manual.	Quantidade de tipos de operações é reduzida.	Mesmo método (Figura 53 do Apêndice 4).	Análise deste método não resultou em problemas.
Criação das gamas operatórias dos semiacabados e produtos acabados	Criação manual.	Ferramenta utilizada nas matérias-primas não permite importar gama operatória.	Utilização de templates, com o auxílio da ferramenta desenvolvida.	Criação manual implica um tempo elevado e resulta em retrabalho.

5.1 Introdução à ferramenta desenvolvida

A ferramenta foi baseada em dois princípios: garantir o mínimo de interação humana e conseguir lidar com vários projetos.

Para garantir o mínimo de interação humana decidiu-se utilizar informação proveniente dos desenhos 3D, que serviam, na altura, como guia para a produção dos WCs. Os desenhos são feitos no *Inventor*, programa que permite a exportação de uma lista, através de um ficheiro *Excel*, que equivale à BOM do produto acabado como foi desenhado e que contém informação dos produtos desenhados. Como os desenhos não são realizados com base na produção, a BOM que lá está representada é a de engenharia. Assim, esta precisa de ser alterada para a BOM de produção, para que o *GenSYS* consiga ler a informação e reproduzir corretamente no chão de fábrica o processo produtivo. No Subcapítulo 5.3 será explicada em detalhe a BOM de engenharia.

Para permitir que a ferramenta lide com vários projetos, esta contém regras genéricas que podem ser adaptadas às suas necessidades. Sendo assim, a ferramenta lida com um número indeterminado de referências das várias classes, com vários parâmetros, um número indeterminado de templates e diferentes complexidades nas BOMs. Tendo tudo isto em consideração, o processo de funcionamento que a ferramenta vai seguir é apresentado na Figura 34.



Figura 34 - Processo de funcionamento da ferramenta

5.2 Estrutura específica para a importação

Para se perceber o processo da Figura 34 é necessário, primeiramente, perceber como é que a ferramenta importa a informação para o *GenSYS*. Isto acontece usando uma *Application Programming Interface* (API) – interface que permite a integração de dois sistemas informáticos – que facilita a comunicação do *GenSYS* com o *Excel*. Tendo isto em conta, e visto que a informação é exportada pelo *Inventor* para um ficheiro *Excel*, a ferramenta foi então desenvolvida no *Excel*, usando o *Visual Basic for Applications* (VBA). Para que a API consiga comunicar com o *GenSYS*, a informação do *Excel* a ser importada tem de seguir uma estrutura específica. Na Figura 35 e na Figura 36 são apresentadas as estruturas para criar referências e BOMs no *GenSYS*, respetivamente.

TEMPLATE	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	CAMINHO IMAGEM			
TEMPLATE X	AAAA001	ARTIGO AAAA1	\\localhost\AAAA001.jpg			
TEMPLATE	CODIGO	DESCRIÇÃO	CAMINHO IMAGEM	PARÂMETRO A	PARÂMETRO B	PARÂMETRO C
TEMPLATE Y	BBBB001	ARTIGO BBBB1	\\localhost\BBBB001.jpg	x	x	x
TEMPLATE Y	BBBB002	ARTIGO BBBB2	\\localhost\BBBB002.jpg	x	x	x
TEMPLATE Y	BBBB003	ARTIGO BBBB3	\\localhost\BBBB003.jpg	x	x	x

Figura 35 - Estrutura da informação para criar referências no *GenSYS*

A estrutura da informação para a criação das referências necessita do agrupamento das referências por template. Além disto, é obrigatório o preenchimento de quatro campos (a cinzento), o código do template, o código da referência, a descrição da mesma e o caminho da imagem, que é utilizado pelo *GenSYS* para associar uma imagem à referência. Além dos campos obrigatórios, também podem existir campos referentes aos parâmetros dos templates (a azul). No exemplo da Figura 35, seriam criadas quatro referências, sendo que a **AAAA001** estaria associada ao **TEMPLATE X**, que não tem parâmetros, e as **BBBB001**, **BBBB002** e **BBBB003** estariam associadas ao **TEMPLATE Y**, que tem três parâmetros, todos com o valor **x**.

REFERÊNCIA PAI	REFERÊNCIA COMPONENTE	QUANTIDADE	CAMPO A
AAAA001	BBBB001	1	x
BBBB001	CCCC001	2	x
BBBB001	CCCC002	2	x
BBBB001	CCCC003	1	x

Figura 36 - Estrutura da informação para criar BOMs no *GenSYS*

A estrutura para a criação das BOMs necessita do agrupamento dos planos de consumo (conjunto de informação composto por uma referência pai, uma referência componente, a quantidade consumida e outros campos não obrigatórios) por referência pai. Além disto, é obrigatório o preenchimento de três campos (a cinzento), o código da referência pai, o código da referência componente e a quantidade do componente que é consumida no pai. Além dos campos obrigatórios, também podem existir campos com informação adicional para o preenchimento da BOM no *GenSYS* (a azul), como por exemplo: o tipo de consumo, isto é, se o consumo é proporcional, fixo ou por lote e em que operação da gama operatória do pai o componente é consumido. No exemplo mostrado seriam criados quatro planos de consumo, no primeiro, a referência **AAAA001** consumiria a **BBBB001** com quantidade **1** e, no segundo, a referência **BBBB001** consumiria as **CCCC001**, **CCCC002** e **CCCC003** com quantidades **2**, **2** e **1**, respetivamente. O **CAMPO A** teria o valor **x** para os quatro planos de consumo.

5.3 Lista exportada – origem da informação

Como foi referido anteriormente, a lista exportada é gerada pelo *Inventor*, a partir dos desenhos que são usados para auxiliar à produção dos WCs no chão de fábrica. Além da informação proveniente dos desenhos, também se podem acrescentar campos que se mostrem úteis para o funcionamento da ferramenta. Todos os campos que não vêm já preenchidos automaticamente, têm de ser preenchidos manualmente pelo desenhador. Cada campo tem de ser preenchido para as peças e conjuntos do desenho, conceitos que irão ser explicados mais à frente nesta secção. Na Figura 37, é apresentado um

exemplo que demonstra a lista exportada com os campos que inicialmente foram considerados suficientes para que a ferramenta cumprisse as suas funções.

Item	Part Number	Description	Thumbnail	Quantity	BOM Structure	Category	Component Type
1	AAAA001	Artigo AAAA1	AAAA001 ARTIGO AAAA1	1	Normal	A	Assembly
1.1	BBBB001	Artigo BBBB1	BBBB001 ARTIGO BBBB1	2	Normal	B	Assembly
1.1.1	CCCC001	Artigo CCCC1	CCCC001 ARTIGO CCCC1	1	Purchased	C	Part
1.2	BBBB002	Artigo BBBB2	BBBB002 ARTIGO BBBB2	2	Normal	B	Assembly
1.2.1	CCCC002	Artigo CCCC2	CCCC002 ARTIGO CCCC2	3	Purchased	C	Part
1.2.2	CCCC003	Artigo CCCC3	CCCC003 ARTIGO CCCC3	4	Normal	C	Assembly
1.2.2.1	DDDD001	Artigo DDDD1	DDDD001 ARTIGO DDDD1	2	Purchased	D	Part

Figura 37 – Exemplo genérico da lista exportada inicial

O primeiro campo é o **Item**, que contém um valor representativo do nível onde a referência se encontra na BOM. Por exemplo, a referência com o valor **1** é pai das referências com os valores **1.1** e **1.2**, a referência com o valor **1.1** é pai da referência com o valor **1.1.1**, e assim sucessivamente. Os valores desta coluna são preenchidos de forma automática pelo *Inventor* e dependem da maneira como o desenho é estruturado. Quando se desenha no *Inventor* é possível criar peças que equivalem a componentes, e é possível juntá-las, formando conjuntos que equivalem às referências pai. É através desta organização do desenho, que o *Inventor* consegue identificar as relações entre os artigos e preencher corretamente o valor no campo **Item**.

O segundo campo é o **Part Number**, que é preenchido de forma manual no *Inventor*, com o código respetivo da referência.

O terceiro campo é o **Description**, que é preenchido de forma manual no *Inventor*, com a descrição da referência.

O quarto campo é o **Thumbnail**, que é preenchido automaticamente pelo *Inventor*, com uma imagem do desenho da referência. Na Figura 37 estão representados exemplos de imagens com o código e a descrição das referências, no lugar das imagens finais. Estas imagens são depois guardadas numa pasta, e o seu caminho é preenchido na criação das referências, de forma a associar a referência à sua imagem.

O quinto campo é o **Quantity**, que é preenchido de forma automática pelo *Inventor*, utilizando a organização do desenho, e corresponde à quantidade dessa referência que é consumida na referência pai. Por exemplo, na referência **AAAA001** são consumidas **2** unidades da referência **BBBB001** e **2** unidades da referência **BBBB002**, na referência **BBBB001** é consumida **1** unidade da referência **CCCC001**, e assim sucessivamente.

Os três campos restantes (**BOM Structure**, **Category** e **Component Type**) servem para associar cada referência a um template. Isto é, cada combinação de valores destes três campos pode corresponder a um template, que fica associado à referência da linha respetiva. Por exemplo, na Figura 37, a linha com valor **1** no campo **Item**, contém a combinação de valores dos três campos restantes de **Normal**, **A** e **Assembly**, respetivamente. Esta combinação corresponde a um template, que ficará associado à referência **AAAA001**.

O primeiro campo, **BOM Structure**, é preenchido manualmente, apesar dos seus valores estarem já pré-definidos no *Inventor*. Estes valores são: **Normal**, que representa os produtos que são produzidos na empresa, e **Purchased**, que representa os produtos que são comprados. O segundo campo, **Category**, também é preenchido manualmente e os seus valores são definidos em função das necessidades de cada novo projeto. Estes devem ser simples, para que seja evidente ao desenhador a que referência pertencem, mas complexos o suficiente para representarem todos os templates. Por fim, o terceiro campo, **Component Type**, é preenchido automaticamente pelo *Inventor* em função da estrutura do desenho. Os seus valores podem variar entre **Part**, que representa as peças individuais, e **Assembly** que representa os conjuntos das peças ou de outros conjuntos. A lógica usada no preenchimento deste campo é a mesma que resulta no preenchimento do campo **Item**.

Alternativamente à utilização da combinação dos três campos restantes, considerou-se criar apenas um campo que seria preenchido manualmente com o código de cada template. Porém, dado que o desenhador não tem conhecimento técnico sobre as gamas operatórias, e, por consequência, sobre os templates a que cada referência tem de ser associada, criou-se este método para o auxiliar neste processo. Estes três campos foram então definidos com a supervisão do desenhador, que é o colaborador que os preenche.

Com a utilização destes três campos, foi possível resolver o problema de o desenhador não ter conhecimento suficiente. Este apenas necessita de preencher o valor do campo **BOM Structure**, que varia entre duas opções com valores evidentes, e os valores do campo **Category**, que foram definidos com a sua contribuição.

5.3.1 Modificação da lista exportada

Durante o desenvolvimento desta ferramenta, ficou evidente que a associação das referências das matérias-primas às dos pais não era viável utilizando apenas os campos que foram explicados anteriormente, porque todas as referências que aparecem nas linhas da lista exportada necessitam de ser desenhadas. No entanto, para as referências das matérias-primas, isto obrigaria a que o desenhador tivesse de realizar trabalho a mais, pois originalmente, as matérias-primas não apareciam nos desenhos de produção. Por exemplo, no caso de uma placa cortada que consome uma placa inteira, o desenhador necessitaria de desenhar a placa inteira, tarefa que não seria realizada se este fizesse apenas o desenho para a produção, visto que apenas o desenho da placa cortada é útil para o chão de fábrica. A única exceção é o cerâmico que, devido à necessidade de se demonstrar a disposição de cada uma das suas peças para auxiliar os colaboradores no chão de fábrica, aparecia já nos desenhos de produção.

Tendo em consideração que as referências das matérias-primas são criadas independentemente do funcionamento da ferramenta, esta apenas necessita de as associar às referências onde são consumidas. Para efetuar esta associação, foram adicionados dois novos campos à lista exportada. O primeiro é o **Raw Material**, que é preenchido manualmente com o código da referência da matéria-prima, na linha da referência onde esta é consumida; o segundo é o **RM Quantity**, que também é preenchido manualmente com a quantidade de matéria-prima que é consumida. Utilizando o exemplo da placa que aparece representado na Figura 38, é possível perceber o resultado da adição destes campos.






Item	Part Number	Description	Thumbnail	Quantity	BOM Structure	Category	Component Type	Raw Material	RM Quantity
a)									
1	ARTIGOPAI	Artigo Pai		1	Normal	A	Assembly		
1.1	PLACACORT	Placa Cortada		2	Normal	B	Assembly		
1.1.1	PLACAINT	Placa Inteira		1	Purchased	C	Part		
b)									
1	ARTIGOPAI	Artigo Pai		1	Normal	A	Assembly		
1.1	PLACACORT	Placa Cortada		2	Normal	B	Assembly	PLACAINT	1

Figura 38 - Exemplo da placa na lista exportada a) Sem campos; b) Com campos

Apesar da adição destes campos diminuir consideravelmente o trabalho do desenhador visto que a maior parte dos semiacabados apenas consome uma matéria-prima, existem ainda semiacabados que consomem mais que uma matéria-prima. Nestes casos, o desenhador decide qual é a matéria-prima mais complexa de desenhar e coloca-a no campo **Raw Material**, enquanto que as restantes são desenhadas e, posteriormente, tratadas pela ferramenta de uma forma diferente que vai ser explicada mais à frente.

Além destes dois campos, também foi adicionado o **Nr of Holes**, que corresponde ao valor do parâmetro do template da placa infraestruturada da porta. Este campo é preenchido manualmente com o número de furos que esta referência tem, já que este valor vai ser usado no template respectivo para calcular a duração da operação de maquinação.

O resultado da adição destes três campos foi uma lista mais pequena, com a estrutura que vai ser utilizada, que contém a mesma informação relevante que a anterior, com a incorporação do número de furos e que exige menos esforço por parte do desenhador (Figura 39).

Item	Part Number	Description	Thumbnail	Quantity	BOM Structure	Category	Component Type	Raw Material	RM Quantity	Nr of Holes
1	AAAA001	Artigo AAAA1	AAAA001 ARTIGO AAAA1	1	Normal	A	Assembly			
1.1	BBBB001	Artigo BBBB1	BBBB001 ARTIGO BBBB1	2	Normal	B	Assembly	CCCC001	1	
1.2	BBBB002	Artigo BBBB2	BBBB002 ARTIGO BBBB2	2	Normal	B	Assembly	CCCC002	3	2
1.2.2	CCCC003	Artigo CCCC3	CCCC003 ARTIGO CCCC3	4	Normal	C	Assembly	DDDD001	2	

Figura 39 - Exemplo genérico da lista exportada final

5.3.2 Transformação da BOM de engenharia na BOM de produção

O desenho que originava a lista exportada estava, inicialmente, organizado para auxiliar o desenhador a realizar a montagem das peças no *Inventor*, sem consideração pelas implicações que essa organização traria à produção. Isto é, cada conjunto de peças que se traduzia depois numa referência pai, era determinado não pelas relações na BOM, mas sim pela facilidade que o desenhador tinha de as montar no desenho. Sendo assim, a lista exportada representava a BOM de engenharia em vez da BOM de produção. A BOM de engenharia é apresentada na Figura 40, onde a referência **PARSACA001** é uma parede sem acabamento e a **EST001** é uma estrutura metálica.

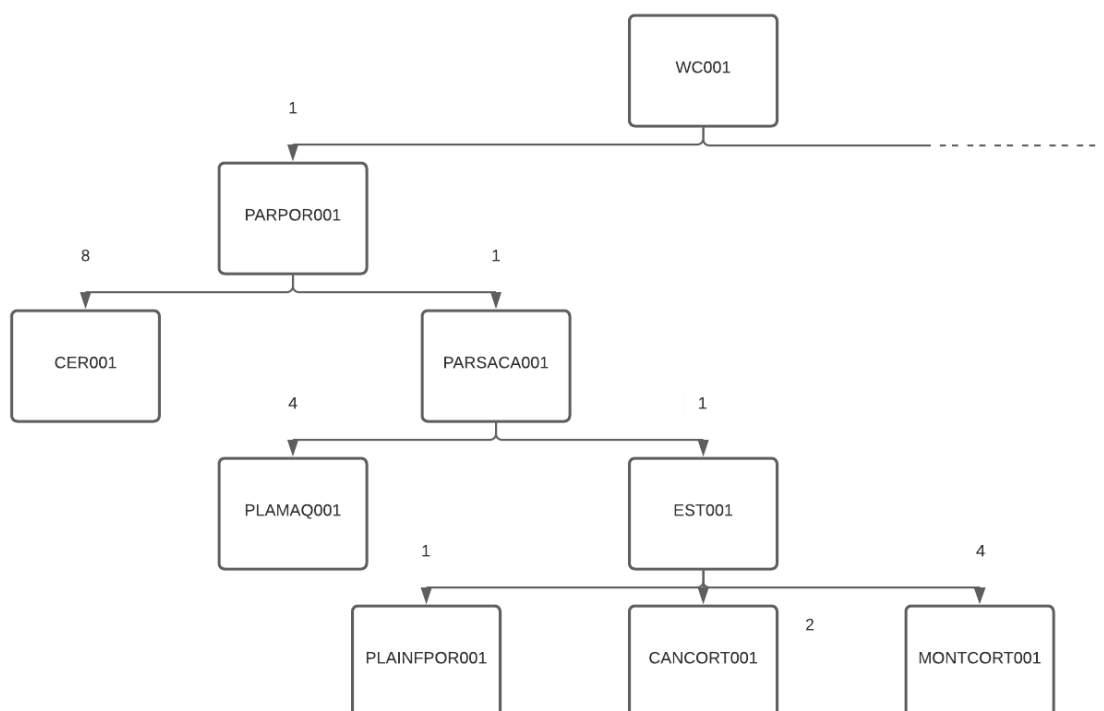


Figura 40 - BOM de engenharia do WC com a parede da porta

Como é possível verificar, existem várias diferenças entre esta BOM e a BOM de produção apresentada no Subcapítulo 4.2. Não só foram criadas referências a mais – a parede sem acabamento, a estrutura, o canal cortado e o montante cortado –, como também faltam algumas referências – o kit da estrutura metálica, a placa, o canal, o montante e a placa OSB. Por outro lado, existem também diferenças óbvias nas relações entre as referências, o que é evidente, por exemplo, na placa infraestruturada da porta, que aparece como filha da estrutura.

Posto isto, é necessário fazer alterações no desenho e no preenchimento dos campos, para que a lista que vai ser exportada corresponda à BOM de produção, em vez de à BOM de engenharia. Além destas alterações, também é possível acrescentar novos campos que correspondam a parâmetros que surjam em projetos futuros.

Uma alteração a fazer é a eliminação do conjunto que dá origem à parede sem acabamento. Desta forma, a placa maquinada e a estrutura metálica passam a ser consumidas diretamente na parede da porta. Outra é a colocação da peça que corresponde à placa infraestruturada da porta no conjunto que dá origem à parede da porta, em vez de no conjunto da estrutura metálica. Outra é a alteração do valor do conjunto que dá origem à estrutura metálica, no campo **Part Number**, de **EST001** para **KITEM001**. Adicionalmente, é necessário acrescentar mais um conjunto que dá origem à estrutura metálica, para que o campo **Quantity** fique corretamente preenchido.

A seguinte é a eliminação das peças que correspondem ao canal cortado e ao montante cortado, e a criação da peça que corresponde ao canal, visto que a outra matéria-prima que vai ser consumida no kit da estrutura metálica, o montante, é mais complexo de desenhar. A alteração final, é o preenchimento dos campos **Raw Material**, **RM Quantity** e **Nr of Holes**: na placa maquinada com o código da placa e a quantidade “1”; no kit da estrutura metálica com o código do montante e a quantidade “2”; na placa infraestruturada da porta com o código da placa OSB, a quantidade “1” e o número de furos “2”. O resultado destas alterações é a lista exportada que representa a BOM de produção e aparece na Figura 41.

Item	Part Number	Description	Thumbnail	Quantity	BOM Structure	Category	Component Type	Raw Material	RM Quantity	Nr of Holes
1	WC001	WC		1	Normal	WC	Assembly			
1.1	PARPOR001	Parede da porta		1	Normal	PAREDE	Assembly			
1.1.1	CER001	Cerâmico		8	Purchased	CERAMICO	Part			
1.1.2	PLAMAQ001	Placa maquinada		4	Normal	PLACA	Part	PLACA001		1
1.1.3	KITEM001	Kit da estrutura metálica		2	Normal	K-ESTRUTURA	Assembly	MONTO01		2
1.1.3.1	CANAL001	Canal		1	Purchased	PERFIL	Part			
1.1.4	PLAINFOR001	Placa infraestruturada da porta		1	Normal	PLACAINFRA	Part	PLACAOSB001		2

Figura 41 - Lista exportada que representa a BOM de produção

Como se pode verificar na Figura 41, o único componente do kit da estrutura metálica que é desenhado é o canal, pois é menos complexo de desenhar que o montante. Além disso, as referências que têm o valor **Purchased** no campo **BOM Structure** são o cerâmico e o canal, visto que estas são as únicas matérias-primas. As categorias foram todas determinadas previamente à exportação da lista. O **Component Type** tem o valor **Part** nas referências que correspondem às peças e o valor **Assembly** nas referências que tiveram origem em conjuntos de peças e/ou outros conjuntos. Os campos **Raw Material** e **RM Quantity** são preenchidos com os códigos da placa, do montante e da placa OSB e as respectivas quantidades. Finalmente, o campo **Nr of Holes** tem um valor para a placa infraestruturada da porta correspondente ao número de furos da mesma.

Depois de explicadas a estrutura da informação que vai ser utilizada pela ferramenta – a lista exportada – e a estrutura específica necessária para realizar a importação para o *GenSYS*, vai ser de seguida analisado o processo que transforma uma na outra.

5.4 Funcionamento da ferramenta

Como foi referido anteriormente, a ferramenta foi desenvolvida no *Excel* utilizando o VBA, pois este contém as funcionalidades necessárias para a conceber, e a informação do *Inventor* é exportada para um ficheiro *Excel*. A ferramenta é composta por seis folhas: o Menu, a Lista exportada, a Associação, a Parâmetros, a Referências e a BOM.

A folha Menu, que é apresentado na Figura 42, contém dois botões, um que permite a transformação da lista exportada na estrutura específica que o *GenSYS* necessita para ler a informação, e outro que permite realizar a importação. O processo está dividido nestes dois botões para que seja possível validar se a informação transformada contém erros ou se está pronta para ser importada. Além dos botões, é também exibido o estado da transformação e da importação; na figura abaixo, o processo ainda não foi executado. No Apêndice 5 são apresentados exemplos dos outros estados possíveis.



Figura 42 - Menu da ferramenta

A folha Lista exportada contém a lista exportada, que foi explicada anteriormente. Esta necessita de ser copiada do ficheiro *Excel* que foi exportado do *Inventor* e colada na folha respetiva da ferramenta.

A folha Associação, que é apresentada na Figura 43, permite representar as combinações necessárias dos diferentes valores dos campos **BOM Structure**, **Category** e **Component Type**. Além disto, permite associar a cada uma destas um template quando necessário, um tratamento, e outros campos que complementam a definição das BOMs. Neste caso foram adicionados os campos **Tipo de**

Consumo, que permite preencher o campo com o mesmo nome na criação dos planos de consumo, e **Operação**, que permite associar as referências às operações onde estes são consumidos. O primeiro pode variar entre **N**, que equivale a um consumo proporcional, **S**, que equivale a um consumo fixo, e **L**, que equivale a um consumo por lote. O segundo é preenchido com o código do tipo de operação da referência pai, onde a referência com a respetiva combinação de valores dos três primeiros campos, é consumida. No *GenSYS*, por norma, os componentes são consumidos na primeira operação da gama operatória da referência pai. Logo, só é preciso preencher este campo para os componentes que não são consumidos na primeira operação. Todos os valores dos campos presentes na folha Associação podem ser alterados em função das necessidades do projeto.

BOM STRUCTURE	CATEGORY	COMPONENT TYPE	TEMPLATE	TRATAMENTO	TIPO DE CONSUMO	OPERAÇÃO
Normal	WC	Assembly	TEMP-WC	TRAT-PA	N	
Normal	PAREDE	Assembly	TEMP-PAREDE	TRAT-SA	N	
Purchased	CERAMICO	Part	-	TRAT-MP	N	ACA001
Normal	PLACA	Part	TEMP-PLACA	TRAT-SA	N	PLA001
Normal	K-ESTRUTURA	Assembly	TEMP-KEM	TRAT-SA	N	
Purchased	PERFIL	Part	-	TRAT-MP	N	
Normal	PLACAINFRA	Part	TEMP-PI	TRAT-SA	N	
...

Menu
Lista exportada
Associação
Parâmetros
Referências
BOM
+

Figura 43 - Folha da ferramenta que permite as associações

A folha Parâmetros, que é apresentada na Figura 44, permite a associação dos parâmetros dos templates ao campo correspondente da lista exportada. Neste caso, o parâmetro **NÚMERO DE FUROS** do template da placa infraestruturada da porta fica associado ao campo **Nr of Holes**. Todos os valores dos campos presentes nesta folha podem ser alterados em função das necessidades do projeto.

TEMPLATE	CÓDIGO DO PARÂMETRO	DESCRIÇÃO DO PARÂMETRO	CAMPO
TEMP-PI	A0	NÚMERO DE FUROS	Nr of Holes
...

Menu
Lista exportada
Associação
Parâmetros
Referências
BOM

Figura 44 - Folha da ferramenta que permite as associações dos parâmetros

Antes de serem apresentadas as duas últimas partes da ferramenta, faz sentido explicar primeiro o que são os tratamentos referidos na folha Associação e quais foram os templates criados.

5.4.1 Tratamentos

Um tratamento é um conjunto de regras, criado através do VBA, que dita o que acontece a cada referência da lista exportada, em função da combinação de valores dos campos **BOM Structure**,

Category e **Component Type**, a que estes estão associados. O número de tratamentos e as suas funções, devem ser adaptáveis à lista exportada.

Ao transformar a lista exportada, é necessário analisar cada referência individualmente, através de uma ordem. Ficou decidido que a ferramenta trataria primeiro da referência presente na primeira linha e que continuasse na linha seguinte, e assim em diante. Para determinar os planos de consumo, ficou decidido que, quando a ferramenta trata dos componentes, estes são adicionados aos pais, ao invés de serem procurados e adicionados todos os componentes de um pai quando este é tratado. Esta decisão foi tomada para facilitar a realização do código VBA da ferramenta. Todos os tratamentos que criam referências têm de conseguir acrescentar parâmetros nos templates corretos, a partir da folha Parâmetros. Para cada referência, a ferramenta determina qual é o tratamento correto a aplicar, através dos dados da folha Associação.

Os tratamentos foram então criados em função das classes das referências que existem na lista da Figura 41, e são os seguintes:

- **TRAT-PA** – Se a referência for um produto acabado, então são colocados na folha Referências o seu código, descrição, caminho da imagem e, visto que contém uma gama operatória, um template. Como esta referência não é consumida, não precisa de ser colocada na folha BOM quando é tratada, e o valor do campo **Quantity**, que aparece na lista exportada automaticamente não tem utilidade. Se esta referência consumir uma matéria-prima que se encontre no campo **Raw Material**, é colocada na folha BOM como referência pai; a matéria-prima é colocada na folha BOM como referência componente e a quantidade vem do campo **RM Quantity**.
- **TRAT-SA** – Se a referência for um semiacabado, então são colocados na folha Referências o seu código, descrição, caminho da imagem e, visto que contém uma gama operatória, um template. Como esta referência é consumida, precisa de ser colocada na folha BOM como referência componente; a referência onde é consumida é colocada na folha BOM como referência pai e a quantidade vem do campo **Quantity** da lista. Se esta referência consumir uma matéria-prima que se encontre no campo **Raw Material**, é colocada na folha BOM como referência pai; a matéria-prima é colocada na BOM como referência componente e a quantidade vem do campo **RM Quantity**.
- **TRAT-MP** – Se a referência for uma matéria-prima, então não precisa de ser colocada na folha Referências, visto que a sua referência já foi criada anteriormente. Como esta referência é

consumida, precisa de ser colocada na folha BOM como referência componente; a referência onde é consumida deve ser colocada na folha BOM como referência pai e a quantidade vem do campo **Quantity** da lista.

5.4.2 Templates

Os templates são ferramentas do *GenSYS* que permitem a criação de uma referência genérica de uma forma mais rápida e simples, utilizando a API que permite a integração do sistema com o *Excel*. Os templates usados neste projeto de dissertação contêm todos uma gama operatória e podem também conter parâmetros. Além disto, apresentam já preenchidos os campos obrigatórios à criação das referências, que não vêm da lista exportada.

Quanto às gamas operatórias, os templates podem diferenciar-se tanto pelas operações que contêm, como pelo tempo que duram as operações. Alternativamente, se o tempo depender de algum fator, o mesmo template pode usar uma expressão que relacione parâmetros correspondentes a esses fatores, para representar os vários tempos. No projeto atual da BluFab, os tempos são todos constantes, com exceção da operação de maquinação das placas infraestruturadas, que depende do número de furos. Os templates foram criados em função das gamas operatórias presentes neste projeto, tendo em consideração outras especificidades das referências (Tabela 8).

Tabela 8 - Templates, campos da lista exportada e campos a preencher na criação das referências

Template	Campos da lista exportada			Campos de preenchimento na criação das referências				
	BOM Structure	Category	Component Type	Classe e Família	Unidade principal	Armazém	Lead time	Gama operatória
TEMP-WC	Normal	WC	Assembly	Produto acabado	Unidade	Produto acabado	1 dia	Embalagem – 20 min
TEMP-PAREDE	Normal	PAREDE	Assembly	Semiacabado	Unidade	Paredes	3 dias	Estruturação – 28 min; placagem – 22 min; acabamento – 900 min
TEMP-PLACA	Normal	PLACA	Part	Semiacabado	Unidade	Placas maquinadas	1 dia	Maquinação – 7 min
TEMP-KEM	Normal	K-ESTRUTURA	Assembly	Semiacabado	Unidade	Perfis cortados	1 dia	Corte – 2 min
TEMP-PI	Normal	PLACAINFRA	Part	Semiacabado	Unidade	Placas infraestruturadas	1 dia	Maquinação – 2 min + n° de furos x 1 min; montagem – 20 min

Os campos de preenchimento na criação das referências foram preenchidos na criação dos templates com base em informações que foram determinadas aquando da definição do processo produtivo e dos produtos presentes neste projeto. As mesmas encontram-se no Apêndice 6, depois de criadas no

GenSYS. Em relação ao **TEMP-PI**, este contém um parâmetro correspondente ao número de furos, que permite determinar o tempo da maquinação que aparecerá na gama operatória das referências das placas infraestruturadas. A placa infraestruturada da porta tem dois furos, logo essa operação dura 4 min. Se este parâmetro não fosse criado, seria necessário criar vários templates, cada um com um número diferente de furos e, portanto, um tempo de maquinação diferente.

5.5 Resultado da transformação

Posteriormente à criação dos tratamentos e dos templates, pode-se pressionar o botão que transforma a lista exportada na estrutura que a API necessita para importar para o *GenSYS*. O resultado final na Referências é o apresentado na Figura 45.

TEMPLATE	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	CAMINHO IMAGEM	
TEMP-WC	WC001	WC	\\localhost\WC001.jpg	
TEMPLATE	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	CAMINHO IMAGEM	
TEMP-PAREDE	PARPOR001	PAREDE DA PORTA	\\localhost\PARPOR001.jpg	
TEMPLATE	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	CAMINHO IMAGEM	
TEMP-PLACA	PLAMAQ001	PLACA MAQUINADA	\\localhost\PLAMAQ001.jpg	
TEMPLATE	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	CAMINHO IMAGEM	
TEMP-KEM	KITEM001	KIT DA ESTRUTURA METÁLICA	\\localhost\KITEM001.jpg	
TEMPLATE	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	CAMINHO IMAGEM	NÚMERO DE FUROS
TEMP-PI	PLAINFPOR001	PLACA INFRAESTRUTURADA DA PORTA	\\localhost\PLAINFPOR001.jpg	2

▶
Menu
Lista exportada
Associação
Parâmetros
Referências
BOM
+

Figura 45 - Folha com a estrutura específica para a criação das referências no *GenSYS*

A informação da lista exportada encontra-se agora na estrutura específica apresentada no Subcapítulo 5.2, com os códigos das referências que vão ser importadas associados ao template correspondente, à sua descrição e ao caminho da imagem. O parâmetro **Nr of Holes** encontra-se na referência com o template correto, já com o valor que se encontra na lista exportada. Para além da Referências, a transformação também gerou a estrutura na BOM que é apresentada na Figura 46.

REFERÊNCIA PAI	REFERÊNCIA COMPONENTE	QUANTIDADE	TIPO DE CONSUMO	OPERAÇÃO
WC001	PARPOR001	1	N	
PARPOR001	CER001	8	N	ACA001
PARPOR001	PLAMAQ001	4	N	PLA001
PARPOR001	KITEM001	2	N	
PARPOR001	PLAINFPOR001	1	N	
KITEM001	CANAL001	1	N	
KITEM001	MONT001	2	N	
PLAMAQ001	PLACA001	1	N	
PLAINFPOR001	PLACAOSB001	1	N	

Menu	Lista exportada	Associação	Parâmetros	Referências	BOM
------	-----------------	------------	------------	-------------	------------

Figura 46 - Folha com a estrutura específica para a criação das BOMs no *GenSYS*

A informação da lista exportada encontra-se agora na estrutura específica apresentada Subcapítulo 5.2, com os códigos das referências pai e componente, a quantidade consumida, o tipo de consumo e a operação onde o componente é consumido. O tipo de consumo e a operação contêm os valores apresentados na Figura 43.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O último passo é a importação para o *GenSYS*, que apenas pode ser realizado se a transformação for bem-sucedida. O colaborador realiza uma validação final de todos os dados e, se estiver tudo em conformidade, pode então pressionar o botão respectivo. A ferramenta utiliza a API para estabelecer uma conexão com o *GenSYS* e a informação é então importada. Daí resultam as referências genéricas presentes nos Apêndices 7 e 8. A estrutura final do WC com todos os componentes e operações é a apresentada na Figura 47.



Figura 47 - Estrutura final do WC

Durante a implementação desta ferramenta, foi possível acompanhar a sua utilização e quantificar o seu impacto. Para isso, foram medidos os tempos de importação de cinco WCs com diferentes números de referências cada um (Apêndice 9). Isto resultou num tempo constante de 4,1 s por importação e um tempo variável de 0,2 s por referência importada. Além disto, o preenchimento dos campos no *Inventor* para que a lista exportada seja exportada com toda a informação necessária, é realizado manualmente, resultando num tempo de 25,4 s por referência (Apêndice 10).

Na Tabela 9 são apresentados os resultados desta melhoria em relação ao tempo despendido pelos colaboradores no processo de criação das estruturas no *GenSYS*, considerando 9424 referências caracterizadas por ano e um salário de 6,82€/h. Através da sua análise, é possível concluir que o tempo gasto pelo colaborador na caracterização das referências diminuiu 92,94%, de 941,88 h por ano para 66,49 h, que corresponde a uma poupança de 5970,16 €/ano. Além da diminuição de custos, é também esperado que, com o aumento da disponibilidade dos colaboradores, estes se possam concentrar em tarefas que tenham maior impacto na cadeia de valor.

Tabela 9 - Resultado da ferramenta no tempo gasto pelos colaboradores

Processo	Método inicial	Método proposto	Diferença percentual	Diferença absoluta
Caraterização das referências (9424 referências)	359,8 s/referência	Não é aplicável.	-92,94%	-875,39 h/ano
Preenchimento dos campos no Inventor (9424 referências)	Não existe.	25,4 s/referência		
Tempo total	941,88 h/ano	66,49 h/ano		

Na Tabela 10 são apresentados os resultados desta melhoria em relação ao tempo entre a receção dos desenhos de arquitetura pela BluFab, até ao momento em que os WC começam a ser produzidos, considerando 9424 referências caracterizadas por ano e 152 importações por ano (valor equivalente às 152 WC importadas por ano). Através da sua análise é possível concluir que o tempo de caracterização das referências diminuiu 92,87%, de 941,88 h por ano para 67,19 h. A utilização da ferramenta permite, portanto, que o *lead time* dos WC diminua, visto que a sua produção começa mais cedo e, conseqüentemente, estes são montados mais cedo na obra. Isto traduz-se também numa redução dos custos de armazenamento dos componentes que são comprados para *stock*.

Tabela 10 - Resultado da ferramenta no *lead time*

Processo	Método inicial	Método proposto	Diferença percentual	Diferença absoluta
Conexão ao servidor (152 importações)	Não existe.	4,1 s/importação	-92,87%	-874,69 h/ano
Caraterização das referências (9424 referências)	359,8 s/referência	0,2 s/referência		
Preenchimento dos campos no Inventor (9424 referências)	Não existe.	25,4 s/referência		
Tempo total	941,88 h/ano	67,19 h/ano		

Ao longo deste acompanhamento, foi também possível verificar que nenhum erro foi encontrado, tanto na validação dos dados como no chão de fábrica. Contudo, a amostragem foi de apenas 376 referências

importadas, e é improvável que não seja detetado nenhum erro ao fim de um ano. Todavia, é esperado que o número de erros se mantenha muito inferior no método proposto, visto que existe menos interação humana e que são realizadas mais validações, uma depois de ser feito o desenho, outra depois de ser transformada a lista exportada e a final depois de serem importadas as referências.

Na Tabela 11 são apresentados os resultados desta melhoria, considerando o tempo de retrabalho dos erros ED de 265 s, um salário de 6,82 €/h e um custo por erro END de 750 €. Através da sua análise é possível concluir que o número de erros diminuiu 100%, de 89,6 por ano para 0, que corresponde a uma poupança de 57981,17 €/ano.

Tabela 11 - Resultado da ferramenta nos erros na caracterização das referências

Erro	Método inicial	Método proposto	Diferença percentual	Diferença absoluta
Erro Detetado (ED)	12,3 referências/ano ou 0,91 h/ano	0	-100%	-57981,17 €/ano
Erro Não Detetado (END)	77,3 referências	0		
Erros totais	89,6	0		

Para além dos resultados mencionados acima, espera-se que a adoção da ferramenta traga outras vantagens, tais como:

- Através do *feedback* recebido aquando do acompanhamento, foi possível verificar um aumento da satisfação dos colaboradores. Este é causado, em parte, pela diminuição de retrabalho, mas também, pela diminuição de tarefas repetitivas e monótonas, como é o caso da introdução manual de informação nos sistemas. Posto isto, é esperado um aumento da motivação dos colaboradores e, consequentemente, da sua produtividade.
- A ferramenta é escalável, isto é, se o número de projetos ou referências aumentar significativamente, esta consegue lidar com a importação de toda a informação. Pelo contrário, se a criação de estruturas for realizada manualmente, obriga à alocação de mais recursos para a sua execução.
- Como a ferramenta foi desenvolvida com o intuito de ser utilizada em vários projetos, esta adquire uma adaptabilidade que lhe permite ser utilizada pela GenSYS noutras implementações onde se utiliza o *Inventor*. Além disso, realizando alterações nos tratamentos, torna-se possível a utilização de informação proveniente de outras origens, aumentando assim o número de implementações onde esta pode ser aplicada.

- A utilização desta ferramenta, permite à GenSYS atrair novos clientes mais facilmente, pois esta atenua o entrave inicial das implementações, que é a criação das estruturas no sistema. Este é um fator que leva os clientes a considerar a utilização do sistema, visto ser um processo que requer muito esforço e tempo, e não resulta em ganhos imediatos para o cliente.

7. CONCLUSÕES

Neste capítulo, são apresentadas as considerações finais deste projeto de dissertação, confrontando-se o objetivo delineado inicialmente, com os resultados obtidos por intermédio da implementação da ferramenta que foi desenvolvida. São ainda sugeridas algumas propostas de trabalho futuro, com o intuito de otimizar e melhor analisar a implementação desta ferramenta na BluFab.

7.1 Considerações finais

O objetivo deste projeto de dissertação consistia na otimização do processo de criação de artigos, listas de materiais, operações e gamas operatórias utilizado no *GenSYS*. A partir da descrição e análise crítica da situação inicial deste processo na BluFab, foi possível diagnosticar os principais problemas que afetavam a eficiência deste processo, provocados pelo facto deste ser realizado de forma manual. O primeiro problema encontrado foi o elevado tempo de caracterização das referências, que causava um aumento do esforço nos colaboradores. O segundo foi a quantidade excessiva de erros, que resultava num aumento do retrabalho, tanto no sistema como no chão de fábrica.

Tendo isto em conta, foi desenvolvida uma ferramenta que, em conjunto com a utilização dos templates e da informação exportada do *Inventor*, permitiu solucionar os problemas. Esta foi implementada na caracterização das referências dos semiacabados e produtos acabados, que têm maior impacto.

No que diz respeito à diminuição de tempo de caracterização das referências por parte dos colaboradores, foi possível alcançar uma redução de 92,94%, ou seja, 875,39 h/ano, que corresponde a uma poupança de 5970,16 €/ano. Esta redução tem também consequências no *lead time* do WC, visto que o tempo entre a receção dos desenhos de arquitetura e o início da produção dos WC diminuiu 92,87%, que corresponde a 941,88 h/ano. No que diz respeito à diminuição de erros, foi estimada uma redução de 100%, ou seja, 89,6 erros por ano, que corresponde a uma poupança de 57981,17 €/ano.

Além destas melhorias, são esperadas também algumas que não foi possível quantificar, tais como o aumento de produtividade dos colaboradores ou a possibilidade futura de aumentar o número de projetos e as suas referências, sem ser necessário alocar mais recursos para a criação das estruturas no *GenSYS*. Devido à adaptabilidade que esta ferramenta possui, é esperado também que a mesma seja utilizada noutras implementações, atuais ou futuras, de forma a trazer todos estes benefícios a mais clientes da GenSYS. Finalmente, graças à utilização da ferramenta, a GenSYS oferece mais um incentivo para a

implementação do seu sistema, pois esta resolve um dos entraves que oferece mais resistência a este processo.

Conclui-se então, que todos os objetivos apresentados inicialmente foram alcançados, apesar das dificuldades acrescidas trazidas pela pandemia, que limitou o acesso às instalações da BluFab. Mesmo assim, e com a colaboração imprescindível dos trabalhadores da BluFab e da GenSYS, o sentimento final foi o de missão cumprida. Com a realização deste projeto de dissertação, o autor destaca o desenvolvimento pessoal e profissional que atravessou e também a proatividade e capacidade de melhoria constante presentes na GenSYS, demonstradas pela procura de novas soluções, quando enfrentada por um desafio.

7.2 Trabalho futuro

Ao longo deste projeto, foram-se destacando alguns aspetos que podem ser investigados e implementados no futuro, de modo a melhorar ainda mais o processo analisado.

Em particular, a ferramenta pode ser otimizada de forma a conter uma validação automática de dados, diminuindo ainda mais a probabilidade de se cometerem erros. Esta pode-se focar, principalmente, na verificação dos dados provenientes da lista exportada, que correspondem a campos de preenchimento obrigatório com restrições definidas previamente, como por exemplo, o número de caracteres no código de uma referência ou a existência de espaços no mesmo. Além destas validações, a ferramenta também poderia verificar quando os campos obrigatórios não são preenchidos, e a inexistência de artigos pai associados a componentes ou de componentes associados a artigos pai.

Atualmente, para se alterar a conexão da ferramenta à API e, conseqüentemente, ao *GenSYS*, é necessário alterar o código VBA da mesma. No futuro, seria útil a criação de uma folha que permitisse ao colaborador a alteração destes campos de forma mais simples.

Finalmente, considera-se importante uma análise mais profunda de todas as melhorias que não foram quantificadas, através de uma medição mais significativa dos erros cometidos utilizando a ferramenta, do aumento de produtividade dos colaboradores ou da diminuição de custos de armazenamento causada pela produção dos WC iniciar mais cedo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akanmu, A., & J. Anumba, C. (2015). Cyber-physical systems integration of building information models and the physical construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 22(5), 516–535.
- Arif, M., & Charles, E. (2010). Making a case for offsite construction in China. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 17(6), 536–548.
- Arnold, J. R. T., Chapman, S. N., & Clive, L. M. (2008). *Introduction to Materials Management* (V. R. Anthony (ed.); Sixth). Pearson Education, Inc. <https://doi.org/10.1017/mdh.2014.75>
- Barchard, K. A., & Pace, L. A. (2011). Preventing human error: The impact of data entry methods on data accuracy and statistical results. *Computers in Human Behavior*, 27(5), 1834–1839. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2011.04.004>
- Barro-Torres, S., Fernández-Caramés, T. M., Pérez-Iglesias, H. J., & Escudero, C. J. (2012). Real-time personal protective equipment monitoring system. *Computer Communications*, 36(1), 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2012.01.005>
- Brito, C., Costa, J., Dias, J., & Pires, M. (2021). *Manual de industrialização*.
- Changali, S., Mohammad, A., & Van Nieuwland, M. (2015). The construction productivity imperative. *McKinsey Quarterly*, June, 1–10.
- Choi, S., Jun, C., Zhao, W. Bin, & Noh, D. S. (2015). Digital Manufacturing in Smart Manufacturing Systems: Contribution, Barriers, and Future Directions. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 460, 21–29. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-22759-7>
- Chun, C. K., Li, H., & Skitmore, M. (2012). The use of virtual prototyping for hazard identification in the early design stage. *The Electronic Library*, 12(1), 29–42.
- Deloitte Spain. (2019). GPoC 2019 Global Powers of Construction. In *Deloitte*. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/at/Documents/presse/Deloitte-Global-Powers-of-Construction-2019.pdf%0Ahttps://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/at/Documents/real-estate/2017-global-powers-of-construction.pdf>
- Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or hype? [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), 56–58. <https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079>
- Du, J., Jiao, Y. Y., & Jiao, J. (2005). Integrated BOM and routing generator for variety synchronization in assembly-to-order production. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(2), 233–243. <https://doi.org/10.1108/17410380510576859>
- Dubois, A., & Gadde, L. E. (2002). The construction industry as a loosely coupled system: Implications for productivity and innovation. *Construction Management and Economics*, 20(7), 621–631. <https://doi.org/10.1080/01446190210163543>
- Engium. (2020). *GenSYS*. <http://www.engium.uminho.pt/spin-off-gensys/>
- Farmer, M. (2016). The Farmer Review of the UK Construction Labour Model. In *Farmer, M. (2016). Modernise or die: The Framer Review of the UK construction labour market*. Retrieved from. <https://www.gov.uk/government/publications/constructionlabour-%0Amarket-in-the-uk-farmer-review>.
- GenSYS. (2021). *GenSYS*. <https://gensys.pt/>
- Gomes, J. P. (2014). *Metodologia para apoio à implementação de um modelo de referência genérica de artigos*. Universidade do Minho.
- Gomes, J. P., Lima, R. M., & Martins, P. J. (2009). Analysis of generic product information representation models. *IEEM 2009 - IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 194–198. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2009.5373387>

- Gomes, J. P., Martins, P. P., & Lima, R. M. (2011). Referenciação genérica : metodologia de caracterização de artigos. *Encontro Nacional de Engenharia e Gestão Industrial 2011 (ENEGI 2011)*, 27–29. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/18880>
- Grupo Casais. (2021). *Grupo Casais*. Grupo Casais. <https://www.casais.pt/pt/>
- Grupo Pinto Brasil. (2021). *Grupo Pinto Brasil*. <https://pintobrasil-group.com/grupo/>
- Hastings, N. A. J., Marshall, P., & Willis, R. J. (1982). Schedule based M.R.P.: An integrated approach to production scheduling and material requirements planning. *Journal of the Operational Research Society*, 33(11), 1021–1029. <https://doi.org/10.1057/jors.1982.213>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2016-March*, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- Jacobs, F. R., Berry, W. L., Whybark, D. C., & Vollmann, T. E. (2011). *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management (APICS/CPIM)*. The McGraw-Hill Companies.
- Jiao, J., Tseng, M. M., Ma, Q., & Zou, Y. (2000). Generic Bill-of-Materials-and-Operations for High-Variety Production Management. *Concurrent Engineering: Research an Applications*, 8(4), 297–321. <https://doi.org/10.4324/9781315842783-17>
- Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., Kim, B. H., & Noh, S. Do. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, 3(1), 111–128. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>
- Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 508–517. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Lee, C., Leem, C. S., & Hwang, I. (2011). PDM and ERP integration methodology using digital manufacturing to support global manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53(1–4), 399–409. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2833-x>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Li, Z., Shen, G. Q., & Xue, X. (2014). Critical review of the research on the management of prefabricated construction. *Habitat International*, 43, 240–249. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.04.001>
- Lima, R. M. (2019). *Gestão Integrada da Produção - Texto de Apoio*.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (2008). Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing. *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier, Sfb 627*, 115–118. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-267-8_23
- Majrouhi Sardroud, J. (2012). Influence of RFID technology on automated management of construction materials and components. *Scientia Iranica*, 19(3), 381–392. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2012.02.023>
- Maull, R., Hughes, D., & Bennett, J. (1992). The role of the bill-of-materials as a CAD/CAPM interface and the key importance of engineering change control. *Computing and Control Engineering Journal*, 3(2), 63–70. <https://doi.org/10.1049/cce:19920021>
- McClelland, M. K. (1988). Order Promising and the Master Production Schedule. *Decision Sciences*,

- 19(4), 858–879. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1988.tb00308.x>
- McGraw-Hill. (2011). Prefabrication and Modularization. In *SmartMarket Report*.
- Newman, C., Edwards, D., Martek, I., Lai, J., Thwala, W. D., & Rillie, I. (2020). Industry 4.0 deployment in the construction industry: a bibliometric literature review and UK-based case study. *Smart and Sustainable Built Environment*. <https://doi.org/10.1108/SASBE-02-2020-0016>
- Nunes, M. L., Pereira, A. C., & Alves, A. C. (2017). Smart products development approaches for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 13, 1215–1222. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.035>
- O'Brien, R. (1998). An overview of the methodological approach of action Research. *University of Toronto*, 1–15.
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Ou-Yang, C., & Pei, H. N. (1999). Developing a STEP-based integration environment to evaluate the impact of an engineering change on MRP. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15(11), 769–779. <https://doi.org/10.1007/s001700050130>
- Pires, L. C. M., Carvalho, J. D. A., & Moreira, N. A. (2008). The role of Bill of Materials and Movements (BOMM) in the virtual enterprises environment. *International Journal of Production Research*, 46(4), 1163–1185. <https://doi.org/10.1080/00207540600943951>
- Ptak, C. A., & Smith, C. (2011). *Orlicky's Material Requirements Planning* (Third). The McGraw-Hill Companies.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005>
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A Complex View of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2). <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2016). *Research Methods fo Business Students* (Seventh). Pearson.
- Scheer, A.-W. (1994). Business Process Engineering. In *Business Process Engineering*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-79142-0>
- Sousa, R. M., Martins, P. J., & Lima, R. M. (2009). Formal grammars for product data management on distributed manufacturing systems. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 307, 573–580. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04568-4_59
- Southern, J. (2016). *Smart Construction* (Vol. 17, Issue April). <https://www.buildoffsite.com/content/uploads/2016/08/KPMG-Smart-Construction.pdf>
- Tatsiopoulos, I. P. (1996). On the unification of bills of materials and routings. *Computers in Industry*, 31(3), 293–304. [https://doi.org/10.1016/S0166-3615\(96\)00057-7](https://doi.org/10.1016/S0166-3615(96)00057-7)
- Tony Liu, D., & William Xu, X. (2001). A review of web-based product data management systems. *Computers in Industry*, 44(3), 251–262. [https://doi.org/10.1016/S0166-3615\(01\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0166-3615(01)00072-0)
- Veloso, A. (2019). *Avaliação das vantagens da utilização de estruturas genéricas para a gestão da informação de artigos numa indústria têxtil-lar*. Universidade do Minho.
- Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.017>
- Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). 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>
- Xu, H. C., Xu, X. F., & He, T. (2008). Research on transformation engineering BOM into manufacturing BOM based on BOP. *Applied Mechanics and Materials*, 10–12, 99–103. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.10-12.99>

- Zheng, P., wang, H., Sang, Z., Zhong, R. Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarak, K., Yu, S., & Xu, X. (2018). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*, *13*(2), 137–150. <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0499-5>
- Zhong, R. Y., Peng, Y., Xue, F., Fang, J., Zou, W., Luo, H., Thomas Ng, S., Lu, W., Shen, G. Q. P., & Huang, G. Q. (2017). Prefabricated construction enabled by the Internet-of-Things. *Automation in Construction*, *76*, 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.006>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, *3*(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>
- Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2016). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD 2015*, 2147–2152. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>

APÊNDICE 1 – BOM DO WC COMPLETO

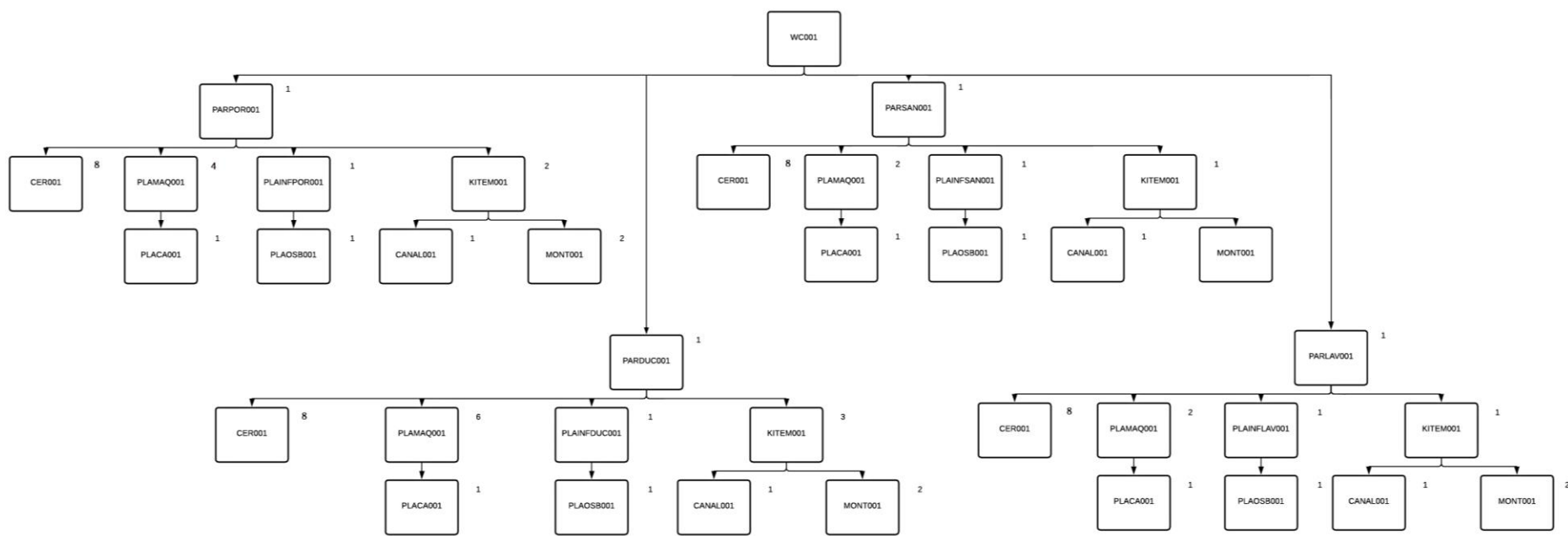


Figura 48 - BOM do WC completo

APÊNDICE 2 – BOMO DO WC COMPLETO

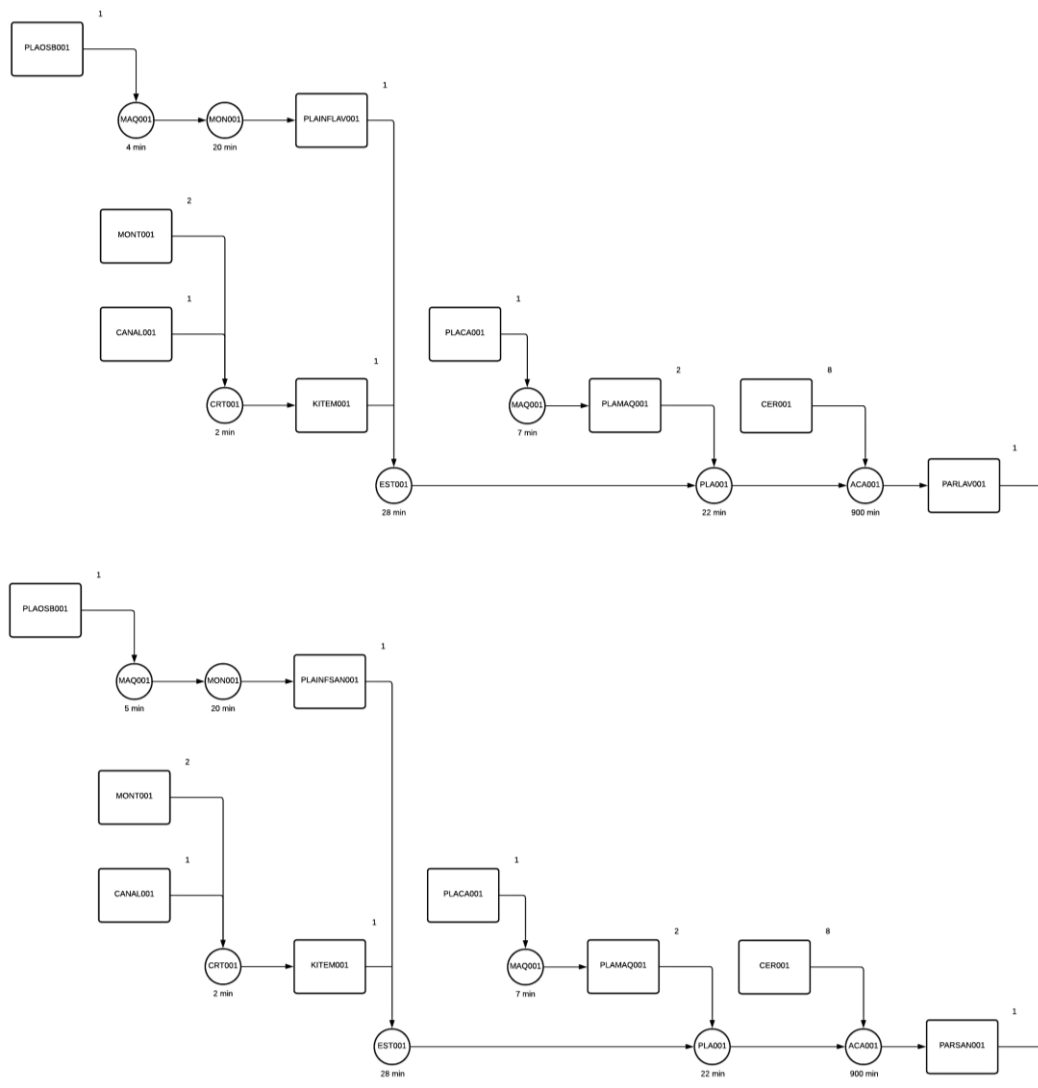


Figura 49 - BOMO do WC completo (Parte 1)

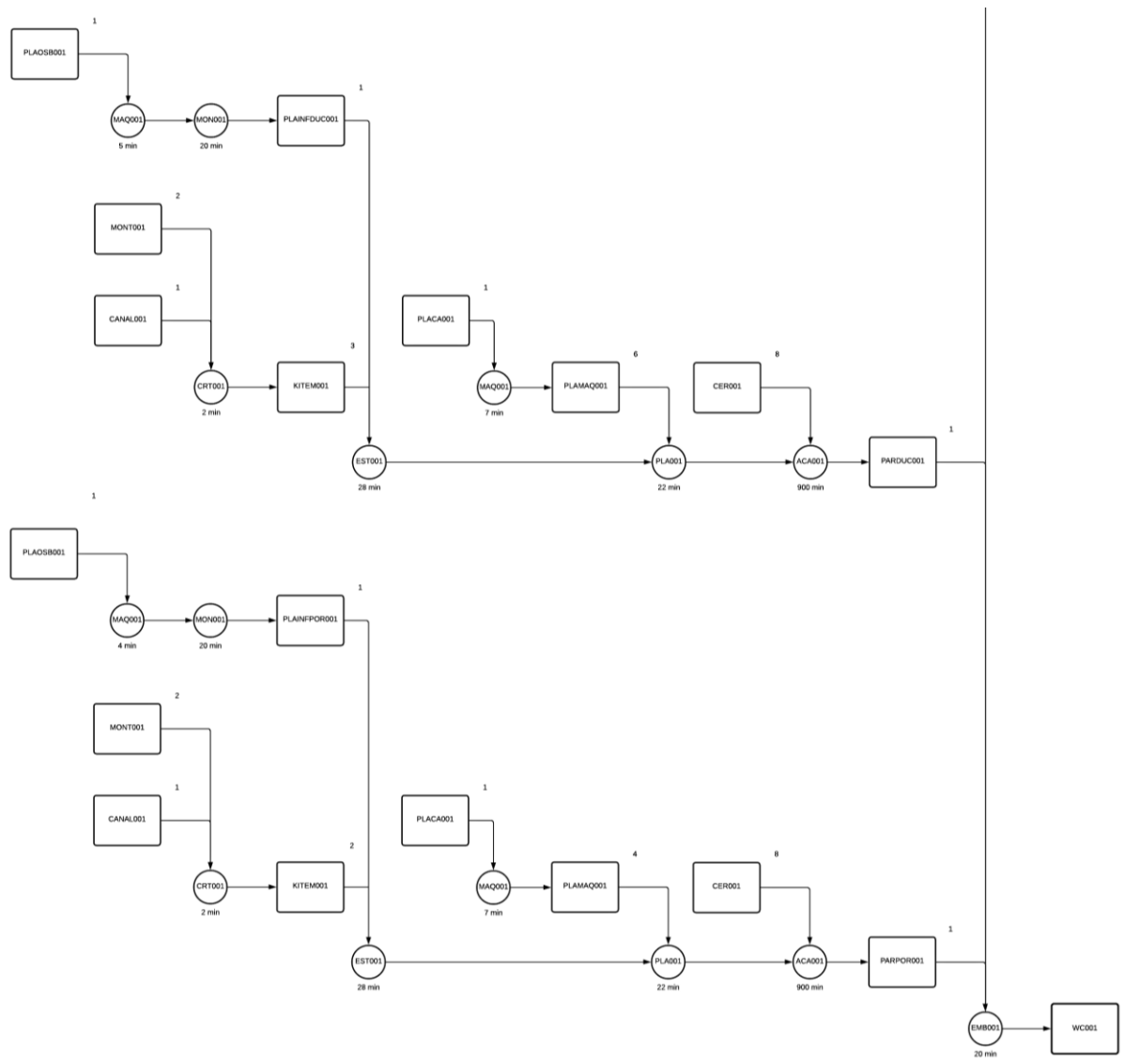


Figura 50 - BOMO do WC completo (Parte 2)

APÊNDICE 3 – TÉCNICA DA AMOSTRAGEM NO TCR

Neste apêndice, é apresentado o procedimento efetuado para a realização da medição do TCR de semiacabados e produtos acabados, utilizando a técnica da amostragem. Este tempo foi medido a partir do momento em que o colaborador começou a preencher o primeiro campo da referência, atravessando o preenchimento dos restantes campos, a criação da BOM e gama operatória da referência, e terminou no momento em que este acabou a associação dos componentes às operações.

O número de observações a realizar para se obter um nível de confiança $\alpha = 95\%$ ($Z = 1,96$) e uma precisão $\varepsilon = \pm 5\%$, é verificado através da Equação (6), onde N' corresponde a esse mesmo valor e m ao valor médio da amostra. A Equação (7) representa s , que é o desvio padrão para uma amostra com trinta observações ou menos, em que N corresponde à dimensão real da amostra. O valor médio da amostra é calculado utilizando a média ponderada dos valores de TCR situados em torno da amostra modal, de modo a eliminar o impacto que os *outliers* têm.

$$N' = \left(\frac{Z \times s}{\varepsilon \times m} \right)^2 \quad (6)$$

Onde,

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (7)$$

Procedeu-se então à medição dos valores de TCR, obtendo-se assim os resultados apresentados na Figura 51. Como é possível observar, o número de observações feitas N é superior ao número de observações necessárias para obter o nível de confiança e a precisão requeridas N' . O resultado final é um TCR = 359,8 segundos.

TCR	TCR (segundos)
00:04:53	293
00:06:18	378
00:05:37	337
00:04:58	298
00:06:42	402
00:05:24	324
00:06:09	369
00:06:33	393
00:07:12	432
00:05:03	303
00:06:53	413
00:06:27	387
00:06:09	369
00:04:57	297
00:06:14	374
00:06:30	390
00:06:03	363
00:06:28	388
00:05:49	349
00:05:05	305
00:06:11	371
00:06:06	366
00:06:46	406
00:05:28	328

m	359,79
s	39,66
N'	18,67
N	24
TCR (s)	359,79

Figura 51 - Valores do TCR e cálculo do TCR médio

APÊNDICE 4 – MATÉRIAS-PRIMAS E TIPOS DE OPERAÇÕES CRIADOS NO *GENSYS*

Referências

Código CER001 Meta Referência Template Ativação Automática

Classe MP MATERIA PRIMA Data 25/11/2021 Fictício?

Família F01 MATÉRIAS-PRIMAS Tipo de Documento AQS Aquisição

Descrição CERÂMICO

Inglês

Francês

Alemão

Imagem

Unidades de Quantidade

Unidade Principal M2 M2 Casas Decimais 3

Unidade Secundária Casas Decimais Conversão

Armazém ARM001 ARMAZÉM MATÉRIA-PRIMA Código Intrastate

Figura 52 - Exemplo de matéria-prima (CER001) criada no *GenSYS*

Código EMB001 Data 25/11/2021 Meta Operação

Descrição EMBALAGEM

Imagem

Armazém SECCÃO SECCÃO Unidade MIN MIN

Família F01 Geral

Produtivas			Tipologia	
✓ Execução	✗ Validação	✗ Manutenção	✓ Individual	✗ Estaleiro
✗ Wait	✗ Competência	✗ Preparação	✗ Linha de Montagem	✗ Célula (caixa-negra)
			✗ Processo	

Figura 53 - Exemplo de tipo de operação (EMB001) criado no *GenSYS*

APÊNDICE 5 – MENU DA FERRAMENTA



Figura 54 - Menu da ferramenta depois de uma transformação bem-sucedida

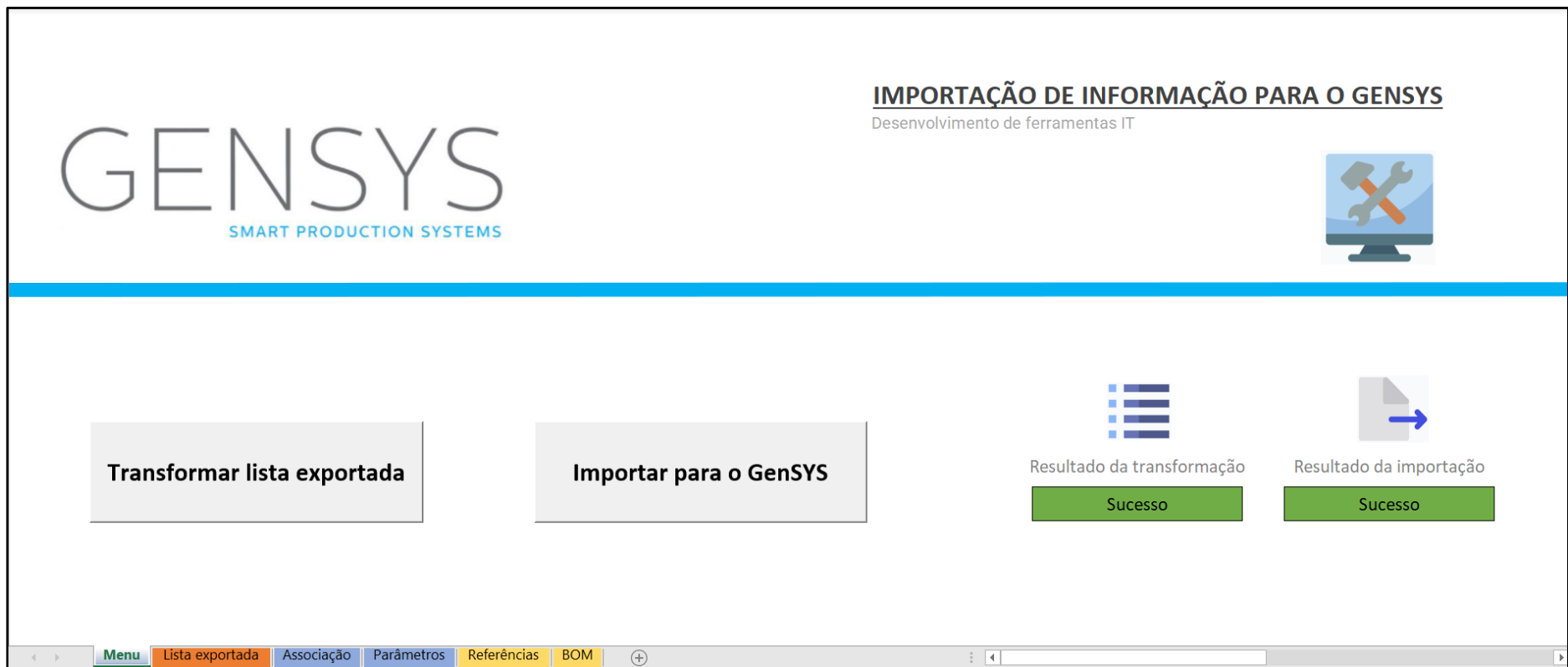


Figura 55 - Menu da ferramenta depois de uma transformação e uma importação bem-sucedidas



Figura 56 - Menu da ferramenta depois de uma transformação bem-sucedida e de um erro na importação

APÊNDICE 6 – TEMPLATES CRIADOS NO *GENSYS*

Referências

Código TEMP\WC Meta Referência Template Ativação Automáti

Classe PA Data 25/11/2021 Fictício?

Família F03 Tipo de Documento ORD

Descrição TEMPLATE WC

Inglês

Francês

Alemão

Imagem

Unidades de Quantidade

Unidade Principal UN Casas Decimais

Unidade Secundária Casas Decimais Conversão

Armazém ARM300 Código Intrastate

b)

TEMP\WC : TEMPLATE WC

- EMBALAGEM [20]

EMB001

Figura 57 - a) Template do WC criado no *GenSYS*; b) Gama operatória respetiva

Referências

Código TEMP-PAREDE Meta Referência Template Ativação Automáti

Classe SA Data 25/11/2021 Fictício?

Família F02 Tipo de Documento ORD

Descrição TEMPLATE PAREDE

Inglês

Francês

Alemão

Imagem

Unidades de Quantidade

Unidade Principal UN Casas Decimais

Unidade Secundária Casas Decimais Conversão

Armazém ARM210 Código Intrastate

b)

TEMP-PAREDE : TEMPLATE PAREDE

- ESTRUTURAÇÃO [28]
- PLACAGEM [22]
- ACABAMENTO [900]

EST001
PLA001
ACA001

Figura 58 - a) Template da parede criado no *GenSYS*; b) Gama operatória respetiva

Referências

Código TEMP-PLACA Meta Referência Template Ativação Automática

Classe SA SEMI-ACABADO Data 25/11/2021 Fictício?

Família F02 SEMIACABADO Tipo de Documento ORD Ordem de produção

Descrição TEMPLATE PLACA

Inglês

Francês

Alemão

Imagem

Unidades de Quantidade

Unidade Principal UN UN Casas Decimais 0

Unidade Secundária Casas Decimais Conversão

Armazém ARM120 ARMAZÉM PLACAS MAQUINADAS Código Intrastate

TEMP-PLACA : TEMPLATE PLACA b)

MAQUINAÇÃO [7] MAQ001

Figura 59 - a) Template da placa criado no GenSYS; b) Gama operatória respetiva

Referências

Código TEMP-KEM Meta Referência Template Ativação Automática

Classe SA SEMI-ACABADO Data 25/11/2021 Fictício?

Família F02 SEMIACABADO Tipo de Documento ORD Ordem de produção

Descrição TEMPLATE KIT EST MET

Inglês

Francês

Alemão

Imagem

Unidades de Quantidade

Unidade Principal UN UN Casas Decimais 0

Unidade Secundária Casas Decimais Conversão

Armazém ARM110 ARMAZÉM PERFIS CORTADOS Código Intrastate

TEMP-KEM : TEMPLATE KIT EST MET b)

CORTE [2] CRT001

Figura 60 - a) Template do kit da estrutura metálica criado no GenSYS; b) Gama operatória respetiva

Referências

Código TEMP-PI Meta Referência Template Ativação Automá **a)**

Classe SA SEMI-ACABADO Data 25/11/2021 Fictício?

Família F02 SEMIACABADO Tipo de Documento ORD Ordem de produção

Descrição TEMPLATE PLACA INFRA

Inglês

Francês

Alemão

Imagem

Unidades de Quantidade

Unidade Principal UN UN Casas Decimais 0

Unidade Secundária Casas Decimais Conversão

Armazém ARM200 ARMAZÉM PLACAS INFRA Código Intrastate

TEMP-PI : TEMPLATE PLACA INFRA **b)** MAQ001
 MAQUINAÇÃO {2+1*A0} MON001
 MONTAGEM [20]

TEMP-PI : TEMPLATE PLACA INFRA **c)** A0
 NÚMERO DE FUROS

Figura 61 - a) Template da placa infraestruturada criado no GenSYS; b) Gama operatória respetiva; c) Parâmetros respetivos

APÊNDICE 7 – SEMIACABADOS CRIADOS NO *GENSYS*

Referências

Código PARPOR001 **Meta Referência** **Template** **Ativação Automática** a)

Classe SA SEMI-ACABADO **Data** 26/11/2021 **Fictício?**

Família F02 SEMIACABADO **Tipo de Documento** ORD Ordem de produção

Descrição PAREDE DA PORTA

Inglês: _____

Francês: _____

Alemão: _____

Imagem \\localhost\PARPOR001.jpg

Unidades de Quantidade

Unidade Principal UN UN **Casas Decimais** 0

Unidade Secundária _____ _____ **Casas Decimais** _____ **Conversão** _____

Armazém ARM210 ARMAZÉM PAREDES **Código Intrastate** _____

b)

- PARPOR001 : PAREDE DA PORTA
 - ESTRUTURAÇÃO [28] EST001
 - PLACAGEM [22] PLA001
 - ACABAMENTO [900] ACA001

c)

- PARPOR001 : PAREDE DA PORTA
 - CERÂMICO [8] CEI
 - PLACA MAQUINADA [4] PLAMAQ001
 - KIT DA ESTRUTURA METÁLICA [2] KITEM001
 - PLACA INFRAESTRUTURADA DA PORT [1] PLAINFPOR001

d)

- PARPOR001 : PAREDE DA PORTA
 - ESTRUTURAÇÃO
 - PLACAGEM
 - PLACA MAQUINADA
 - ACABAMENTO
 - CERÂMICO

Figura 62 - a) Referência da parede da porta criada no *GenSYS*; b) Gama operatória respetiva; c) BOM respetiva; d) Componentes nas operações

Referências

Código PLAMAQ001 **Meta Referência** **Template** **Ativação Automát** a)

Classe SA SEMI-ACABADO **Data** 26/11/2021 **Fictício?**

Família F02 SEMIACABADO **Tipo de Documento** ORD **Ordem de produção**

Descrição PLACA MAQUINADA

Inglês

Francês

Alemão

Imagem \\localhost\PLAMAQ001.jpg

Unidades de Quantidade

Unidade Principal UN UN **Casas Decimais** 0

Unidade Secundária **Casas Decimais** **Conversão**

Armazém ARM120 ARMAZÉM PLACAS MAQUINADAS **Código Intrastate**

PLAMAQ001 : PLACA MAQUINADA b) MAQ001

MAQUINAÇÃO [7]

PLAMAQ001 : PLACA MAQUINADA c) PLAMAQ001

PLACA [1]

Figura 63 - a) Referência da placa maquinada criada no GenSYS; b) Gama operatória respetiva; c) BOM respetiva

Referências

Código KITEM001 **Meta Referência** **Template** **Ativação Autor** a)

Classe SA SEMI-ACABADO **Data** 25/11/2021 **Fictício?**

Família F02 SEMIACABADO **Tipo de Documento** ORD **Ordem de produção**

Descrição KIT DA ESTRUTURA METÁLICA

Inglês

Francês

Alemão

Imagem \\localhost\KITEM001.jpg

Unidades de Quantidade

Unidade Principal UN UN **Casas Decimais** 0

Unidade Secundária **Casas Decimais** **Conversão**

Armazém ARM110 ARMAZÉM PERFIS CORTADOS **Código Intrastate**

KITEM001 : KIT DA ESTRUTURA METÁLICA b) CRT001

CORTE [2]

KITEM001 : KIT DA ESTRUTURA METÁLICA c) VT001

MONTANTE [2]

CANAL [1]

CANAL001

Figura 64 - a) Referência do kit da estrutura metálica criada no GenSYS; b) Gama operatória respetiva; c) BOM respetiva

Referências

Código PLAINFPOR001 Meta Referência Template Ativação Automática

Classe SA SEMI-ACABADO Data 25/11/2021 Fictício?

Família F02 SEMIACABADO Tipo de Documento ORD Ordem de produção

Descrição PLACA INFRAESTRUTURADA DA PORT

Inglês

Francês

Alemão


Imagem \\localhost\PLAINFPOR001.jpg



Unidades de Quantidade


Unidade Principal UN UN Casas Decimais 0

Unidade Secundária Casas Decimais Conversão

Armazém ARM200 ARMAZÉM PLACAS INFRA Código Intrastate

 PLAINFPOR001 : PLACA INFRAESTRUTURADA DA PORT b)

-  MAQUINAÇÃO [4] MAQ001
-  MONTAGEM [20] MON001

 PLAINFPOR001 : PLACA INFRAESTRUTURADA DA PORT c)


-  PLACA OSB [1] 001

Figura 65 - a) Referência da placa infraestruturada da porta criada no *GenSYS*; b) Gama operatória respetiva; c) BOM respetiva

APÊNDICE 8 – PRODUTOS ACABADOS CRIADOS NO *GENSYS*

Referências

a)

Código WC001 Meta Referência Template Ativação Automá

Classe PA PRODUTO ACABADO Data 26/11/2021 Fictício?

Família F03 PRODUTO ACABADO Tipo de Documento ORD Ordem de produção

Descrição WC

Inglês

Francês

Alemão

Imagem \\localhost\WC001.jpg

Unidades de Quantidade

Unidade Principal UN UN Casas Decimais 0

Unidade Secundária Casas Decimais Conversão

Armazém ARM300 ARMAZÉM PRODUTO ACABADO Código Intrastate

b)

WC001 : WC

EMBALAGEM [20] EMB001

c)

WC001 : WC

PAREDE DA PORTA [1] P. 01

Figura 66 - a) Referência do WC criada no *GenSYS*; b) Gama operatória respetiva; c) BOM respetiva

APÊNDICE 9 – MEDIÇÃO DO TEMPO DE IMPORTAÇÃO

Neste apêndice, são apresentados os tempos de importação de cinco WC diferentes, em segundos. Estes foram medidos com uma funcionalidade da ferramenta que permite temporizar as importações (Figura 67). A duração da importação depende tanto do tempo que a ferramenta demora a estabelecer conexão com o servidor como do tempo de caracterização de cada referência no *GenSYS*. Com os dados medidos é possível traçar uma linha com a tendência linear da duração, resultando então numa estimativa do tempo de conexão ao servidor de 4,1 s e de importação para o *GenSYS* de 0,2 s, por cada referência.

	WC1	WC4	WC3	WC2	WC5
Nº de refs.	41	55	72	82	126
Duração (s)	4,3	4,4	4,7	4,7	5,1

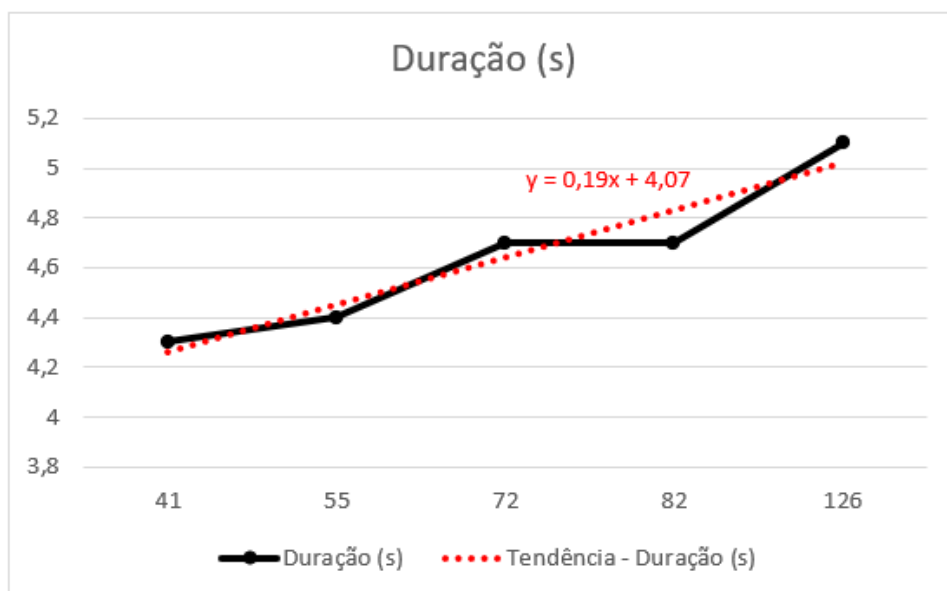


Figura 67 - Tempos de importação

APÊNDICE 10 – TÉCNICA DA AMOSTRAGEM NO PREENCHIMENTO DOS CAMPOS NO *INVENTOR*

Neste apêndice, é apresentado o procedimento efetuado para a realização da medição do Tempo de Preenchimento dos Campos no *Inventor* (TPCI), por cada peça ou conjunto desenhados. Este tempo foi medido a partir do momento em que o desenhador começou a preencher o primeiro campo e terminou quando este acabou o último campo.

O número de observações a realizar para se obter um nível de confiança $\alpha = 95\%$ ($Z = 1,96$) e uma precisão $\varepsilon = \pm 5\%$, é verificado através da Equação (6), onde N' corresponde a esse mesmo valor e m ao valor médio da amostra. A Equação (7) representa s , que é o desvio padrão para uma amostra com trinta observações ou menos, em que N corresponde à dimensão real da amostra. O valor médio da amostra é calculado utilizando a média ponderada dos valores de TPCI situados em torno da amostra modal, de modo a eliminar o impacto que os *outliers* têm.

Procedeu-se então à medição dos valores de TPCI, obtendo-se assim os resultados apresentados na Figura 68. Como é possível observar, o número de observações feitas N é superior ao número de observações necessárias para obter o nível de confiança e a precisão requeridas N' . O resultado final é um TPCI = 25,4 segundos.

TPCI	TPCI (segundos)
00:00:25	25
00:00:28	28
00:00:26	26
00:00:25	25
00:00:24	24
00:00:29	29
00:00:28	28
00:00:29	29
00:00:28	28
00:00:22	22
00:00:19	19
00:00:25	25
00:00:24	24
00:00:24	24
00:00:30	30
00:00:23	23
00:00:25	25
00:00:21	21
00:00:25	25
00:00:27	27

m	25,35
s	2,59
N'	16,09
N	20
TPCI (s)	25,35

Figura 68 - Valores do TPCI e cálculo do TPCI médio