

Projeto de Simulação Industrial para uma Nova Unidade Produtiva de Tintas

Emanuel Adriano Ribeiro Cardoso Antas

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. José António Barros Basto



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2020-06-29

*“In three words,
I can sum up everything I have learned about life.
It goes on.”*
Robert Frost

Resumo

Vivemos em constante mudança. O mercado atual apresenta níveis de competitividade nunca antes vistos, enquanto que os padrões de todos os *stakeholders* continuam a elevar-se. O aumento da procura, e também da busca pela qualidade, obrigou as empresas a evoluírem em duas vias que muitas vezes se intersejam: a expansão de capacidade e a melhoria contínua. Nem sempre a adoção de filosofias *lean* consegue colocar a empresa no patamar desejado. Por outro lado também se pode afirmar que o simples aumento de capacidade não proporciona resolução para todos os problemas. A convergência dos dois conceitos dá então o mote para a criação deste projeto.

O trabalho visou a Corporação Industrial do Norte, S. A., e teve como objetivo principal a elaboração de diversos cenários que fornecessem informações sobre potenciais mudanças numa unidade produtiva de tintas.

A primeira fase do projeto dedicou-se à compreensão do processo produtivo - conhecer as suas características, a forma como os recursos interagem com o produto, quais os limites e restrições existentes no sistema e quais as oportunidades de melhoria. Com esta informação reunida, foi possível passar para um patamar mais teórico. A caracterização dos centros de trabalho e respetivos recursos foi realizada, para que posteriormente pudesse contribuir para a modelização do processo produtivo. A sustentação do modelo exigia a coordenação de diversos sistemas de informação em paralelo, como por exemplo o sistema ERP e o MES. A plataforma usada para esta integração foi o APS (*Advanced Planning and Scheduling*), uma ferramenta de planeamento e escalonamento da produção. O recurso a este *software* prendeu-se com a possibilidade de melhorar a utilização dos recursos, reduzir o WIP (*work in progress*), reduzir tempos de execução (*lead time*), entre outros. Após obter uma representação adequada do cenário atual, deu-se início à elaboração dos cenários alternativos. Cada cenário foi proposto com base em informações provenientes de observações do processo produtivo e uma análise de KPI's (*Key Performance Indicators*) em conjuntos de dados simulados referentes à nave visada. As características diferenciadoras de cada cenário foram as seguintes: redução do número de tanques de acabamento, melhoria tecnológica de uma das linhas de enchimento e a incorporação de um novo dispersor de capacidade superior.

Após a análise dos valores obtidos para cada cenário, foi possível confirmar previsões mas também houve alguns valores inesperados (quer por defeito, quer por excesso). Cada alteração derivada das características específicas do cenário foi analisada em pormenor e explicada no contexto em que se inseria. Apresentou-se por fim um resumo das estatísticas dos indicadores considerados, o qual serviu de suporte para as considerações finais.

O único cenário que apresentou melhorias significativas foi o que integrava o novo dispersor, visto que também é o que melhor se adapta à realidade da nova fábrica, os fabricos de grandes volumes. Foi ainda possível confirmar a sobrelotação de tanques de acabamento na fábrica, e desmentir a suspeita de que o setor do enchimento é o *bottleneck* da produção. Foi possível ainda efetuar uma recolha de oportunidades de melhoria ao longo do projeto, no entanto as restrições de tempo não permitiram a sua implementação. Deste modo, foram expostas como tópicos de trabalhos futuros.

Industrial Simulation Project for a New Coatings Production Unit

Abstract

We live in a world of constant change. The present market exhibits levels of competitiveness never seen before, while the standards of all stakeholders keep on rising. The increase of demand, but also of the search for quality, forced companies to evolve in two different but intersecting ways: the expansion of capacity and continuous improvement. The adoption of lean philosophies does not imply that the company can reach a desired threshold. On the other side, it is possible to state that the simple increase of capacity does not guarantee the resolution of all problems. The convergence of both of these concepts is the motto for the creation of this project.

The work involved the *Corporação Industrial do Norte, S. A.*, and its main goal was to develop different scenarios that provided information about potential changes in a coatings production unit.

The first stage of the project was dedicated to the understanding of the production process - getting to know its characteristics, the way resources interact with the product, what are the limits and restrictions of the system and the opportunities to improve. With this information gathered, it was possible to advance to a more theoretical stage. The work centers and the associated resources characterization was carried out, so that it could contribute to the modeling of the production process afterwards. The sustainability of the model demanded the coordination of several information systems in parallel, such as the ERP system and the MES. The platform used for this integration was the APS (Advanced Planning and Scheduling), a tool for production planning and scheduling. The use of this software was justified by the possibility of improving the resource utilization, reducing WIP (work in progress), reducing lead times, amongst others. After achieving an adequate representation of the present scenario, the making of the alternative ones began. Each scenario was developed based on information that stemmed from pure observation of the production process and a KPI (Key Performance Indicators) analysis of a dataset that came from a simulation of the production unit. The differentiating characteristics of each scenario were the following: reduction of the number of finishing tanks, technological upgrade of one of the filling lines and the incorporation of a new disperser with superior capacity.

After the analysis of the obtained values for each scenario, it was possible to confirm some of the predictions but there were a few unexpected values (either by default, or by excess). Each change that resulted from the specific characteristics of a scenario was analysed in detail and explained considering its specific context. A summary of the considered indicators' statistics was presented, which supported the final considerations.

The only scenario that provided significant improvements was the one with the new disperser, as it better adapts to the reality of the new production unit: high volume manufacturing. It was possible to confirm the excess quantity of finishing tanks in the unit and to deny the suspicion that the filling sector was the bottleneck of production. A collection of improvement opportunities was made during the project, but the time limitations did not allow them to be implemented. Thereby, they were exposed in the end as topics for future projects.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, um agradecimento especial ao engenheiro Pedro Cruz, que para além de desempenhar a função de meu orientador empresarial, demonstrou sempre simpatia, esforço e apoio para comigo e uma capacidade de motivar as pessoas para que nunca desistam independentemente das dificuldades.

Ao professor José Barros Basto, meu orientador académico, pelas suas recomendações e pela sua flexibilidade na disponibilidade para me ajudar nos momentos críticos.

Aos senhores Ricardo Rocha e Ricardo Pereira, e também aos restantes colaboradores da Nováqua por toda a ajuda providenciada e a paciência que tiveram para me fornecer todos os pormenores relativos ao processo de fabrico.

A todas as pessoas que puderam dar o seu cunho na minha formação, um obrigado por todo o conhecimento transmitido, pelos diversos pontos de vista, e por me ajudarem a tornar num ser mais culto.

A todos os que tive o prazer de chamar amigo e amiga, um obrigado por todos os momentos e por me ajudarem a tornar num ser mais humano.

E por fim, mas acima de tudo, deixo a minha imensa gratidão ao Emanuel Perat e à Maria da Conceição Antas, os meus pais. Respeito todo o trabalho que tiveram para fazer de mim aquilo que sou hoje, e por me terem fornecido as oportunidades e as ferramentas para construir um caminho que me dirigiu até esta etapa, mas que ainda me levará mais longe.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Apresentação da Empresa	1
1.1.1	Grupo CIN	1
1.1.2	Unidade Nováqua – CIN Maia.....	2
1.2	Enquadramento do Projeto	3
1.3	Objetivos do Projeto.....	4
1.4	Metodologia Adotada para o Projeto.....	4
1.5	Estrutura da Dissertação	5
2	Revisão do Estado da Arte.....	6
2.1	Planeamento, Escalonamento e Controlo de Produção.....	6
2.1.1	Caracterização dos Conceitos	6
2.1.2	Problemas e Desafios	7
2.2	Esqueleto dos Sistemas de PCP.....	7
2.2.1	Horizontes de Planeamento.....	8
2.2.2	Capacidade dos Centros de Trabalho	8
2.2.3	Sequenciamento e Regras de Sequenciamento.....	9
2.2.4	Variantes de Programação	9
2.2.5	Consideração da Incerteza	10
2.3	Sistemas de Gestão de Produção	11
2.3.1	<i>Master Production Schedule</i> (MPS)	11
2.3.2	<i>Material Requirements Planning</i> (MRP)	12
2.3.3	<i>Manufacturing Resource Planning</i> (MRP II).....	13
2.3.4	<i>Enterprise Resource Planning</i> (ERP)	13
2.3.5	<i>Manufacturing Execution Systems</i> (MES)	14
2.3.6	<i>Advanced Planning and Scheduling</i> (APS).....	15
2.4	Modelação de Processos.....	16
3	Caracterização do Processo Produtivo	18
3.1	Constituintes da Tinta.....	18
3.2	Processo Produtivo.....	19
3.3	Codificações Internas	21
3.3.1	Produtos	21
3.3.2	Estado das Ordens de Fabrico.....	22
3.4	Situação Inicial.....	22
3.4.1	Pesagem	22
3.4.2	Pré-Mistura	23
3.4.3	Acabamento	23
3.4.4	Enchimento	24
3.5	Identificação e Caracterização dos KPI.....	25
4	Adaptação do SOFTINOV APS à Nováqua	27
4.1	Sistemas de Informação Utilizados	27
4.2	Apresentação do SOFTINOV APS	28
4.3	Modelação de Cenários no APS	30
4.3.1	Parametrização dos Centros de Trabalho	31
4.3.2	Cálculo das Prioridades.....	32
4.3.3	Bloqueio e Desbloqueio de Recursos.....	32
5	Apresentação de Cenários.....	34
5.1	Cenário AS IS	34
5.2	Elaboração de Cenários Alternativos	37
5.3	Redução do Número de Tanques de Acabamento	37

5.4	Aumento da Velocidade das Linhas de Enchimento	38
5.5	Aumento da Dimensão dos Tanques Dispersores.....	39
5.6	Resumo Estatístico dos Cenários Alternativos	40
6	Conclusões.....	44
6.1	Trabalhos Futuros.....	44
	Referências	46
ANEXO A:	Caracterização dos Centros de Trabalho da Nováqua	49
ANEXO B:	Folhas de Cálculo Criadas para a Análise dos Cenários (AS IS)	55

Siglas

APS – *Advanced Planning and Scheduling*
BOM – *Bill of Materials*
CD – Centro de Distribuição
CIN – Corporação Industrial do Norte
e.g. - *exempli grātiā*
ERP – *Enterprise Resource Planning*
ETARI – Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais
FIFO – *First In First Out*
I&D – Investigação e Desenvolvimento
IBC – *Intermediate Bulk Container*
i.e. – *id est*
ISO – *International Organization for Standardization*
JIT – *Just-in-Time*
KPI – *Key Performance Indicator*
LIF – Laboratório de Inspeção Final
MES – *Manufacturing Execution Systems*
MPS - *Master Production Schedule*
MRP - *Material Requirements Planning*
MRP II – *Manufacturing Resource Planning*
MTO – *Make to Order*
MTS – *Make to Stock*
OF – Ordem de Fabrico
OHSAS - *Occupational Health and Safety Assessment Series*
PCP – Planeamento e Controlo de Produção
PNC - Produto Não Conforme
SA – Sociedade Anónima
SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*
SFC – *Shop Floor Control*
SI – Sistema(s) de Informação
TE – Talão de Enchimento
TPS – *Toyota Production System*
UV – Ultravioleta
WIP – *Work in Progress*

Índice de Figuras

Figura 1 - Planta da CIN Maia.....	3
Figura 2 - Cronograma Inicial do Projeto.....	4
Figura 3 - Modelo de Horizonte Deslizante (Zhang <i>et al</i> , 2019)	10
Figura 4 - Estrutura de um Sistema APS (Stadtler, 2005).....	15
Figura 5 - Processo Produtivo da CIN	19
Figura 6 - Talão de Enchimento	20
Figura 7 - Ordem de Fabrico	20
Figura 8 - Codificação de um Produto Final	22
Figura 9 – Ecrã Inicial do ASW	28
Figura 10 – Interface do SFC	28
Figura 11 - Diagrama de Gantt de Recursos no APS	30
Figura 12 - Ecrã de Indicadores do APS	30
Figura 13 – Pasta <i>Operation</i> do Ficheiro ret_01C2.xml	31
Figura 14 - Diagrama de Bloqueio dos Centros de Trabalho	33
Figura 15 - Gráfico da Quantidade Diária Expedida (AS IS).....	35
Figura 16 - Diagrama de Gantt Explicativo com POLINE e PORDER.....	35
Figura 17 - Gráfico Quantidade Diária Expedida (Todos).....	41

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Tabela Resumo Quantidade Diária Expedida (AS IS)	35
Tabela 2 - Tabela Resumo <i>Lead-Times</i> (AS IS).....	36
Tabela 3 - Tabela Resumo Taxa de Utilização (AS IS)	36
Tabela 4 - Tabela Resumo Taxa de Ocupação (AS IS).....	36
Tabela 5 - Tabela Resumo Quantidade Diária Expedida (Todos).....	40
Tabela 6 - Tabela Resumo <i>Lead-Times</i> POLINE's (Todos)	41
Tabela 7 - Tabela Resumo <i>Lead-Times</i> PORDER's (Todos).....	41
Tabela 8 – Tabela Resumo Taxa de Utilização do Fabrico (Todos)	42
Tabela 9 – Tabela Resumo Taxa de Utilização do Acabamento (Todos)	42
Tabela 10 – Tabela Resumo Taxa de Utilização do Enchimento (Todos)	42
Tabela 11 – Tabela Resumo Taxa de Ocupação do Fabrico (Todos).....	42
Tabela 12 – Tabela Resumo Taxa de Ocupação do Acabamento (Todos).....	43

1 Introdução

Longe vão os tempos em que uma tecnologia inovadora garantia uma vantagem única para a empresa que a possuísse durante um longo período de tempo. Atualmente, o setor industrial é bastante competitivo, tornando a gestão da produção num componente basilar da estratégia empresarial.

O conceito *kaizen* (melhoria contínua) está profundamente associado à criação de ideologias geradoras de práticas e teorias (Sirk, 2020), nomeadamente o *Toyota Production System* (TPS). Este sistema de produção, que também levou ao desenvolvimento da filosofia *just-in-time* (JIT) (produzir os bens necessários, nas quantidades exigidas, no tempo devido (Monden, 2012)), revolucionou o mundo após a Segunda Guerra Mundial, divulgando ideais de redução de desperdícios e aumento de eficiência (Womack, Jones e Roos, 2007). Estes conceitos foram desenvolvidos até aos dias de hoje, onde estão presentes em diversos tipos de indústrias, transformando mercados que outrora eram desequilibrados em grupos mais competitivos. A exigência por melhores produtos e serviços obriga as empresas a não só investirem no desenvolvimento de novas tecnologias, mas também na melhoria contínua dos seus processos.

No seguimento desta ideologia, a necessidade de evolução incessante integra os planos de qualquer empresa no mercado atual. De uma conjugação entre a criação de novas ideias e a melhoria de processos existentes surgiu a motivação para a elaboração deste projeto. Este foi realizado ao longo de quatro meses em ambiente empresarial na CIN – Corporação Industrial do Norte S.A., no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

A contextualização desta dissertação toma lugar neste primeiro capítulo, onde se procede à apresentação da empresa, o enquadramento do projeto, seus objetivos e por fim a estrutura de todo o documento.

1.1 Apresentação da Empresa

Nos dias que correm, as técnicas de fabrico de tintas estão praticamente padronizadas, assim como as matérias-primas e tecnologias usadas, levando a que muitas vezes as mercadorias de diferentes empresas sejam quase indistinguíveis. O produto resultante é muitas das vezes economicamente acessível ao consumidor comum e de fácil aplicação. No entanto, o cenário era bem diferente há 100 anos atrás. Foi nesta altura que o mercado de tintas e vernizes sofreu a maior evolução. Dois fatores contribuíram altamente para esta expansão: a introdução de tintas pré-misturadas no final do século XIX e a conceção de resinas sintéticas no começo do século XX (Standeven, 2011). Foi neste meio agitado que surgiu em Portugal a Companhia Industrial do Norte, SARL, em 1917.

1.1.1 Grupo CIN

O seu portefólio inicial incluía óleos, sabões, tintas, velas e vernizes e assim se manteve até a empresa sofrer uma reestruturação em 1926, atualizando a sua oferta para somente tintas e vernizes. Muda ainda o seu nome para Corporação Industrial do Norte, Lda., designação que mantém até à presente data. Passados 40 anos, surge outra revolução no ambiente da empresa quando translada as suas instalações para a Maia, tornando-se uma das maiores e mais modernas fábricas dessa época (Novo, 2018).

A estratégia do Grupo CIN indica que o próprio “intervirá em mercados onde, suportado pelas suas competências básicas, seja capaz de atingir uma posição de liderança. O seu crescimento está centrado num processo de consolidação orgânica e de aquisições” (“Missão & Estratégia”, 2020). Tal afirmação explica todo o historial que a empresa apresenta, com a criação da CIN Angola S.A. e CIN Moçambique SARL no início da década de 70, a entrada na Bolsa de Valores

de Lisboa e a aquisição da Sotinco S.A. nos finais da década de 80 e atingindo finalmente a liderança do mercado português em 1992, posição que ainda mantém. Três anos mais tarde assume a liderança Ibérica no setor de tintas e vernizes, juntando à mesma a aquisição de 98% da Barnices Valentine S.A. antes do final do milénio. A expansão foi continuando nos últimos 20 anos através da aquisição de empresas portuguesas (NITIN S.A., Ibercoat S.A. no setor das tintas em pó), espanholas (DISA Pinturas S.A. que passa a ser designada por CIN Canárias S.A., Proitesa S.A.U., Govesan S.A.U. também no setor das tintas em pó), francesas (Artilin S.A., Celliose S.A., Monopol S.A.S.) e presença da marca no México, Polónia, África do Sul e Turquia (“História”, 2020).

O Grupo CIN alia este crescimento em dimensão a um investimento em centros de investigação e desenvolvimento (I&D), presentes em Portugal, Espanha, França, Angola e Moçambique, que contam com cerca de 150 técnicos especializados e mais de 6 milhões de euros de investimento anual. Inaugurou em 2010, na Maia, o primeiro centro de I&D onde se efetuam estudos dos produtos, da sua cor, análise da sua composição e ainda o estudo do seu comportamento e envelhecimento (o qual pode ser acelerado ou natural) (“Investigação e Desenvolvimento”, 2020).

Com mais de 100 anos de experiência, presente em mais de 50 países, cerca de 1400 colaboradores e tendo faturado 241 milhões de euros em 2019 (“Quem Somos”, 2020), o Grupo CIN posiciona-se como o 16º maior produtor de tintas e vernizes europeu e o 48º a nível global (“Ranking Europeu e Mundial”, 2020). A par da sua competitividade, o Grupo CIN aposta ainda na qualidade, desenvolvimento sustentável, no bem-estar dos seus *stakeholders* e do meio ambiente que o rodeia. Isto pode ser constatado através das certificações dos seus sistemas de gestão de Qualidade (ISO 9001:2015), Ambiente (ISO 14001:2015) e Higiene e Segurança (OHSAS 18001:2007/NP 4397:2008) (“Políticas e Certificações”, 2020).

A diversa gama de produtos fabricada e comercializada pelas empresas constituintes do grupo pode-se dividir nas seguintes áreas de negócio:

- Decorativos: o seu uso dá-se maioritariamente na construção civil, sendo produtos abundantes no mercado, de aplicação simples, tendo como objetivo a decoração e a proteção da superfície. Este segmento tem o maior peso no negócio do grupo, tendo sido responsável por 51% das vendas em 2019 (“Atividade”, 2020).
- *Performance Coatings*: resultou da reconfiguração das unidades da Indústria e Proteção Anticorrosiva. Providencia soluções arrojadas na área do revestimento e proteção de produtos industriais, equipamentos e infraestruturas. Esta unidade de negócio está em contacto com diversas áreas de mercado, como por exemplo: indústria alimentar, arquitetura, embalagens, energia, instalações de extração, petróleo, gás e transportes. Representa os restantes 49% de vendas referentes a 2019 (“Performance Coatings”, 2020).

1.1.2 Unidade Nováqua – CIN Maia

A sede do Grupo CIN situa-se na Maia onde também possui duas unidades de produção (tintas líquidas e tintas em pó), um centro de I&D e um centro de distribuição (CD) (inaugurado em 2004). A unidade principal está dividida em diferentes setores de acordo com o produto fabricado em cada um. O armazém de matérias-primas (C0) recebe e abastece as naves industriais com as matérias necessárias. A nave central (C1) produz diversos produtos de base aquosa e solvente, a fábrica de tintas plásticas - Nováqua (C2) fabrica tintas de base aquosa, a fábrica de brancos (C3) produz tintas brancas e bases neutras. Existe ainda a fábrica de vernizes (C4), a fábrica de diluentes (C5), a fábrica de massas e betumes (C6) e a fábrica de produtos industriais (C8) que apenas existe há cerca de um ano. Para além destes armazéns, existe ainda o edifício administrativo (EA) onde se encontra a direção, os departamentos de finanças,

marketing, informática e a cantina, o centro de etiquetagem (CE) onde se imprimem todos os rótulos e etiquetas necessárias para os produtos intermédios e finais, o centro de rotulagem (CR) onde se rotulam certas latas antes de irem para as respetivas fábricas e uma ETARI que processa internamente águas usadas nos processos fabris. Todas estas áreas e naves podem ser observadas na figura 1.

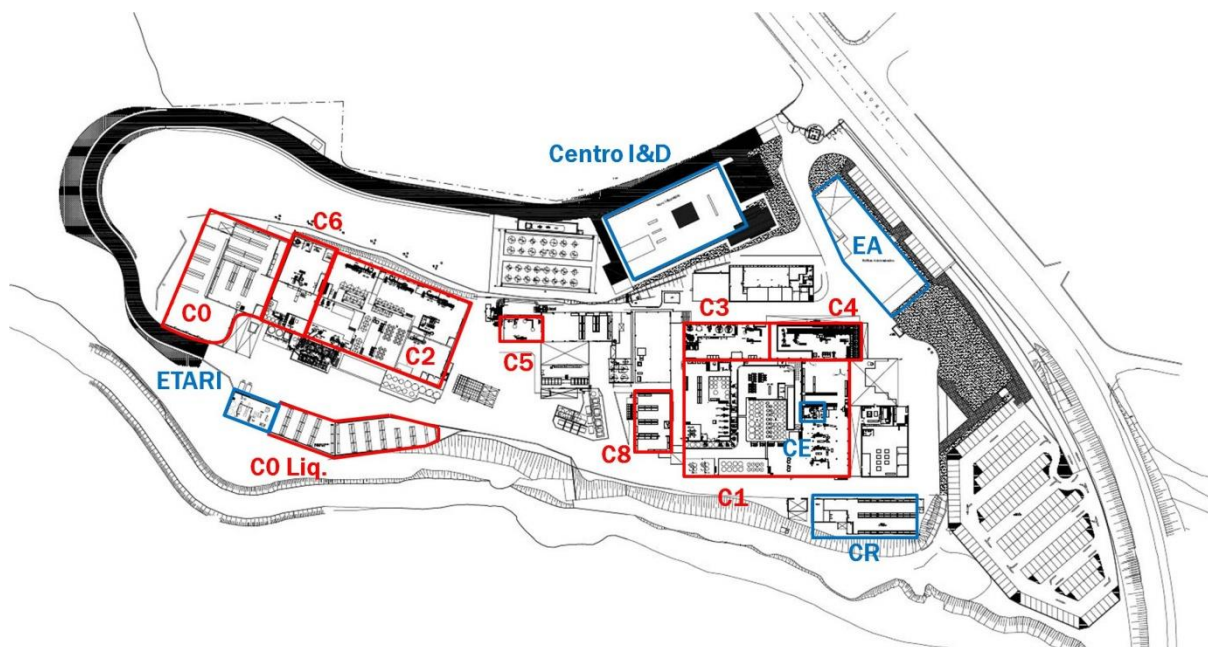


Figura 1 - Planta da CIN Maia

A fábrica C2, internamente designada por Nováqua, é responsável por 66% da produção da CIN Maia. Os produtos que são fabricados neste setor podem ser divididos em tintas lisas e tintas areadas. Esta divisão é importante para o processo produtivo, como será explicado no capítulo 3. As tintas lisas podem ainda ser divididas por código de cor: 501 – brancos, 503 – primários, 505 – transparentes, 508 – base média, 509 – base pastel. O fabrico de grandes quantidades é possível dada a criação do sistema Colormix em 1990, um sistema de afinação instantânea que revolucionou todo o processo produtivo. Com este sistema, a afinação da cor passou a ser feita nos pontos de venda, customizada para cada cliente, ou ainda no CD da Maia, deixando a cargo da fábrica apenas a produção de brancos e de bases.

1.2 Enquadramento do Projeto

A busca pela melhoria dos processos fabris, acompanhada por uma representação digital que permita o controlo e gestão dos mesmos motivou o início do seguinte projeto. Este trabalho irá focar-se na modelação de um processo produtivo e avaliação de cenários alternativos para ajudar os procedimentos de tomada de decisão relativos a uma nova unidade produtiva da CIN, utilizando uma abordagem baseada na simulação de carga da unidade através do uso do APS (*Advanced Planning and Scheduling*) – uma ferramenta avançada de escalonamento de produção.

A aquisição deste *software* teve como objetivo o aumento da capacidade de produção, diminuição do *work in progress* (WIP), aumento da eficiência dos equipamentos e diminuição do tempo de execução (Mimoso, 2018). A integração desta ferramenta com o ERP atual e os sistemas de informação (SI) da empresa já se encontra ativa, sendo que esta conjugação já é usada para benefício da empresa diariamente, na programação da produção de algumas fábricas.

A caracterização do processo produtivo, que mais tarde levará ao modelo de simulação, tentará representar de maneira adequada as dinâmicas dos fluxos de materiais e de informação, e os equipamentos necessários para se atingir o nível de serviço pretendido na unidade produtiva. Este projeto seguirá como base de informação os processos que atualmente decorrem na Nováqua.

1.3 Objetivos do Projeto

Ao longo do período de realização do projeto, algumas metas foram estabelecidas semanalmente a fim de se traçar um caminho que permita atingir com sucesso os objetivos globais:

- Desenho de um sistema de produção eficiente, melhorando as atividades que constituem o processo produtivo da Nováqua;
- Melhorar a capacidade de produção da futura unidade produtiva, através da análise dos cenários simulados;
- Determinar as necessidades dos principais recursos no processo produtivo da Nováqua.

1.4 Metodologia Adotada para o Projeto

O plano inicial deste projeto incluía três fases distintas, no que diz respeito a conjuntos de métodos para alcançar os objetivos supramencionados. Primeiramente seria efetuado um diagnóstico da situação produtiva atual, que começava pela compreensão do projeto e posterior caracterização. Após terem sido modeladas as operações e recursos, seriam ainda considerados quais os indicadores chave para uma futura comparação dos cenários. A par desta identificação, a segunda fase daria o seu início com a análise do *software* de escalonamento de produção. Nesta fase intermédia, os dados existentes seriam analisados, e sendo a aplicação desta ferramenta na Nováqua algo recente, alguns erros iam surgindo ao longo do projeto, os quais seriam reportados com o intuito de melhorar a integração dos sistemas. Por fim, a fase final passaria pela simulação e avaliação de cenários no APS, com recurso aos KPI previamente definidos. Tudo isto culminará nas recomendações finais, que incorporam uma combinação de recursos próxima do ideal para o volume de produção considerado. Pode-se observar o cronograma do plano estratégico desenvolvido no início do projeto na figura 2.

Metas	Atividade	06/03	13/03	20/03	27/03	03/04	10/04	17/04	24/04	01/05	08/05	15/05	22/05	29/05	05/06	12/06
Análise da Situação Inicial	Diagnóstico da situação produtiva atual	•	•	•												
	Análise da ferramenta de escalonamento avançado			•	•	•										
	Identificação e caracterização dos KPI					•	•									
	Análise, tratamento e integração de dados para análise						•	•	•	•						
Desenho do Sistema de Produção	Elaboração de cenários alternativos									•	•					
	Simulação de resultados										•	•	•			
Verificação e Validação da Proposta	Comparação de cenários alternativos												•	•	•	
	Apresentação da recomendação final														•	•

Figura 2 - Cronograma Inicial do Projeto

1.5 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, um dos quais sendo este capítulo introdutório. O seguinte capítulo apresenta o resultado da pesquisa sobre os temas e conceitos teóricos relativos ao projeto realizado. Ele serve de base a todo o raciocínio crítico formado sobre os tópicos e irá repercutir-se nos resultados apresentados. O terceiro capítulo elucida o leitor sobre o processo de fabrico de tintas, efetua-se uma caracterização da situação encontrada e dos problemas inerentes à mesma. Uma descrição dos principais KPI é ainda realizada para que mais tarde em conjunto com uma modelação de todo o processo produtivo na Nováqua, se possam desenvolver os cenários de potenciais mudanças. No quarto capítulo é descrito o funcionamento da ferramenta de planeamento da produção, a maneira como suporta o escalonamento e as suas limitações. No quinto capítulo são apresentados os cenários alternativos que foram elaborados a partir das restrições existentes e dos objetivos que se pretendia atingir. Finalmente, tendo em conta o juízo crítico presente no capítulo anterior, o capítulo seis apresenta as conclusões finais e aplicações futuras do trabalho desenvolvido ao longo do projeto.

2 Revisão do Estado da Arte

Desde a primeira revolução industrial que a Humanidade tem registado um crescimento cada vez mais acelerado, não só devido às inovações tecnológicas emergentes, mas também à mudança de paradigma que se vem instalando. A industrialização, urbanização, imigração e outras tendências semelhantes que surgiram nessa época exigiam do ser humano uma maior organização, um aumento da eficiência e melhoria genérica dos processos de produção, que naquela altura passavam a tomar dimensões colossais quando comparados com o período pré-revolução (Buenker, Burnham e Crunden, 1986).

Adam Smith, Frederick Taylor e Henry Gantt são exemplos de pioneiros do desenvolvimento de teorias e modelos que influenciariam a indústria, tornando-a no que é atualmente (Kumar e Suresh, 2008). Taylor conseguiu introduzir uma visão clara sobre a divisão de trabalho consoante as responsabilidades e cargos de cada indivíduo, assim como a aplicação da ciência no processo de seleção de operações a nível de gestão organizacional (Uddin e Hossain, 2015). Estas primeiras análises, ainda que um pouco abstraídas de algumas dimensões, como a humana, visto que o seu foco era a maximização do lucro, foram o pilar para a criação dos sistemas de planeamento e controlo de produção.

2.1 Planeamento, Escalonamento e Controlo de Produção

Estas três designações associadas à produção estão altamente interligadas entre si, sendo operações fulcrais para que o sistema produtivo funcione de forma eficiente. Será então importante compreender onde residem as desigualdades entre estas conceções.

2.1.1 Caracterização dos Conceitos

O planeamento caracteriza-se como sendo a fase que antecede as restantes. Segundo Shao, Li, Gao e Zhang (2009) esta é a etapa onde as matérias-primas ou componentes que serão integradas no processo de produção são especificados, assim como as operações necessárias para transformar tais elementos no produto final. A existência de um plano não equivale a uma garantia de que tal plano se irá cumprir algures no futuro; é puramente um manifesto da intenção de que tais expectativas se concretizem (Slack, Chambers e Johnston, 2002). O planeamento funciona como uma ponte entre a fase de conceção teórica do produto e a sua manufatura, daí a informação resultante ser fundamental para as etapas posteriores, podendo haver vários planos de produção o que aumenta a flexibilidade de decisões futuras. Shao *et al* (2009) declaram ainda que o escalonamento é o passo que conecta a preparação dos processos e a execução dos mesmos. O objetivo é escalonar as operações necessárias nas máquinas existentes, respeitando as relações de precedência especificadas pelo planeamento. Por fim, o controlo de produção está relacionado com a disponibilidade dos produtos no que diz respeito ao tempo, quantidade e local. Envolve também um sistema de tarefas, métodos e meios usados pela empresa de modo a manter a disponibilidade de acordo com as expectativas internas e externas (van der Bij e van Ekert, 1999). Estes autores defendem ainda que o controlo da produção está profundamente ligado ao controlo de qualidade, mas essa não será uma conexão analisada neste projeto.

De acordo com Akmal, Podgorodnichenko, Greatbanks, e Everett (2018), o planeamento e controlo de produção (PCP) tem sido nas últimas três décadas uma das fontes primárias para a publicação de artigos de pesquisa sobre gestão de operações, campo que inicialmente focava os seus interesses de uma forma praticamente unânime na produção, mas com o desenrolar dos tempos tem vindo a alargar o seu espectro e abrange também áreas de serviços, saúde, sem fins lucrativos, entre outros. Al-Tahat e Bataineh (2012) afirmam ainda que o PCP exerce um papel significativo em ambientes industriais competitivos, visto que permite atingir níveis de serviço mais elevados, alcançar melhores patamares de utilização de recursos e reduzir a perda de material.

2.1.2 Problemas e Desafios

A dificuldade relativa do planeamento e do controlo da produção entre operações está dependente de diferentes fatores. O planeamento encontra maiores dificuldades quando os trabalhos que manipula têm associado a si altos níveis de imprevisibilidade. No caso do controlo, existem mais obstáculos em situações de contacto mais profundo com os consumidores, devido não só à natureza instantânea dos procedimentos, mas também à variabilidade que os clientes possam forçar aos mesmos (Slack *et al*, 2002).

Em alguns ambientes mais tradicionais, existe uma falta de integração entre o planeamento e o escalonamento, dada a sua execução sequencial. Isto pode tornar-se um obstáculo à melhoria contínua, nomeadamente a melhoria da produtividade e da capacidade de resposta dos sistemas de fabrico. Para além destas afirmações, Shao *et al* (2009) enumeram ainda alguns problemas associados a esta disjunção. Os planos de produção são estáticos, consideram os recursos no chão de fábrica de uma maneira ideal, com capacidade ilimitada, que pode levar ao favorecimento dos mesmos recursos repetidamente. Esta carga desequilibrada gera assim *bottlenecks* desnecessários, que se traduz para gargalo de garrafa (i.e., centros de trabalho que limitam a taxa de produção, por terem o ritmo operacional mais baixo). Os resultados irrealistas de tais planos obrigam a mudanças posteriores, diminuindo a produtividade geral. Mesmo quando a consideração dos recursos é realista, o intervalo de tempo entre a criação do plano e a execução do mesmo pode levar a que algumas restrições iniciais se alterem, sendo necessário uma adaptação dos planos 20 a 30 por cento das vezes.

Para Shao *et al* (2009), um dos desafios a considerar tanto no planeamento como no escalonamento é a incorporação de mais do que um critério de otimização, a fim de obter uma maior concordância com o ambiente real de produção. Será também importante tentar atingir uma integração entre estes dois setores, pois muitas vezes os objetivos respetivos entram em conflito, visto que o planeamento da produção prioriza os requisitos tecnológicos de uma tarefa enquanto o escalonamento lida com os aspetos temporais. Liu, Li, Yang, Wan e Uzsoy (2011) alegam ainda que, para um certo plano de produção, o custo total incorrido durante o horizonte de planeamento corresponde a uma variável aleatória. Assim, os gestores deverão avaliar tais planos através de uma distribuição do custo, considerando principalmente a média (estimativa da magnitude total do custo) e a variância da distribuição (medida representativa do risco associado). O custo total depende do desempenho do fabrico no horizonte considerado, ou seja, da quantidade de produtos acabados e do WIP. Tal como os trabalhos em teoria de filas iniciados por Agner Erlang sugerem (Kingman, 2009), existem variabilidades no sistema que levam a que os processos fabris sejam considerados estocásticos, cuja distribuição evolui ao longo do tempo e está dependente do WIP e dos níveis de inventário no início do horizonte de planeamento. Assim, a complexidade em quantificar a dependência da média e da variância do custo total relativamente a um determinado plano, constitui mais uma dificuldade na fase de planeamento da produção.

2.2 Esqueleto dos Sistemas de PCP

O planeamento da produção é algo complexo, que envolve a gestão da capacidade da empresa e da procura existente. Num ambiente industrial, isto leva a uma tentativa de utilização e alocação eficiente dos recursos existentes, a fim de transformar as matérias de *input* em produtos finais que proporcionem uma oportunidade de lucro ou de satisfação a algum nível (Belil, Nikolay e Sylverin, 2019).

O controlo da produção pode também ser visto como qualquer ação ou processo colocado propositadamente em prática que organiza a produção. Implica um esquema metódico para quando, o quê, como, quem e porquê, ao qual se acrescenta meios de disseminar a informação de controlo, de monitorizar o desempenho e ajustar o processo produtivo consoante as análises

levadas a cabo (Koenigsberg e McKay, 2010). A complexidade destes sistemas é ainda constatada por estes autores, quando mencionam o escalonamento da produção, controlo de inventário, sistemas de execução no chão de fábrica, sistemas de gestão da cadeia de abastecimento, MRP, ERP, entre outros, como seus componentes.

Os objetivos máximos de ambas as funções acima mencionadas passam por reduzir o WIP, minimizar os tempos de processamento dos produtos (*throughput time*) assim como os tempos que a unidade produtiva leva para transformar a matéria-prima em produto acabado, ou seja, o tempo de execução (*lead time*), descer os custos de posse de inventário (*stockholding costs*), melhorar a capacidade de resposta a alterações na procura e evitar incorrer em atrasos de entregas (Stevenson, Hendry e Kingsman, 2005). Por conseguinte, será frutífero detalhar a constituição e pertinência dos sistemas PCP.

2.2.1 Horizontes de Planeamento

A procura é algo flutuante, dado que as intenções de compra dos clientes variam ao longo do ano, o que demonstra que a procura pode apresentar uma componente sazonal. Assim sendo, o planeamento da produção deverá ter em conta diversos horizontes temporais a fim de diminuir erros de previsão. Pelo trabalho de Belil *et al* (2019) é possível constatar que estes horizontes se associam a modelos de previsão que podem ser: estratégicos, táticos e operacionais.

O modelo estratégico, com aplicação a longo prazo, engloba variáveis de alteração mais complexa, ou com maiores custos/risco, como determinar qual o *layout* das fábricas, o propósito de cada uma, compreender as suas limitações e características. Slack *et al* (2002) indicam que são usadas previsões da procura esperada em termos agregados com o objetivo de estimar a necessidade agregada de recursos. Os objetivos que guiam as decisões dos gestores neste estágio da produção são maioritariamente financeiros.

O modelo tático representa a integração do modelo estratégico com as ferramentas de planeamento e gestão, dando origem a um MPS, que tem como objetivo a satisfação da procura mantendo o menor nível de custos possível. Neste modelo, faz-se ainda a gestão de recursos integrando o MPS com os recursos existentes, dando origem a um MRP. Slack *et al* (2002) referem que algum replaneamento pode ser necessário, dada a necessidade de entrar num nível de detalhe superior ao do modelo estratégico. A procura começa a ser avaliada de uma maneira parcialmente desagregada, assim como a gestão dos recursos. Alguns planos contingenciais podem também ser desenvolvidos, com o propósito de criar recursos de “reserva” que permitam a existência de ligeiros desvios dos planos, quando se voltar a analisar no curto prazo.

Finalmente, quando se considera horizontes mais curtos, estamos perante um modelo operacional que orienta a produção diária e as atividades associadas, tal como a distribuição. Slack *et al* (2002) constata que nesta fase praticamente todos os recursos estão definidos, e alterações profundas são complicadas de incorporar, apesar de serem possíveis. A procura é considerada de uma forma real e completamente desagregada, o que leva a que pequenas intervenções nos recursos aconteçam para que se corrijam desvios dos planos, tentando manter um equilíbrio entre a qualidade, a rapidez, a fiabilidade, a flexibilidade e os custos adjuntos a cada caso específico. No curto prazo, a gestão destes objetivos pode ser complexa, mas as decisões são tomadas com base numa compreensão geral dos mesmos.

2.2.2 Capacidade dos Centros de Trabalho

Cada centro de trabalho – local fabril onde as tarefas integrantes de um processo produtivo são efetuadas – possui uma determinada capacidade. De acordo com Slack *et al* (2002) esta capacidade é estimada de acordo com certas restrições pré-determinadas. Uma máquina, por norma, não trabalha a tempo inteiro (como é o caso de fins de semana ou feriados), e assim sendo esse tempo deve ser desconsiderado. Existem também outras operações inerentes ao uso

de máquinas no processo fabril que reduzem o tempo disponível, como é o exemplo de tempos de *set-up* exigidos pela troca de ferramentas, ou mesmo limpeza de equipamento. Outras informações legítimas que possam existir sobre intervalos de tempo dedutíveis à disponibilidade do recurso devem ser consideradas, com o propósito de tornar os planos de produção mais próximos da realidade.

Slack *et al* (2002) apresentam dois níveis de capacidade: finita e infinita. A capacidade finita indica que apenas pode ser alocado, a um centro de trabalho, uma carga com limite estabelecido. Este limite assume um valor estimado com base nos registos de tempos disponíveis para operação. Qualquer trabalho que seja alocado, nomeadamente durante a fase de planeamento, que ultrapasse este limite de capacidade, não será aceite. Por outro lado, a capacidade infinita não impõe limite à alocação de carga num determinado centro de trabalho. A atribuição de uma capacidade a um centro de trabalho fica a cargo do gestor, pois no caso da capacidade ser finita, as restrições impostas acarretam cálculos complexos. Este esforço adicional e a capacidade computacional requerida, batalham com a simplicidade do modelo, tornando-se um *trade-off* que requer atenção por parte dos gestores.

2.2.3 Sequenciamento e Regras de Sequenciamento

Denomina-se de sequenciamento o conjunto de decisões tomadas acerca da ordem em que as tarefas devem ser realizadas. Associadas a esta ordem existem regras, que suportam a determinação da sequência de fabricos. Dependendo da situação ou da necessidade, podem ser aplicadas diferentes regras, com diferentes graus de complexidade (Slack *et al*, 2002).

Existem diversos tipos de restrições; no entanto, é possível agrupar uma grande maioria em determinadas categorias. Restrições físicas englobam a natureza física dos materiais (e.g. fabrico de tintas de tonalidades diferentes), a natureza física dos equipamentos (e.g. troca eficiente de ferramenta) e combinações de trabalhos que tenham como intuito a redução de desperdícios (Slack *et al*, 2002). Slack *et al* (2002) estão em concordância com Kumar e Suresh (2008) no que diz respeito à existência de certas classes de regras de sequenciamento. A prioridade ao consumidor é uma regra que se traduz num especial tratamento de consumidores importantes, o que pode levar não só à falta de eficiência do fabrico, mas também acaba por prejudicar o serviço para os restantes clientes. Reger as prioridades pela data prometida irá melhorar a confiabilidade da entrega proporcionando simultaneamente uma maior flexibilidade do sistema para reagir a novos pedidos urgentes. Uma regra genericamente aceite e vista como uma forma justa de sequenciamento é o FIFO, onde os primeiros pedidos a chegar são os primeiros a ser produzidos. Outras regras existentes, que também se podem aplicar a certos tipos de indústria, passam pela priorização das operações menos demoradas, priorização das operações mais demoradas, consideração da folga da operação ou simplesmente uma seleção aleatória; ainda assim, existem dezenas de regras de sequenciamento para um único recurso.

2.2.4 Variantes de Programação

Após se encontrar definida a sequência pela qual os fabricos se irão executar, é necessário realizar a programação. Usualmente, acontece através do recurso a um cronograma Gantt que demonstra quando cada tarefa se inicia e termina. Os programadores gerem diferentes tipos de recursos, máquinas com diferentes capacidades e pessoal com capacidades distintas em simultâneo. Esta tarefa é umas das mais complexas na gestão de produção, dada a vasta gama de roteiros que se podem associar a uma sequência de operações (Slack *et al*, 2002).

Kumar e Suresh (2008) e Slack *et al* (2002) constataam a existência de dois principais tipos de programação: para a frente e para trás. A programação para a frente determina o posicionamento temporal de cada tarefa, alocando cada uma o mais cedo possível. Seguindo esta filosofia, os fabricos estarão usualmente finalizados antes da data limite. Este método é útil para indústrias que exijam tempos de processamento curtos, e destaca-se também pela sua simplicidade e flexibilidade para adaptação a novas operações inesperadas. A grande desvantagem reside nos altos custos de posse de inventário que pode gerar. Zhang, Wang, Jin e Lu (2019) apresentam ainda um modelo pormenorizado de horizonte deslizante. O horizonte temporal é decomposto em períodos, que iterativamente vão sendo alocados com um plano otimizado para cada um deles. O algoritmo pode ser melhor compreendido pela figura 3.

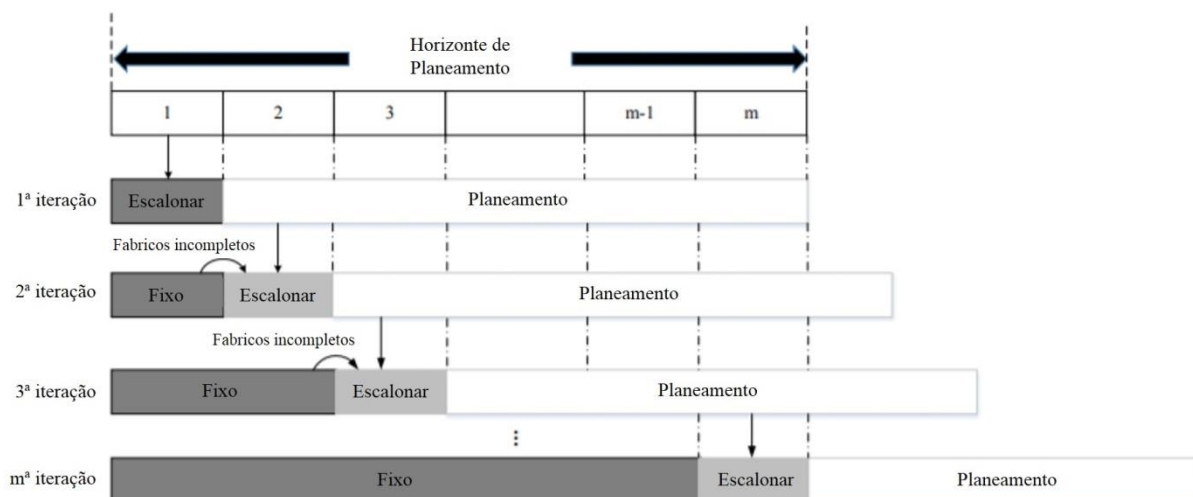


Figura 3 - Modelo de Horizonte Deslizante (Zhang *et al*, 2019)

Por outro lado, a programação para trás irá alocar cada operação a um intervalo de tempo que seja exatamente anterior ao momento da entrega. Este método segue o ideal de JIT, permitindo a redução de inventário, pois os produtos intermédios vão sendo produzidos apenas quando são precisos, sendo que as paragens originadas por *bottlenecks* são bem menores com este tipo de programação. Com frequência é usado em indústria de assemblagem e permite ainda o compromisso com datas específicas de entrega.

2.2.5 Consideração da Incerteza

Incerteza é a diferença entre a quantidade de informação necessária para executar uma tarefa e a informação que está disponível na prática (Belil *et al*, 2019). Existem dois tipos de incerteza inerentes a qualquer plano de produção: a oscilação na procura pelos produtos e a variação associada aos trabalhos fabris, como falhas aleatórias das máquinas (Cheng, 1987).

Os planos de produção que incorporam a incerteza associada ao negócio e aquela que pode surgir nas suas próprias instalações exibem uma vantagem sobre aqueles que apenas se comprometem a aumentar o índice de utilização dos recursos a fim de aumentar o rendimento. Isto acontece dada a sua maior flexibilidade para serem ajustados a alterações no mercado e problemas imprevistos na fábrica (Sun, Huang, Chen, Wang, Zeng, Yuan, Pong e Qu, 2019).

De acordo com Belil *et al* (2019) a incorporação de incertezas num determinado modelo, gera por norma um conjunto de decisões mais refinadas, mas para que tal aconteça é crucial compreender quais as considerações fundamentais a ter. Uma delas é a determinação da representação apropriada dos parâmetros de incerteza. A abordagem baseada na previsão de

potenciais cenários demonstra-se útil nesta explicação. Conjeturar uma coleção de cenários finita, prevê consequentemente a determinação dos valores de cada variável de incerteza para cada situação. Nas situações em que é impossível extrapolar um conjunto discreto de cenários, a solução passa por assumir uma distribuição de probabilidades ajustada à série contínua de potenciais cenários.

Segundo Sun *et al* (2019) existe um conjunto de três tarefas que garante um plano de produção robusto face às incertezas, e também rentável. A primeira relaciona-se diretamente com os modelos de longo prazo, e baseia-se na alocação de recursos e atribuição das tarefas de produção, a base para o planeamento da produção. A segunda tarefa cabe ao departamento de planeamento e aos gerentes das fábricas, e passa pela comparação dos diferentes planos de produção em níveis diferentes de detalhe. Esta é uma tarefa feita com regularidade com o propósito de obter um plano que se aproxime o máximo possível ao objetivo da empresa, estando dependente das condições específicas daquele momento. Por fim, a terceira tarefa associa-se à incerteza na oferta, produção e procura. Cada empresa tem as suas prioridades relativas a encomendas e fabricos associados, e deste modo, cada vez que um incidente inesperado surge o plano de produção tem que ser revisto e um ajuste estratégico terá que ser definido.

2.3 Sistemas de Gestão de Produção

No cenário industrial atual, os sistemas de gestão de produção são uma peça fundamental para um funcionamento sereno da atividade empresarial. No entanto, a realidade era bem diferente antes da incorporação destas ferramentas, nomeadamente o suporte computacional. A produção e o inventário eram geridos com recurso a métodos como o *reorder point* ou a *economic order quantity* (Karmarkar, 1989). O MRP começou a surgir em 1964 pela mão de Joseph Orlicky, como uma resposta ao TPS. No mesmo ano a Black & Decker tornou-se a primeira empresa a implementá-lo (Orlicky, 1975). O MRP foi descrito como contendo procedimentos logicamente relacionados, regras de decisão, a capacidade de transformar um MPS em requisitos líquidos faseados, e a cobertura planeada de cada requisito, para cada um dos componentes necessários para implementar o MPS (Plossl, 1994). Na década de 70 surge o sistema MRP II como uma expansão do MRP (Landvater e Gray, 1989). Este novo sistema foi desenvolvido por Oliver Wight, que visava integrar a informação e a tecnologia usada no fabrico, assim como planos e recursos que melhoram a eficiência da produção da empresa ao antigo MRP (Koh and Simpson, 2005). Expandiu-se assim o âmbito do sistema inicial, que se focava apenas em planeamento de materiais, gestão de inventário e ordens de compra. Por fim, durante os anos 90, deu-se a integração do planeamento e gestão de todos os recursos pertencentes ao portfólio da empresa, dando origem ao sistema ERP (Powell, 2013). Este sistema passa a ser mais escalável quer a nível de *hardware* como a nível da modularidade do *software*.

2.3.1 Master Production Schedule (MPS)

Como mencionado anteriormente, o planeamento organiza-se em três níveis. O nível intermédio, também designado de médio-prazo, lida com horizontes de meses. Este sistema de escalonamento de produção considera estes horizontes com unidades semanais na sua programação. O MPS funciona com um desdobramento do planeamento agregado, respeitando os seus limites, mas ainda assim garantindo uma flexibilidade que permita à empresa lidar com eventuais problemas que possam ocorrer (Novak, 2006). Este sistema revela-se bastante útil na sequência do planeamento agregado fornecendo informação relativa a quantidades previstas de produtos finais, com base em previsões de vendas (Salvendy, 2001). Com uma noção geral de quais as necessidades agregadas existentes, torna-se mais simples estabelecer qual a quantidade de operações a planear que melhor estabelece o equilíbrio entre as necessidades do mercado e a capacidade da empresa a nível de matérias (que irá servir de *input* para o MRP) e recursos.

Acaba por ser também uma fonte de informação para outros departamentos da empresa, como o de *marketing*, o financeiro, o de recursos humanos, entre outros, facilitando a gestão de necessidades da empresa (Kumar e Suresh, 2008). O MPS pode seguir duas principais estratégias relativas à procura esperada. A procura assume um caráter flutuante e por vezes sazonal, e desta forma o sistema pode decidir acompanhar a procura ou nivelar a produção. A primeira opção requer uma maior flexibilidade e capacidade de adaptação por parte da empresa, enquanto que a alternativa, apesar de suavizar o fluxo de trabalho, gera uma quantidade maior de inventário acarretando custos de posse (Slack *et al*, 2002).

2.3.2 *Material Requirements Planning (MRP)*

Este sistema de planeamento de necessidades de materiais surgiu durante os anos 60 dada a oportunidade de aplicar poder computacional à gestão da produção e de inventário. O grande desafio presente nos fabricos reflete-se na coordenação de fluxos complexos de matérias envolvidas na produção e montagem de produtos com extensas *bills of materials* (BOM) (Salvendy, 2001). Com base nos pedidos recebidos e na previsão de vendas, o principal objetivo do MRP será verificar quais os componentes necessários para completar tais pedidos, assegurando que estão disponíveis nas datas requeridas (Slack *et al*, 2002).

A incorporação de um algoritmo que apoie a atividade de uma empresa acarreta custos e esforços para que a implementação seja bem-sucedida. De modo a balancear a situação, o MRP apresenta algumas vantagens para a atividade geral da empresa. Kumar e Suresh (2008) salientam que a integração deste sistema permite reduzir níveis de inventários, reduzir o tempo de processamento e de execução (as ações inerentes a este sistema repercutem-se numa diminuição de atrasos da ociosidade geral), estabelecer compromissos realistas com os clientes e com os restantes departamentos da empresa, e por fim torna-se possível aumentar a eficiência da empresa (dada a coordenação criada entre os centros de trabalho, que dá origem a um fluxo de produção mais suave).

Para que o algoritmo associado ao MRP possa correr e devolver as informações necessárias, o sistema requer trabalho prévio. Tendo sido mencionado anteriormente, o MPS é uma das fontes de informação para o MRP, de modo que este consiga compreender qual a magnitude da previsão da procura associada a cada período. O segundo precedente para o MRP é a lista de componentes que constituem o produto final, a quantidade respetiva de cada um na devida etapa e a ordem de montagem, sendo conhecida por BOM. Por fim, o MRP requer informação sobre o nível de inventário de cada matéria/componente, e para aquelas que possuem encomendas pendentes a fornecedores, inclui a informação sobre a data de chegada. Estes *inputs* são essenciais para o MRP, visto que o propósito deste se torna obsoleto – atingir um fluxo de trabalho JIT - caso os desvios para a realidade sejam consideráveis (Salvendy, 2001). Para além de receber e processar informação, o MRP transmite quais as recomendações para o período considerado na forma de ordens de compra de materiais, e plano escalonado da incorporação desses componentes na forma de ordens de fabrico (Slack *et al*, 2002).

Apesar da sua utilidade, o MRP apresenta algumas falhas fundamentais que limitam o seu potencial enquanto sistema de PCP. A primeira falha reside na consideração dos tempos de execução constantes, e dependentes apenas do tipo de produto. O recurso a um valor esperado e variância seria mais apropriado para a representação de cenários reais. Para além disto, é importante considerar que o tempo de execução depende também de outras variáveis (e.g. o nível de utilização da fábrica, no sentido de criação de congestionamento), e a desconsideração destas influências pode levar a que sejam emitidas ordens de fabrico impossíveis de cumprir dentro do prazo estipulado (Salvendy, 2001). Por fim, a maior desvantagem do MRP reside na suposição de que a capacidade do sistema considerado é infinita, que acaba por levar ao desenvolvimento de planos de produção irrealistas (Na, Lee e Park, 2008).

2.3.3 *Manufacturing Resource Planning (MRP II)*

O MRP II surgiu como uma evolução do sistema MRP, recorrendo ao suporte computacional para melhorar o processo de encomenda de materiais e os métodos de controlo de inventário. Permitiu aumentar assim a velocidade e a precisão no processamento e transporte de matérias-primas para os respetivos centros de trabalho (Salvendy, 2001). Para além das melhorias no núcleo, o MRP II estendeu-se para outras áreas da empresa (i.e., fabrico, marketing, finanças e engenharia), caracterizando-se como um plano global para o planeamento e controlo dos recursos da empresa. A integração destes setores da empresa neste sistema permite obter não só uma melhor coordenação dos fluxos de informação interna, mas ainda uma manutenção mais simplificada da mesma, agregando tudo numa única base de dados que pode ser acedida e utilizada por todos os empregados. Para além desta necessidade das tecnologias de informação que efetuam a integração dos sistemas, o MRP II encontra-se ainda dependente da capacidade humana de tomada de decisão para concluir o ciclo (Slack *et al*, 2002). Tal como o seu antecessor (i.e., MRP), o MRP II não assumia limites para variáveis que tradicionalmente condicionam as operações de fabrico (e.g. prioridade de clientes, WIP, etc.). Surgiu então a necessidade de modelos computacionais que representassem ambientes realistas que incluíssem estas restrições, para que as empresas pudessem atingir um melhor equilíbrio entre a oferta planeada com base nos modelos e a verdadeira procura existente no mercado (Salvendy, 2001).

2.3.4 *Enterprise Resource Planning (ERP)*

No início dos anos 90 surgem os primeiros sistemas ERP, cujo propósito era providenciar uma solução integrada para a crescente complexidade das atividades industriais, ajudando deste modo as empresas a criar uma posição sustentável dentro do dinâmico mundo de negócios. A solução integrada engloba tanto atividades principais (e.g. planeamento, compras, logística, distribuição e vendas) como atividades secundárias (e.g. marketing, finanças, contabilidade e recursos humanos) (Motiwalla e Thompson, 2012). O ERP serve como ponto de encontro para as bases de dados e as decisões de todos os setores da empresa, o que leva a que as consequências das ações levadas a cabo se reflitam nos restantes PCP da empresa (Slack *et al*, 2002).

Segundo Motiwalla e Thompson (2012) a incorporação do sistema ERP promove bastantes melhorias no cenário geral da empresa, o que implica que os interesses de diferentes corporações ao adotar este sistema não sejam coincidentes. Um dos objetivos passa por tornar o fluxo de informação mais dinâmico e imediato, a fim de aumentar a utilidade e o valor da informação. A conjugação das várias bases de dados da empresa leva a que se diminua consideravelmente a redundância de informação, ao mesmo tempo que concede maior flexibilidade. Outras razões que também levam as empresas a incorporar estes sistemas centrais traduzem-se no desejo de aumentar a eficiência da cadeia de abastecimento, melhorar o acesso dos clientes aos produtos e serviços, reduzir os custos operacionais, refinar a capacidade de resposta às mudanças do mercado e extrair informação útil sobre a empresa a partir dos dados.

A força do ERP reside na integração das bases de dados, no entanto, esta pode ser impraticável para algumas empresas que tentem estabelecer a ponte entre o novo ERP e SI obsoletos que ainda sejam utilizados. A sua implementação nem sempre é bem-sucedida, podendo acabar por se tornar bastante cara para a empresa (Slack *et al*, 2002). A importância de compreender a tecnologia do ERP e o seu processo de implementação são de extrema importância para o seu êxito no longo-prazo. Empresas que adaptem o ERP especificamente às suas necessidades podem encontrar alguns contratempos ao tentar acompanhar as atualizações, quer do ponto de vista financeiro, quer do ponto de vista competitivo, pois cada nova melhoria no sistema base requer uma nova adaptação para as necessidades da empresa. Por outro lado, corporações que prefiram a estratégia de se adaptarem ao ERP, o que pode originar alguma resistência por parte

dos utilizadores, assim como custos adicionais destinados à formação dos mesmos. Atingir um equilíbrio que favoreça a empresa é crucial, para que possa extrair o máximo proveito do sistema ERP (Motiwalla e Thompson, 2012). Outro desafio que se prevê no futuro destes sistemas, centra-se nas mudanças drásticas que o mercado possa sofrer. Cada sistema é desenhado para responder às necessidades de um mercado, e tentar adaptar um sistema complexo para continuar a servir a empresa da melhor forma, pode ser uma enorme barreira para os construtores do *software*. Esta situação representa também uma oportunidade para a criação de sistemas ERP que sejam flexíveis o suficiente para se adaptarem rápida e facilmente a mudanças inesperadas (Salvendy, 2001).

A arquitetura de um sistema ERP depende usualmente do fornecedor. Cada um desenvolve a sua visão de como o sistema melhor serve uma empresa num determinado setor, através de certos processos representados pela lógica ERP. Empresas que pretendem ajustar-se ao ERP tendem a ignorar a arquitetura, passando diretamente para a sua implementação. Esta ação pode causar consequências negativas para a manutenção a longo-prazo do *software* (Motiwalla e Thompson, 2012). No entanto, a estrutura de um sistema ERP não tem que ser semelhante para todas as empresas que o adquirem. Algumas médias-empresas começam a ver a necessidade da inclusão de um sistema centralizado a fim de obter alguma superioridade ou vantagem sobre a concorrência. Isto levou a que os fornecedores de sistemas ERP seguissem uma estratégia de venda incrementais do ERP fragmentado (i.e., por módulos). Existe uma interface virtual em que cada módulo adquirido pode ser acoplado, e assim organizações mais pequenas podem usufruir deste sistema sem comprometer as suas finanças (Salvendy, 2001).

2.3.5 *Manufacturing Execution Systems (MES)*

Da mesma forma que os sistemas ERP, nos anos 90 emergiu uma nova categoria de sistemas de *software* com o intuito de automatizar e consolidar diversas funções envolvidas com a gestão e as operações de uma fábrica. Estes sistemas designam-se por MÊS, sendo uma coleção de componentes de *hardware* e *software* que permitem uma melhor gestão das atividades de produção, desde o lançamento da OF até ao produto acabado. Tal acontece porque um MÊS mantém dados atuais e precisos relacionados com as ações que decorrem simultaneamente, na fábrica. Todo este controlo em tempo real das operações, ao longo da fábrica, permite que os dados extraídos se transformem em informação que é utilizada nos processos de apoio à decisão em toda a empresa (Salvendy, 2001).

Com a eclosão da indústria 4.0, vários equipamentos (nomeadamente sensores) foram concebidos com o intuito de se integrarem nas máquinas e outros recursos usados na produção para registarem o estado do equipamento, a qualidade dos produtos fabricados, e fazerem o acompanhamento em tempo real do processo produtivo. Esta disponibilidade de *big data* permite a criação de novas oportunidades para identificação de *bottlenecks* e também gerar planos de produção mais eficazes (Sun *et al*, 2019).

De acordo com Ribeiro, Barata e Colombo (2009), à medida que a concorrência no mercado aumenta, maior é o esforço que as empresas empregam em encontrar dinâmicas organizacionais mais eficientes que lhes permitam responder às pressões socioeconómicas. Uma cadeia de abastecimento competitiva e ágil é uma oportunidade singular para que pequenas e médias empresas se possam focar nas suas competências fundamentais, entrando em mercados que de outra forma seriam inatingíveis. O MES tem impacto direto nas decisões tomadas sobre o desempenho da cadeia de abastecimento, através do fornecimento dos dados recolhidos no chão de fábrica durante o período de atividade.

2.3.6 Advanced Planning and Scheduling (APS)

Os sistemas APS foram desenvolvidos com o objetivo de colmatar a ausência de atenção necessária na área do planeamento, por parte dos sistemas ERP. Baseados nos princípios do planeamento hierárquico, e recorrendo extensivamente a programação matemática e meta-heurísticas, os sistemas APS têm como principal foco o acompanhamento do fluxo de materiais ao longo da cadeia de abastecimento e noutras funções, tais como compras, produção, transporte, distribuição e vendas, como se pode observar na figura 4 (Stadtler, 2005). A combinação da tecnologia dos sistemas APS com os sistemas ERP pode trazer diversas vantagens, para além de conseguir efetuar uma previsão realista dos momentos de realização das atividades planeadas. Tais benefícios incluem o desenvolvimento de melhores relações com os clientes, aumento do número de encomendas entregues dentro dos prazos, redução os níveis de expedição, horas extra e inventário, e melhorias ao nível do rendimento e do lucro (Musselman, O'Reilly e Duket, 2002).

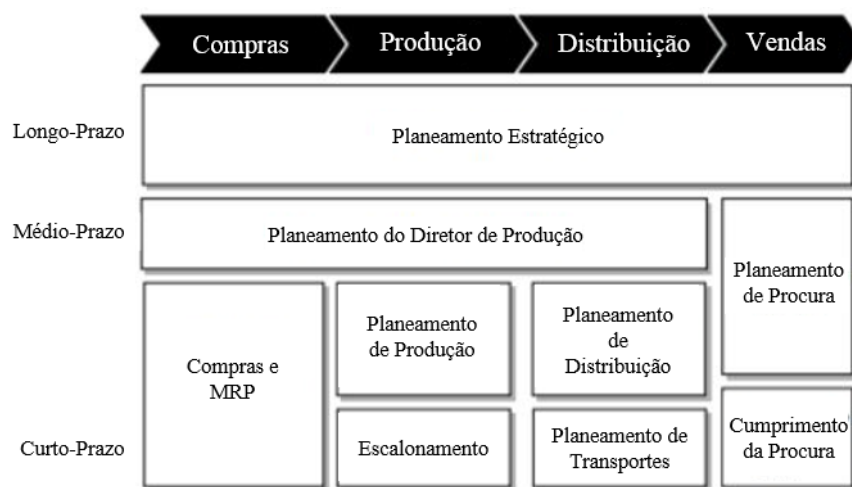


Figura 4 - Estrutura de um Sistema APS (Stadtler, 2005)

A grande vantagem que se exalta nos sistemas APS, quando comparados com abordagens tradicionais, é a consideração simultânea dos materiais e da capacidade como elementos que podem impor restrições na produção. Isto garante que o plano de materiais é concebido de acordo com a disponibilidade da empresa a nível da capacidade dos seus recursos (e.g. máquinas), da mesma forma que a disponibilidade dos recursos vai ao encontro do plano de matérias através das BOM. Este aspeto contrasta com o convencional sistema MRP, cuja abordagem baseava-se na realização independente destas duas tarefas. Deste modo, é passível afirmar que a complexidade computacional das tarefas levadas a cabo pelos sistemas APS é portentosa, e a fim de se tornarem mais eficientes, estes sistemas não vão ao encontro de planos que otimizem o cenário considerado. Eles procuram principalmente determinar se no momento em que uma OF é lançada, a mesma pode ser finalizada antes do prazo estabelecido, ou se tal não for possível, qual a data mais próxima desse momento em que a ordem fica completa. Existe ainda a necessidade de efetuar periodicamente uma ressinchronização completa do plano, com o intuito de melhorar a utilização de recursos e os planos de materiais (Salvendy, 2001).

Na sua forma mais pura, os sistemas APS possuem três principais processos: planeamento avançado, escalonamento avançado e compromisso com datas de entregas. O planeamento avançado tem como objetivo a sincronização das materiais e recursos limitados com a procura independente (encomendas, previsão de vendas, MPS, encomendas de outras fábricas, níveis de inventário de segurança, etc.). Desta forma, será criado um plano que permita incorporar todos os recursos necessários (máquinas, ferramentas, etc.) com folga operacional suficiente

que possibilite o repetir o sequenciamento das OF's, com a finalidade de aumentar a eficiência da produção. O horizonte das operações consideradas pelo sistema APS é semelhante ao de outras ferramentas, podendo ir de várias semanas a meses. O escalonamento avançado coloca uma grande ênfase no sequenciamento das operações, tendo em conta restrições mais refinadas que aquelas consideradas no plano inicial. Este processo não é completamente obrigatório, visto que serve como uma ajuda ao planeamento no sentido de comunicar o quê e quando deve ocorrer cada operação no chão de fábrica. Este escalonamento é realizado não só para aumentar as taxas de produção de certos centros de trabalho, mas também fornece ao planeador uma visão discriminada e detalhada de como irão ocorrer as operações. Os seus horizontes, por norma, são curtos, mas podem alongar-se para conseguir apoiar as necessidades do planeamento avançado. Por fim, o compromisso para com os prazos de entrega revela-se uma mais-valia dos sistemas APS. Dados os avanços na tecnologia, a velocidade de execução destes sistemas é bastante superior às dos sistemas antigos (e.g. MRP), sendo que os dados podem ser extraídos para servidores dedicados, em tempo real. Desta forma, as empresas conseguem ter uma melhor perceção do possível estado do chão de fábrica num futuro próximo, e também simular diversos cenários numa tentativa de melhorar o plano (Salvendy, 2001).

Os sistemas APS, apesar de serem um útil complemento aos sistemas ERP, possuem algumas deficiências. Tais desafios constituem oportunidades de pesquisa na busca de melhoria. Podemos dividir esses campos de pesquisa em três: atingir uma melhor harmonia entre os módulos do sistema APS (modelos de previsão no planeamento da procura, planeamento geral, planeamento de produção, escalonamento, compras, MRP e cumprimento da procura), tarefas de planeamento e tomadas de decisão; as premissas dos sistemas APS, como planeamento orientado para períodos de tempo, a consideração da incerteza no planeamento e nos níveis de inventário de segurança e ainda a aplicabilidade dos princípios de planeamento hierárquico numa cadeia de abastecimento interorganizacional; a insuficiência de conexões entre o sistema APS e o controlo em tempo real do chão de fábrica (Stadtler, 2005).

2.4 Modelação de Processos

Diversos setores da indústria lidam com consideráveis quantidades de variabilidade e incerteza nos seus processos, estando também sujeitos a inúmeras interferências, quer endógenas ou exógenas. O nível de exigência de certas empresas é bastante alto, e a gestão de uma organização não é fácil quando existem fatores como os supramencionados. De tal forma, os gestores recorrem a modelos que os possam ajudar a incorporar o ambiente fabril nas suas decisões. Estes modelos incluem os pedidos executados por clientes, os recursos que a fábrica possui (e.g. máquinas, pessoas) e as suas características específicas, e elementos associados à manutenção de equipamentos (não só o tempo médio entre falhas, mas também os tempos médios de reparação). Ao ter em conta todos estes aspetos, os modelos resultantes servem de enorme apoio aos gestores, os quais se dedicam a reduzir os impactos negativos das incertezas e das variabilidades. (Salvendy, 2001)

Salvendy (2001) apresenta uma abordagem simples no que diz respeito ao desenvolvimento do modelo. O primeiro passo consiste em identificar os problemas pertinentes, ou seja, o que deu origem à necessidade de ser criado o modelo. De seguida, é importante que o programador desenvolva alguma noção sobre os constituintes do modelo (i.e., os recursos e as suas características, matérias presentes nos processos, locais de armazenagem, como é efetuada a recolha de dados, sistemas de controlo, etc.). Dependendo do tempo e orçamento que dispuser, o programador decidirá que tipo de modelação seguir. Os principais géneros de modelo existentes são: modelos físicos, modelos de simulação, modelos analíticos, entre outros. Nem sempre é possível obter toda a informação necessária a fim de erigir um modelo que seja completamente realista, o que obriga o programador a, após desenvolver o núcleo do modelo, testar os seus principais parâmetros e posteriormente sintonizá-los sujeitos às limitações.

Durante este processo é importante efetuar um *trade-off* entre complexidade e simplicidade do modelo, garantir que o modelo é flexível o suficiente para ser alterado em situações que o exijam, deixar transparente para os utilizadores aquilo que o modelo assume como um dogma e garantir que o composto funciona de forma eficiente. Por fim, após o programador elaborar também uma interface para o utilizador, dá-se início à validação do modelo. Depois de elaborada a estrutura principal, são extraídos resultados do modelo que serão analisados a fim de garantir não só os pressupostos utilizados no seu desenvolvimento, mas também a representação correta do cenário real. Posteriormente a esta análise, serão explorados os impactos das alterações nos parâmetros do modelo para que se percecione quais os fatores que influenciam o desempenho do sistema. O facto de um modelo poder demonstrar o porquê e como é que um sistema se comporta, é muitas vezes a razão para o desenvolvimento de um modelo. Possibilita a formação dos seus utilizadores, e também que estes o usem ou como apoio na melhoria do sistema real, ou como gerador de cenários na busca de otimizar as operações abrangidas, ou ainda como um sólido auxiliar no processo de tomada de decisão.

3 Caracterização do Processo Produtivo

A tinta faz parte da história da Humanidade há cerca de 25.000 anos. Muitos destes artistas da era do Paleolítico usavam pigmentos à base de óxido de manganês e óxido de ferro. Desde então vários povos contribuíram para a sua evolução, como o caso dos egípcios, que desenvolveram o primeiro pigmento sintético há cerca de 5.000 anos atrás, designado de azul egípcio (Lambourne e Strivens, 1999). Atualmente, uma tinta é definida como sendo uma “composição pigmentada líquida, pastosa ou sólida que quando é aplicada em camada fina sobre uma superfície apropriada, no estado em que é fornecida ou após a diluição, dispersão em produtos voláteis ou fusão, é convertível ao fim de certo tempo numa película sólida, corada e opaca” (Matos, 2016).

3.1 Constituintes da Tinta

Dependendo do objetivo ou local de aplicação da tinta, existem certas exigências que têm de ser cumpridas, como resistência ao ambiente envolvente, considerações ambientais, entre outras. A fim de poder garantir estes requisitos, o fabrico da tinta envolve mais do que a essencial matéria colorida. Os seus principais constituintes, para além dos pigmentos, são as resinas, as cargas, os solventes, os diluentes e os aditivos. Estes componentes são interdependentes pois a sua atuação deriva da conjugação com os restantes elementos da mistura. A sua incorporação tem como objetivo o melhoramento das características físico-químicas, para que não só satisfaça as necessidades do cliente, mas também melhore o processo de produção.

Os pigmentos são substâncias sólidas orgânicas ou inorgânicas, de pequena dimensão, que dificilmente se dissolvem no veículo. Assim sendo, são usados para garantir à tinta a cor desejada, opacidade e outras características. A sua função estética alcança-se através da combinação dos efeitos de absorção (define a cor do produto) e difração (define a opacidade do produto) da luz.

A resina, também conhecida como o veículo fixo ou ligante, serve como uma matriz onde os restantes constituintes se agregam. É responsável pela formação da película sólida quando a tinta é aplicada, e ainda por fornecer algumas características mecânicas, resistência à radiação UV, entre outras.

As cargas são, tal como os pigmentos, pequenas partículas, mas com fraco poder de cobertura e insolúveis nos veículos. Garantem propriedades à tinta como brilho, resistividade química, viscosidade, entre outras.

Os solventes são líquidos voláteis, em condições regulares de temperatura e pressão, que têm a aptidão para dissolver o veículo fixo. Influenciam algumas características do produto final, como é o caso da estabilidade e aplicabilidade da tinta.

O diluente é também um líquido volátil que tem como objetivo reduzir a viscosidade da tinta. Este pode ser parcialmente ou totalmente misturável no veículo fixo. A água, diluente das tintas de base aquosa, reduz a viscosidade do produto, mas não dissolve o veículo fixo.

Os aditivos são substâncias que se inserem na mistura em pequenas quantidades, no entanto o seu impacto nas características da tinta é bastante considerável. Os aditivos podem-se agrupar por funções, dado que a sua escolha é feita com base no impacto individual de cada um. Ainda assim, algumas precauções têm que ser tomadas na formação da receita, visto que por vezes podem-se verificar efeitos secundários derivados da sua interação. Bactericidas, secantes, anti pele, dispersantes, anti sedimento e anti espuma são exemplos de alguns aditivos habitualmente utilizados. (Matos, 2016)

3.2 Processo Produtivo

Existem duas etapas integrantes do processo produtivo: o fabrico e o enchimento. O fabrico tem como objetivo transformar as matérias-primas no produto intermédio (a tinta, os solventes, os vernizes, etc.) que depois será enchido em latas ou tambores dando lugar ao produto final. Dentro de cada uma destas macro-operações podemos ainda distinguir subetapas a fim de simplificar a caracterização do processo como um todo (figura 5).

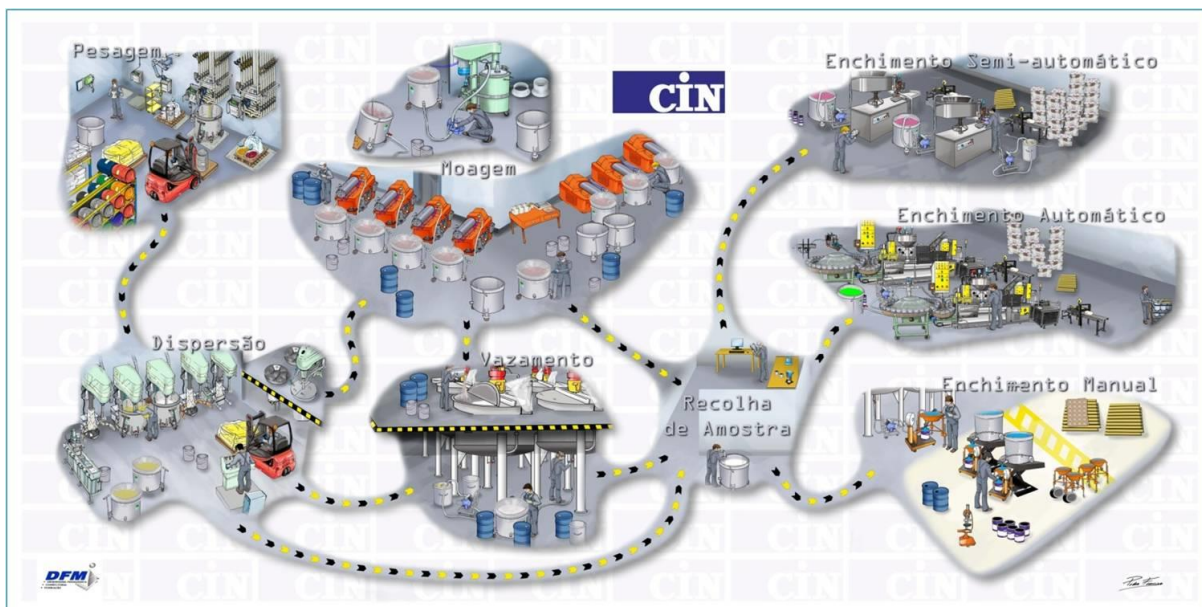


Figura 5 - Processo Produtivo da CIN

Existem dois conjuntos de produtos na CIN, os MTS e os MTO. O planeamento da produção é feito consoante o tipo de produto que se considerar. Para os MTS, há uma análise prévia dos índices de cobertura (contabilizam a quantidade existente do produto, as encomendas programadas e a procura prevista) dos produtos, que estão associados aos níveis de inventário no CD, conjugada com as previsões de vendas para o curto-prazo. Esta previsão tem em conta tanto a sazonalidade do negócio assim como a situação macroeconómica atual. No caso dos MTO, que derivam diretamente de pedidos específicos dos clientes, a satisfação da procura não pode ser feita através do recurso ao inventário no CD. Assim, estas encomendas são intercaladas com o resto da produção consoante a sua importância e urgência.

O que despoleta todo o processo produtivo é a impressão de uma OF (figura 6). Este documento é emitido pelo departamento de planeamento da produção e contém a informação necessária para que se fabrique o produto: o código do produto (constituído por nove caracteres, sendo que os cinco primeiros se referem à família do produto, e os quatro restantes à sua cor), a quantidade a fabricar, as matérias-primas necessárias e as respetivas quantidades. Possui também indicações técnicas sobre as operações ao longo da produção, funcionando como uma receita para a fabrico do produto.

CIN - Corp.Industrial do Norte

Impresso por... em Pag. 1 / 3

Ordem Produção.....: 1389832 LOTE Item.....: 7P259 0507 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Armazém...: C3 Fluxo....: SC Versão....: 2

Data início prevista Data fim prevista

Quantidade X.XXX,XXX KG X.XXX,XXX L Data pedida.....: Número de Batches: 1 Densidade

Nº Encomenda: /

OBS.....:

OF

%	Material / Lote:	Perigo:	KG:	LT:	Pictogramas de Perigo
					10 Fabric C3
Task.....: Pesagem/Dispersão/Moagem					
52,199	PESAR PARA UM 1º TANQUE. ABC01		X.XXX,XXX X.XXX,XXX		Escop. Prevista:
JUNTAR LENTAMENTE COM AGITAÇÃO. DISPERSAR. XX MIN.					
à velocidade de XXXX m/s.					
VERIFICAR NUM VIDRO SE NÃO EXISTEM PARTÍCULAS. NCIN 081..					
0,620	DEF11		XX,XXX		30 Mier C3
JUNTAR LENTAMENTE COM AGITAÇÃO PARA FORMAR GEL. DISPERSAR. XX MIN.					
à velocidade de XXXX m/s.					

Figura 7 - Ordem de Fabrico

No caso de não se tratar de uma OF para um produto intermédio, esta é acompanhada de pelo menos um TE (o equivalente de uma ordem de fabrico para o enchimento, como se pode observar na figura 7). Este inclui a OF a que está associado, o código do produto (que neste caso possui dois caracteres extra no final, em representação do tipo de embalagem), o número de latas a encher para a encomenda associada, e os materiais necessários para encher e transportar o produto (latas, tampas, rótulos, caixas, paletes, etc.).

CIN - Corp.Industrial do Norte

Impresso por...: JOAQUIMR em 16/11/17 Pag. 1 / 1

Ordem de Enchimento: 1390662 Prod: 7P259 0507 A4 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Armazém: C3 Responsável.....: Densidade

Data início prevista Fim Previsto:

Quantidade: UN

OBS.....:

OZ

Operação: C6E01 enchimento C3

Tempo previsto

Material	Ord.Pr.	Descrição	UN	KG	LT
A5191 0503	1390661	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		942,480	504,269
MA900		BALDE PL. 900 G XXXXXXXX	1.008,000		
T-MA900		TAMPO PL. P/ "MA900"	1.008,000		
X-VMP90-1		CX CARTÃO 6X900 GR MASILLA BV	188,336		
R-70X20-5V		ROT BRANCO 70X20 5 VIAS	188,336		
M-PLEUR		PALETE EUROPEIA 1200x800	2,016		

Figura 6 - Talão de Enchimento

O primeiro passo no fabrico de tintas e produtos semelhantes é a **pesagem**. Nesta etapa é efetuada a dosagem das matérias-primas, consoante o indicado na OF. As matérias-primas provenientes do C0 podem ser guardadas de diferentes formas, como é o caso de silos, IBC's (também apelidados de "cubos"), *big bags*, sacos, tambores, entre outros. Consequentemente, dependendo de como estão armazenadas, a pesagem pode também ser automática ou manual.

Esta é uma etapa que necessita de ser bastante rigorosa, dado que caso exista uma inconformidade no produto este poderá vir a ser considerado como um PNC.

Após todas as matérias-primas estarem dosificadas, segue-se a **pré-mistura** destes elementos. Dependendo da velocidade de rotação do disco dentro da cuba, esta mistura será designada de homogeneização ou dispersão. Para velocidade mais baixas, onde o fluído é agitado enquanto se inserem as matérias-primas, ocorre a homogeneização da mistura. Quando a velocidade de rotação do disco é mais alta, associa-se a forças de corte mais intensas, obtendo-se assim a dispersão da mistura. O principal objetivo nesta etapa é desagregar as partículas sólidas num fluído, a fim de elevar a energia mecânica do sistema (Novo, 2018). O equipamento é um componente crucial para esta fase do processo produtivo, especificamente no que diz respeito às suas dimensões. O tanque deverá ser cilíndrico e de fundo côncavo para que o vórtice criado origine as forças de corte ótimas para a dispersão, e consequente dimensão desejada das partículas. A OF, para além de conter a sequência de adição das matérias primas, inclui também a velocidade de dispersão para cada etapa e a duração do período de dispersão. Nesta fase começam a formar-se várias propriedades importantes da mistura, daí ter que ser executada de uma forma cuidadosa de modo a evitar possíveis problemas no produto final.

Em certos produtos é necessário que a dimensão das partículas seja mais reduzida que aquela obtida pós dispersão, para, por exemplo, aumentar o poder de cobertura da tinta. Este refinamento do produto intermédio é apelidado de **moagem**. Efetua-se por norma em moinhos de microesferas, por onde passa um fluxo de tinta que é afetado pelos efeitos de corte e martelamento, aumentando assim o grau de dispersão. A moagem não é uma etapa obrigatória no fabrico de tintas, sendo que no caso das tintas plásticas de base aquosa esta fase é dispensada.

Após a dispersão, a tinta ainda não se encontra completa, pois não possui as características requisitadas. Assim, é necessária uma operação de **acabamento** onde são adicionadas à mistura as restantes matérias líquidas necessárias para garantir as propriedades físicas e químicas finais do produto. Por norma, a mistura é transferida para tanques de acabamento, a fim de libertar os dispersores para outros fabricos. Nestes tanques os fluidos vão sendo agitados durante um período de tempo também especificado na OF. Pode haver ainda uma operação de **afinação** da cor da tinta, caso seja necessário. Esta pode ser manual, através do uso de mão-de-obra qualificada, ou então automática, recorrendo ao sistema Colormix.

No final do acabamento, é retirada uma amostra para efetuar o **controlo de qualidade** que ocorre no LIF, no caso das tintas e vernizes, ou pode ser através de uma inspeção em curso de produção, para produtos intermédios que serão utilizados noutras misturas.

Após a confirmação do laboratório de que o produto está conforme perante os requisitos impostos pela empresa e pelas expectativas do cliente, pode-se dar início à fase final do processo, o **enchimento**. A tinta é vazada dos tanques de acabamento (ou em casos muito específicos, a partir do dispersor) para as máquinas de enchimento que podem ser semiautomáticas ou automáticas. Nalguns casos, pode ainda ser feito enchimento manual, próximo do tanque de acabamento, através da ação da gravidade. A tinta é ainda filtrada antes de passar para as máquinas, com o intuito de excluir partículas indesejadas no produto final. Dependendo do TE associado à OF, em cada posto de trabalho irá haver recipientes (latas ou tambores, dependendo do tamanho requerido) que são rotulados, enchidos com a tinta respetiva, colocados numa paleta, cintados e posteriormente armazenados no CD.

3.3 Codificações Internas

3.3.1 Produtos

Os produtos concebidos na CIN possuem uma codificação interna que revela as suas características mais importantes. O código é composto por nove ou onze caracteres, no caso de

se tratar de uma OF ou de um TE, respetivamente. No primeiro caso, as nove figuras estão divididas em dois grupos. Os primeiros cinco caracteres representam a família do produto (e.g. A5191) enquanto os restantes quatro simbolizam a cor do produto (e.g. brancos, primários, transparentes, base média, base pastel, etc.). No segundo caso, adicionam-se dois caracteres

A5191 0503 A4
Família Cor Emb.

Figura 8 - Codificação de um Produto Final

extra no final do código que retratam o tipo de embalagem que será empregue no enchimento. A figura 8 demonstra um exemplo dessa codificação.

3.3.2 Estado das Ordens de Fabrico

Uma OF, tal como referido anteriormente, tem origem no departamento de planeamento da produção. Cada uma pode apresentar um de cinco estados, de acordo com a codificação interna da empresa. Após se ter conhecimento da existência de uma necessidade de um certo produto, o sistema constata a mesma atribuindo o estado 5 à OF virtual. Isto significa que existe um pedido, mas a OF ainda não foi lançada. Uma das condições para que tal aconteça é a certeza de que existe matéria-prima suficiente para satisfazer tal fabrico. No caso de não existir, e a emissão estiver pendente derivado disso, a OF no sistema assume o estado 10. A próxima fase ocorre quando o documento já foi lançado, mas aguarda ainda o início do fabrico, o que corresponde ao estado 20. No momento em que a produção está em curso, o sistema atualiza o estado para 40. A sua última alteração de estado ocorre na conclusão do fabrico, passando para 60 e assim permanecendo doravante.

3.4 Situação Inicial

O processo produtivo tem como objetivo a criação de valor através das operações que o constituem. Cada nave na CIN Maia está dedicada à produção de um determinado conjunto de produtos, normalmente semelhantes entre si, e apesar de todas as unidades partilharem a mesma base de atividades, o processo de criação de valor de cada uma é dependente dos produtos com que lida. No caso da Nováqua, algumas das fases do processo produtivo não se encontram presentes pois o benefício adjacente à sua incorporação no processo (i.e., obtenção de uma mistura mais refinada com a moagem), não compensam os custos (fixos e variáveis) que a sua incorporação acarreta

3.4.1 Pesagem

Na nave C2 existe um espaço de armazenamento intermédio, que torna o processo de recolha de matérias mais eficiente, para as matérias que são manuseadas por operadores (com possível recurso a uma empilhadora). Esta atividade, e a ocasional lavagem de recipientes de matérias líquidas situadas no armazém intermédio, são as que usualmente geram tempos de *set-up*. A dosagem e pesagem das matérias necessárias para cada OF pode ser realizada manualmente (para a pré-mistura e acabamento) ou automaticamente (apenas para a pré-mistura).

A pesagem automática é utilizada para as matérias que são compradas a granel. Após a sua chegada à CIN Maia, são inseridas em silos adjacentes à Nováqua. Estas matérias tanto podem ser líquidas (cargas e titânios) como sólidas (carbonatos e areias), e consequentemente a sua pesagem também se processa de maneira diferente. Os líquidos são pesados em diferentes balanças (uma para cargas, outra para titânios), por parcelas todas idênticas entre si. Cada uma destas parcelas vai sendo transferida para um silo intermédio após a pesagem, onde aguardam a transferência para o dispersor. A última parcela será a que acerta o valor requerido para a OF.

Um destes silos intermédios está associado apenas à armazenagem de cargas, que serão direcionadas para um dispersor que fabrica tintas lisas transparentes. No que diz respeito à pesagem automática das matérias sólidas, o processo consiste na pesagem contínua até o valor desejado ser atingido. Todos os processos automáticos são supervisionados através da sala de controlo da zona do fabrico, com recurso a um sistema SCADA.

A pesagem manual é realizada pelos operários. Tal como supramencionado, eles recorrem ao apoio de uma empilhadora para o manuseamento de determinados objetos (e.g. IBC's). Existem três balanças com capacidade máxima de 150 kg, e outra de maiores dimensões com uma capacidade máxima de 2000 kg. Cada empilhadora tem capacidade para levantar 1600 kg (valor que varia consoante a altura e a distância à empilhadora do objeto a ser carregado). Dado que apenas existem duas empilhadoras para três operários dedicados a esta área, e os mesmos três operários efetuam funções no setor da pesagem e da pré-mistura, é possível deduzir *a priori* que as balanças empregues na pesagem não possuem uma taxa de utilização elevada. Após todas as matérias necessárias estarem separadas e prontas a entrar no próximo estágio de produção, cada uma é transportada até uma de duas localizações: próximo dos tanques dispersores ou dos tanques de acabamento.

3.4.2 Pré-Mistura

Na fábrica de tintas de base aquosa existem quatro dispersores, que ao terem objetivos diferentes terão também taxas de rotação dissimilares. Os dois mais utilizados têm 8000 litros de capacidade, e efetuam a pré-mistura para tintas lisas brancas, primários e outras bases, e são conhecidos por D4 e D5. Um desses dois (o D5) também faz a pré-mistura de tintas lisas transparentes, sendo o único na Nováqua a executar esta operação. O terceiro dispersor está alocado à pré-mistura de tintas areadas, que incorporam as matérias sólidas adquiridas a granel (os carbonatos e a areia), sendo conhecido por Vibromac. Por fim, o dispersor que resta tem dois tanques, cada um com cerca de 5000 litros de capacidade, e realiza a pré-mistura de tintas elásticas.

Algumas transições entre fabricos requerem a lavagem dos tanques, para evitar que alguns resíduos da última mistura contaminem a próxima. Este tipo de necessidade surge quando há uma mudança de família de produto entre fabricos. A lavagem é executada por um operário, e é considerada como um tempo de *set-up* ocasional. A adição das matérias-primas, pesadas manualmente, é feita pelo operário. A operação de mistura é automática, sendo apenas controlada por um chefe de equipa na sala de controlo do fabrico.

3.4.3 Acabamento

Após o término da pré-mistura, a maioria dos fabricos requerem um acabamento, para que a tinta possa adquirir as propriedades desejadas. Da mesma forma que os tanques dispersores necessitam de ser limpos em situações que o exijam, também os tanques de acabamento passam pelo mesmo processo. Para além disto, é feita ainda uma purga do tanque cada vez que este fica vago, a qual visa retirar os resíduos do último fabrico das tubagens, para que quando se efetue o próximo enchimento se tenha certeza de que a tinta é apenas a que se pretende. Estas operações podem ser consideradas como tempo de *set-up* da operação de acabamento. Similarmente à fase de dispersão, um operário insere no tanque as matérias que foram pesadas, enquanto a mistura de acabamento é automática.

Existem 40 tanques de acabamento na Nováqua, e tal como acontece com os dispersores, 9 deles trabalham apenas com tintas areadas finas, sendo que os restantes 31 estão alocados ao fabrico de tintas lisas. As suas capacidades não são iguais, sendo que para tintas areadas existem 6 tanques de 2600 litros e 3 tanques de 12000 litros. Os 3 tanques de maior capacidade conseguem ainda transferir o seu conteúdo para qualquer um dos 6 mais pequenos, em caso de

necessidade. Para as tintas lisas a diversidade é um pouco maior, com 15 tanques de 2600 litros, 6 tanques de 6000 litros, 5 tanques de 12000 litros (sendo que 2 destes são os únicos a lidar com tintas elásticas, provenientes do Dispermix) e 5 tanques de 25000 litros. Conforme ocorre para as tintas areadas, também existem tubagens que conectam 3 dos tanques de 12000 litros (os que não se ocupam com tintas elásticas) e os 6 tanques de 6000 litros aos 15 tanques mais pequenos.

Certas tubagens que efetuam a conexão entre dispersores e tanques de acabamento são próprias para determinadas misturas. Tintas areadas, provenientes do Vibromac, possuem o seu próprio trajeto para cada um dos 9 tanques destinados a este tipo de tinta. O dispersor D5 também possui algumas tubagens próprias para a circulação das tintas lisas transparentes, que as encaminha para um dos 15 tanques de 2600 litros. As tubagens partilhadas, e que obrigam a que se levantem algumas restrições de transferência das misturas dos dispersores para os tanques de acabamento, ligam os dispersores D4 e D5 aos restantes tanques (os de 6000, 12000 e 25000 litros).

Ocasionalmente, por requisito de alguns clientes, é necessário afinar algumas bases aquosas na Nováqua. As cores afinadas não variam muito, sendo as mais comuns: preto, vermelho e amarelo, o que não exclui a possibilidade de pedidos especiais. Os grandes volumes de produção na nave C2 são possíveis devido ao baixo grau de customização feito na fábrica. As cores são afinadas posteriormente nos postos de venda, recorrendo ao sistema Colormix. No entanto, a afinação não foi excluída de todo da área fabril, o que requer a presença de mão-de-obra especializada para realizar essa operação.

3.4.4 Enchimento

O processo produtivo de fabrico de tintas sofreu algumas evoluções ao longo dos anos, mas nenhuma foi tão significativa como a do setor do enchimento. Esta afirmação pode ser sustentada pelo facto de ainda se usarem, em pequena escala, métodos que remontam aos primórdios da empresa (e.g. enchimento manual, o qual recorre à elevação de um tanque móvel acima do nível da zona de enchimento, ou então diretamente por baixo do tanque de acabamento, e através da força gravítica a tinta flui para os baldes). Hoje em dia existem máquinas de enchimento automáticas e semiautomáticas, das quais na Nováqua existem quatro e três, respetivamente.

As máquinas automáticas têm uma velocidade de operação mais elevada que as restantes, e é em grande parte devido a elas que uma considerável percentagem do volume total de produção da empresa tem origem nesta nave. Uma destas máquinas destaca-se das restantes, por lidar com latas e não tambores (i.e., opera com recipientes de menor capacidade). A sua capacidade varia entre 0.75, 1, 4 e 5 litros. Sempre que há uma mudança de tipo de lata no enchimento, o operador tem que adaptar a máquina às especificações desse enchimento concreto, e isto estende-se para as restantes máquinas. Por todas as máquinas automáticas, que enchem tambores de 15 litros, escoam tintas lisas. No entanto, uma delas vaza também tintas areadas finas, e consequentemente a que tem o tempo médio entre falhas mais baixo, dado a natureza da tinta e a sua interação com as tubagens.

As máquinas semiautomáticas são mais peculiares entre si que as automáticas. Das três existentes, uma delas situa-se próximo do dispersor Vibromac. A razão para estar na zona da pré-mistura e não do enchimento é o esforço necessário para o transporte da tinta. Esta máquina auxilia o enchimento de tintas areadas grossas, as quais apresentam uma resistência ao escoamento (i.e., viscosidade) superior às demais. Esta é uma de duas máquinas semiautomáticas que enche latas de 4 e 5 litros e tambores de 15 litros. A outra situa-se próxima dos tanques de acabamento, e dedica-se ao enchimento de tintas lisas, sendo a única que requer uma pré-filtragem manual para um tanque móvel. A tinta é depois bombeada do tanque móvel para a máquina de enchimento. A máquina semiautomática restante é a única que tem a

capacidade de operar com embalagens não cilíndricas, tendo estas uma capacidade de 10 litros. Opera também com latas de 0.25, 4 e 5 litros e é onde frequentemente se efetua o enchimento de cores.

Por fim, tal como explicado anteriormente, existe o enchimento manual. Na nave C2 apenas existe uma plataforma elevatória, mas existem duas “máquinas” manuais (i.e., estruturas onde se insere um filtro, o qual varia consoante o tipo de tinta a fluir, e que possuem uma torneira para dosear a quantidade em cada lata ou tambor). Nesta secção é possível encher latas de 4 ou 5 litros e tambores de 15 litros, e qualquer tipo de tinta pode ser enchido manualmente, excetuando areadas grossas.

No que diz respeito às ações prévias ao enchimento que contribuem para os tempos de *set-up*, para além da adaptação da máquina às especificidades próprias da próxima operação, e da pré-filtragem numa das máquinas semiautomáticas, o operador tem ainda que lavar o filtro com o intuito de garantir que o mesmo desempenha a sua função eficazmente. No caso das máquinas automáticas, há a necessidade adicional de sangrar o tanque, a fim de garantir que nenhuns resíduos da operação anterior irão interferir com a seguinte.

3.5 Identificação e Caracterização dos KPI

O nível de concorrência global existente no mundo atual, associado a uma vasta evolução das tecnologias nos últimos anos, tornou a capacidade de absorção e criação de conhecimento, lado a lado com a inovação, os fatores dominantes para a vantagem competitiva (Crossan and Berdrow, 2003; Zahra and George, 2002). O ambiente dinâmico em que a maioria das empresas compete exige que estas mantenham os custos a um mínimo, mas mantendo níveis satisfatórios de satisfação do cliente (Shahin and Mahbod, 2006). Por consequência, muitas firmas tentam estabelecer objetivos em diferentes áreas de atividade, os quais necessitam de ser fundamentados e priorizados. A importância de cada fase do processo produtivo varia consoante os objetivos de cada organização, sendo que o que traduz tais objetivos para o ambiente fabril são os KPI's (i.e., os indicadores chave de desempenho). Através destes indicadores é possível compreender a desfasagem entre o planeamento e a execução, o que gera uma oportunidade para a empresa antecipar potenciais problemas e identificar vias de melhoria (Chae, 2009).

Para que a análise destes indicadores seja o mais proveitosa possível, é necessário que a sua importância relativa esteja definida. A visão individual de cada empregado é diferente, e para que a interpretação dos valores não seja parcial, terá que existir uma ordem pela qual possam ser comparados e que vá de encontro aos objetivos definidos pela organização. Uma das limitações dos KPI's reside na extensão da sua utilidade, visto que apenas servem de apoio à tomada de decisão, não fornecendo qualquer género de plano de ação que vise a resolução de problemas. Tais guias devem ser criadas por cada empresa, adaptadas às suas intenções específicas (Shahin and Mahbod, 2006).

O conjunto inicial de indicadores analisados prendeu-se apenas com a área de produção, quer em quantidades como em intervalos de tempo. Neste grupo estavam incluídos: a quantidade diária expedida, o tempo de execução de uma *PORDER* (i.e., ordem de produção), o tempo de execução de uma *POLINE* (i.e., linhas das ordens de produção, o que equivale ao fabrico, e os respetivos enchimentos, caso existam), a taxa de utilização (i.e., intervalo de tempo entre o início e o término da operação sobre o tempo disponível de atividade), a taxa de ocupação (i.e., intervalo de tempo entre o bloqueio e o desbloqueio do recurso sobre o tempo disponível de atividade) dos dispersores e dos tanques de acabamento e a data em que 80% do plano estaria finalizado (não se considerou a duração completa do plano simulado pois a porção final do mesmo não é representativa do poder de fabrico real).

Outros indicadores também existentes no ambiente do projeto podem-se dividir em dois grupos: os que são calculados automaticamente pelo APS durante o escalonamento (os quais serão mencionados posteriormente), e os que diariamente são atualizados no quadro *kaizen* da Nováqua. Todos os dias de manhã, algumas naves na CIN Maia efetuam reuniões *kaizen*. Estas reuniões são de curta duração, onde o responsável pela nave revê com os operários as operações a realizar nesse dia. Para além disso, problemas podem ser levantados pelos participantes e alguns indicadores de desempenho são revistos. No caso específico da Nováqua, os KPI controlados são: o cumprimento do plano (i.e., número de ordens executadas sobre o número de ordens planeadas) no fabrico e no enchimento, quantidade cheia em litros e a produtividade (i.e., litros por hora por pessoa) total do enchimento, nas máquinas automáticas e manual.

4 Adaptação do SOFTINOV APS à Nováqua

A adoção do APS como auxiliar ao escalonamento da produção na CIN ainda é recente, o que se reflete no facto de o mesmo ainda não estar implementado em todas as naves. O processo de implementação teve início aproximadamente há três anos, começando pela nave C3. A possibilidade de modelação aos processos existentes na CIN, e a sua proximidade foram fatores decisivos na sua escolha. A sede da SOFTINOV situa-se em Aveiro, e conta com experiência no setor farmacêutico, assim como com parcerias com a Universidade de Aveiro e o INESC TEC da Universidade do Porto, o que lhes permite manter os seus *softwares* de otimização a par do estado de arte da análise combinatória (Mimoso, 2018).

4.1 Sistemas de Informação Utilizados

O funcionamento eficaz e fluido dos recursos de uma empresa requer a integração de diversos SI. Esta simbiose ocorre porque por um lado os recursos fornecem dados aos sistemas que estes não conseguiriam obter de outro modo, e por outro porque o tratamento de dados, que leva à criação de informação, possibilita um uso mais eficiente dos recursos. *Softwares* como o MS Excel e o MS Access são utilizados diariamente no auxílio da produção. Alguns ficheiros individuais foram criados com intuitos específicos nestas plataformas, como por exemplo o escalonamento das OF's, o sequenciamento dos TE's, a manutenção da data de entrega do produto final e também o cronograma de produção. No entanto, muitos destes podem ser substituídos quase na sua integralidade pelo APS. Dois sistemas que não são tão facilmente substituíveis e que funcionam a par do APS são o sistema ERP e o MES.

No que diz respeito ao sistema ERP implementado no grupo, foi desenvolvido pela IBS (*International Business Systems*) tendo por base o sistema AS400, que apenas estava direcionado ao *backoffice*. Este último ainda é usado por alguns funcionários nas áreas de controlo interno, por ser mais familiar. O ASW disponibiliza um grande leque de informação na área do armazém (e.g. receções, expedições, controlo de inventário, vendas, compras, etc.), informações sobre produtos (e.g. BOM, índice de cobertura, etc.), informações sobre OF's e TE's (e.g. estado, nave respetiva, quantidade associada, etc.). O ASW permite ainda efetuar o lançamento e encerramento das OF's. Tal como explicado no capítulo 2, é o sistema central da empresa que integra os restantes, estando consequentemente associado a diversas áreas de atividade da firma. Na figura 9 observa-se o ecrã inicial do ASW.

O MES integrado nas fábricas é o *Shop Floor Control* (SFC) desenvolvido pela empresa Vein Evolution, Lda. Através deste sistema é possível efetuar o controlo do chão de fábrica; permite o registo das atividades fabris pelos operários, e por outro lado permite a consulta desses mesmos dados em tempo real em qualquer terminal. Este controlo de dados permite a gestão de vários aspetos do processo produtivo: o estado em que cada OF se encontra, as operações pelas quais o produto já passou e, no caso de se aplicar, as operações em curso, quais os operários responsáveis pelas operações, quais os recursos utilizados, entre outros. Pode-se observar na figura 10 o ecrã de consulta do SFC.

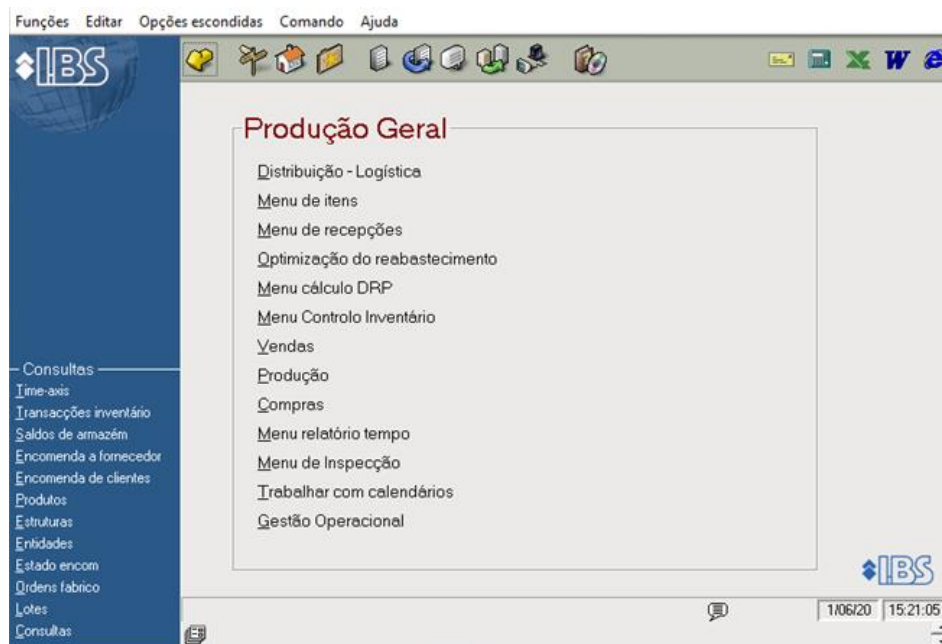


Figura 9 – Ecrã Inicial do ASW

Consulta de Ordens

Estado da OF: ☐ Esp. lang. ☐ Lançada ☐ Em curso ☐ Parada ☐ Em espera ☐ Diap. ench. ☐ Aprovada ☒ Todas

01-Armaz Base Aquosa Cin-Maia

Seq.	OF	OE	Produto	Prod base	Qtd	Qtd cheir.	UM	Dt pedido	Dt lançamento	flr Lin. enr.	Dispon.	Idc	Dt ped rot.	Obs
C2	1445846	1445848	10125 5509 0	10125 5509	900	0	UN	2020/05/21	2020/05/21	0	2.282	40.2	2020/07/31	
C2	1445846	1445849	10125 5509 1	10125 5509	125	0	UN	2020/05/21	2020/05/21	0	2.551	26.0	2020/07/31	
C2	1446055		10132 0501		32.000	0	KG	2020/05/25	2020/05/25	3	-73	-7.3	2020/05/29	
C2	1446055	1446056	10132 0501 1	10132 0501	1.556	0	UN	2020/05/25	2020/05/25	3	-73	-7.3	2020/05/29	
C2	1443422		10145 0501		32.000	0	KG	2020/04/06	2020/04/06	0	1.423	39.0	2020/07/31	
C2	1443416		10145 0501		32.000	0	KG	2020/04/06	2020/04/06	0	0	0.0		
C2	1443420		10145 0501		32.000	0	KG	2020/04/06	2020/04/06	0	0	0.0		
C2	1443418		10145 0501		32.000	0	KG	2020/04/06	2020/04/06	0	0	0.0		

nr.ordens 592
quantidade 2972938

Refresh
Alterar
Enviar
Anteci-
pações
Roturas

Seq.	Oper.	Dt inicio	Hr inicio	Dt fim	Hr fim	Duração	Sts Ac	St Reoj	Mot.paragem
10	C2126 Fabricar Tintas Lisas B 1/3 C2	2020/05/29	18:42:55	2020/05/29	19:52:48	0 01:09:53	Finaliza		
12	C2104 Pesagem Manual p/Fab. Aut C2	2020/05/29	10:54:56	2020/05/29	14:45:10	0 03:50:14	Finaliza		
14	C2101 Pes Aut Soldos LISAS Bt 1 C2	2020/05/29	18:07:13	2020/05/29	18:20:43	0 00:13:30	Finaliza		
16	C2716 Transferir Bt 1/3 p/TQ AC C2	2020/05/29	21:29:39	2020/05/29	22:20:04	0 00:50:25	Finaliza		
20	C2126 Fabricar Tintas Lisas B 2/3 C2	2020/05/29	21:32:49	2020/05/29	23:44:50	0 02:12:01	Finaliza		
24	C2102 Pes Aut Soldos LISAS Bt 2 C2	2020/05/29	19:54:12	2020/05/29	20:45:18	0 00:51:06	Finaliza		
26	C2717 Transferir Bt 2/3 p/TQ AC C2	2020/05/29	23:53:23	2020/05/30	00:55:06	0 01:01:43	Finaliza		

nr.operações 12

Alterar
Ativa
Finalizada
Imp. OF aprov.

Moagem | Afições | Pesagens MP

Equipamento | Operações | Etiquetas | Materiais OF | Materiais OE | CQ - Histórico de classificação | CQ - Controlo | CQ - Emb. aprovadas / rejeitadas | OEs relacionadas | Hist. de reg. qtds

Equipam.	Dt inicio	Hr inicio	Dt fim	Hr fim	Duração	Fluxo	Cd fun.	Nome fun.
DF20 Dispersor G+B (T4)	2020/05/29	18:42:55	2020/05/29	19:52:48	0 01:09:53	Geral	2246	Ivo Barata

Ver equip.
Registos de contagem
Sair

Figura 10 – Interface do SFC

4.2 Apresentação do SOFTINOV APS

O SOFTINOV APS na sua génese é um sistema avançado de planeamento e escalonamento da produção. Com a finalidade de ajudar as empresas na gestão das operações integrantes do processo produtivo, surge uma colaboração entre o INESC TEC, que ficou a cargo de desenvolver o algoritmo multicritério de otimização do escalonador, e a SOFTINOV, que ficou a cargo da programação remanescente. Esta ferramenta é passível de ser descrita como um sistema de apoio à decisão, que considera um grupo de restrições e preferências e recorrendo a um algoritmo matemático avançado fornece a melhor sequência de produção.

A lógica basilar da construção do algoritmo vai de encontro ao aumento da produtividade de todo o processo de fabrico e consequente aumento de competitividade da empresa, sendo assim apresentado pelos seus criadores como uma mais-valia para qualquer gestor de produção. Para que tal seja justificado, o algoritmo tem como objetivos: cumprimento de prazos de entrega, minimização de tempos de execução, de tempos de inatividade e paragens, maximização da utilização dos recursos (e.g. máquinas e mão-de-obra), gestão de sobreposições de operações paralelas e encontrar por fim uma solução que concilie vários critérios de otimização simultaneamente. A todo este plano de fundo associa-se uma interface gráfica confortável, de fácil utilização, que auxilia o usuário intuitivamente no processo de tomada de decisão. Na prática, o APS permite gerar e efetuar comparações entre planos de produção, reprogramar operações, calcular prazos de execução, conjeturar datas de entrega, classificar a utilização dos recursos e monitorizar a produção.

Tal como o sistema ERP, o APS integra-se facilmente com outros SI, dado que a partilha de informação se efetua através de ficheiros XML. Este aspeto do *software* é uma enorme vantagem pois ao abranger o cenário global da empresa, consegue atingir um escalonamento mais eficiente.

Caso a sua implementação seja feita com sucesso, diversos benefícios podem surgir da integração do APS, como por exemplo: aumento de produtividade, melhoria do nível de serviço, melhoria da utilização da capacidade e dos recursos, redução de WIP, redução dos níveis de inventário, redução do tempo de execução e consequentemente a redução dos custos derivados da produção.

A nível da interface com o utilizador o APS possui três importantes secções: a página que apresenta o diagrama de Gantt de recursos, a do diagrama de Gantt das OF's e a secção dos resultados.

O primeiro diagrama costuma ser visualizado mais frequentemente pelo utilizador. Nele pode-se observar o percurso de um fabrico desde a pesagem até ao enchimento, assim como obter diversas informações sobre o mesmo (e.g. OF associada, quantidade planeada, nome do produto a ser fabricado, data de início e término de cada atividade, etc.). Para o programador, torna-se mais simples visualizar erros no plano, como é o caso de recursos bloqueados ilimitadamente (por ocorrência de alguma falha no registo de operações), OF's que poderiam ter sido realizadas a tempo, mas por falta de material não o serão, ou ainda OF's que se encontram atrasadas relativamente à data de entrega estabelecida. Após correr o algoritmo, o APS avisa ainda sobre operações que não foram escalonadas, e sobre o perfil de *stock*, para que o programador possa efetuar alterações no plano sugerido. O perfil de *stock* apoia o programador na manutenção das datas de entrega, alertando sobre as existências de materiais. Podem dar-se dois casos de falta de materiais que obstruam o começo da uma operação: estes não se encontram disponíveis no momento inicial da operação e a mesma avança para o instante em que está prevista a chegada dos mesmos; ou, não está prevista nenhuma encomenda para os materiais necessários, e é necessário submeter uma para dar sequência à operação bloqueada. Após confirmar que todas operações foram corretamente alocadas aos recursos devidos, o utilizador confirma a programação. Na figura 11, podemos observar esta interface.

O segundo diagrama serve apenas de controlo geral sobre cada OF, onde podemos observar o começo e o final de cada, tendo um registo gráfico que ajuda o utilizador a perceber visualmente quão longe cada uma está da sua data limite de entrega. Por fim, a parte dos resultados possui duas páginas. A primeira contém um diagrama Gantt com as taxas de utilização de cada recurso para cada dia do plano de produção. A segunda contém indicadores calculados automaticamente pelo algoritmo do APS durante o escalonamento, tal como referido no final do capítulo anterior e demonstrado na figura 12.

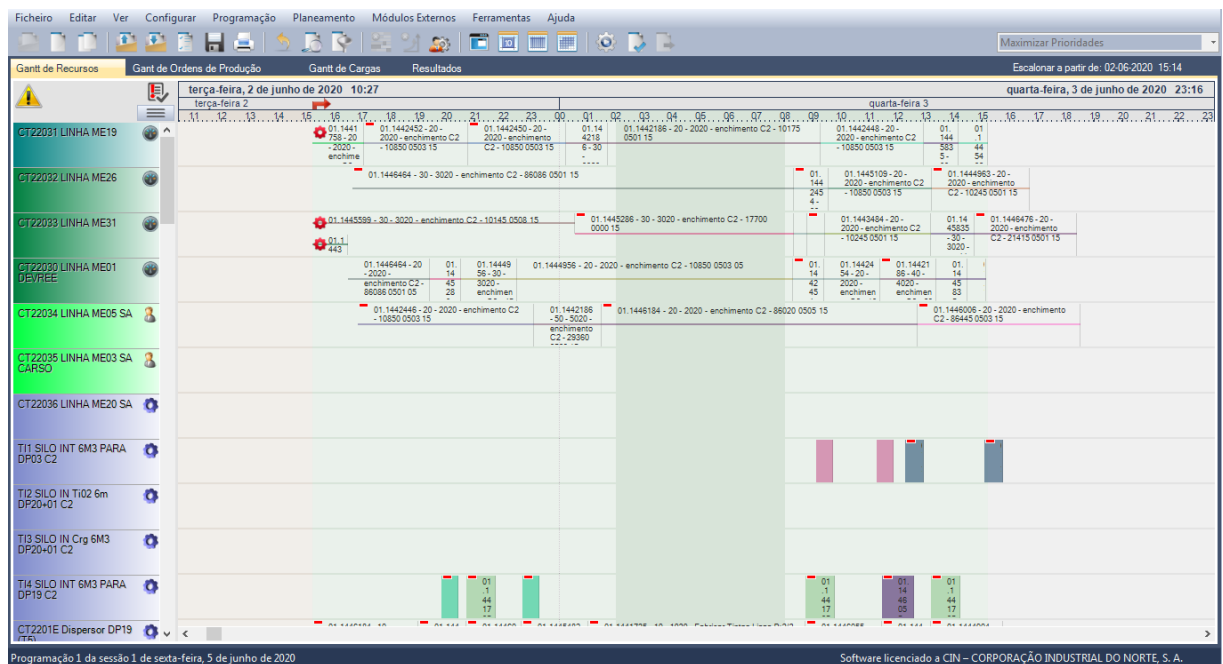


Figura 11 - Diagrama de Gantt de Recursos no APS

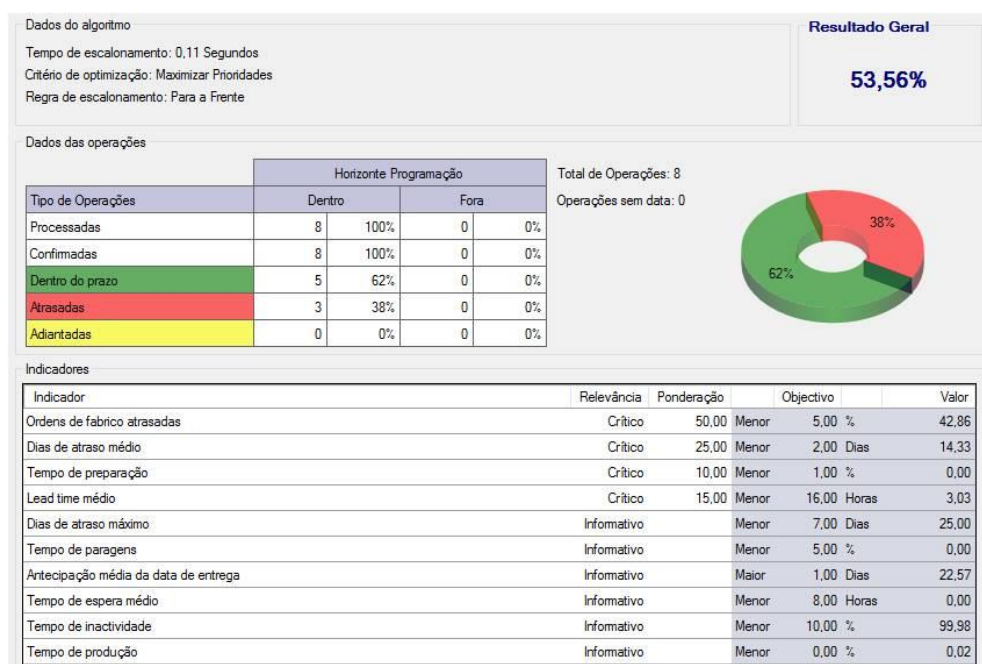
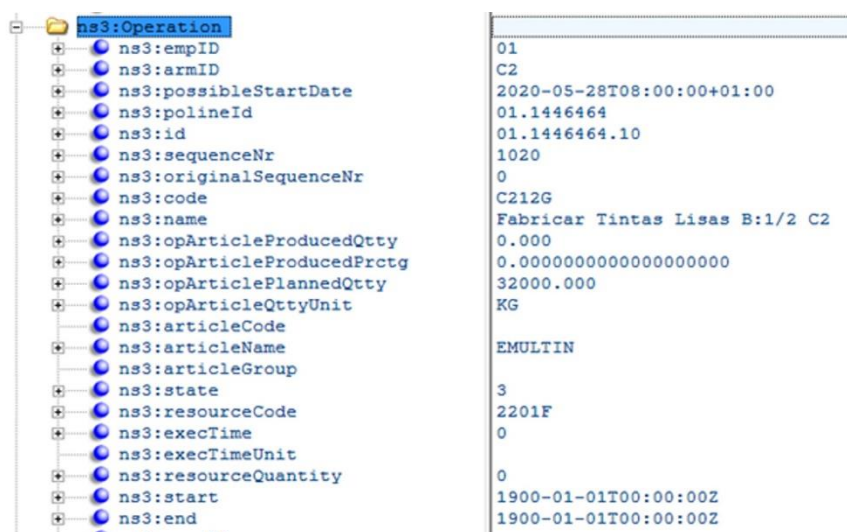


Figura 12 - Ecrã de Indicadores do APS

4.3 Modelação de Cenários no APS

A modelação do processo no *software* tem por base a análise do processo produtivo efetuada ao longo do capítulo 3. De forma semelhante ao que foi feito para outras naves, houve a necessidade de compreender as características de cada operação, a forma como as mesmas se interligavam e como interagiam com os recursos existentes na fábrica. A normalização de conceitos é necessária para que exista coerência na informação transmitida entre os diversos sistemas usados no apoio ao escalonamento (o APS, o ASW e o SFC). Diversos ficheiros XML foram criados com esse intuito de estabelecer a ponte entre *softwares*, sendo que é também

neles que está presente a caracterização de todos os componentes críticos para o plano de produção. Os principais ficheiros de interface que foram acedidos ao longo do projeto foram: *aps_porecipes.xml* (onde se acedia às receitas relativas à nave C2) e o *ret_01C2.xml* (onde toda a informação sobre as OF's estava discriminada, ilustrado em parte pela figura 13).



XML Element	Value
ns3:empID	01
ns3:armID	C2
ns3:possibleStartDate	2020-05-28T08:00:00+01:00
ns3:polineId	01.1446464
ns3:id	01.1446464.10
ns3:sequenceNr	1020
ns3:originalSequenceNr	0
ns3:code	C212G
ns3:name	Fabricar Tintas Lisas B:1/2 C2
ns3:opArticleProducedQty	0.000
ns3:opArticleProducedPrctg	0.000000000000000000
ns3:opArticlePlannedQty	32000.000
ns3:opArticleQtyUnit	KG
ns3:articleCode	
ns3:articleName	EMULTIN
ns3:articleGroup	
ns3:state	3
ns3:resourceCode	2201F
ns3:execTime	0
ns3:execTimeUnit	
ns3:resourceQuantity	0
ns3:start	1900-01-01T00:00:00Z
ns3:end	1900-01-01T00:00:00Z

Figura 13 – Pasta *Operation* do Ficheiro *ret_01C2.xml*

O acesso a estes documentos dava-se a maior parte das vezes durante o processo de importação de dados para o APS, com a finalidade de corrigir os erros que fossem notificados pelo mesmo. Diversas ações corretivas foram levadas a cabo durante estas modificações iniciais, para que este processo não se tornasse recorrente. Os que foram eram registados num ficheiro Excel juntamente com um *print screen* da ocorrência, e consoante a sua origem, teriam diferentes desfechos. A grande parte destes erros derivava de lançamento de OF's com variantes erradas (o que requeria o novo lançamento da mesma caso ainda não tivesse entrado em curso de fabrico), ou da disciplina de registo de operações por parte dos operários (que geravam incongruências com as precedências das operações).

4.3.1 Parametrização dos Centros de Trabalho

A parametrização dos centros de trabalho tem como objetivo a definição das características dos respetivos centros, identificando a capacidade de cada um, assim como outras restrições envolvidas com traços específicos do processo produtivo (e.g. apenas operar com determinadas cores, famílias de produto, tecnologias, etc.). Para que uma boa parametrização seja realizada é necessário compreender muito bem a dinâmica do processo completo, e não apenas os atributos básicos de cada setor. Após uma primeira ronda de recolha de informação e consequente organização da mesma, foi possível compará-la a uma parametrização já existente da nave C2. As particularidades básicas do sistema estavam bem definidas, no entanto, alguns pormenores não tão usuais causavam incoerências no plano que necessitavam de ser ajustadas. Isto requereu uma nova recolha de informação, desta vez mais pormenorizada, para que a modelação da realidade fosse o mais fiel possível. Esta segunda recolha compõe-se de diversas fases, pois nem todos os erros aparecem simultaneamente, o que obriga a uma confirmação das características dos centros de trabalho parametrizados sempre que os respetivos erros surjam.

A Nováqua é composta por um centro de custo que reúne 55 centros de trabalho. Um centro de custo pode ser visto como uma repartição da empresa responsável por um conjunto específico de atividades que beneficiam a organização. A este centro podem ser atribuídas certas despesas, o que permite à empresa ter um melhor controlo sobre os custos totais. A divisão da organização

por centro de custos possibilita ainda uma alocação mais estratégica de recursos e oferece uma oportunidade para calcular o lucro com base em determinados produtos ou num certo departamento da empresa (Ozyasar, 2015). Os centros de trabalho fazem parte do centro de custo e estão, por norma, relacionados com os recursos principais existentes na nave. Cada um pode ser associado a uma determinada atividade e a uma certa capacidade. A parametrização atual tem por norma alocar um recurso a cada centro de trabalho, mas pode haver casos excecionais em que um centro de trabalho possua mais do que um recurso (e.g. alguns conjuntos de tanques de acabamento), ou outros em que nenhum recurso está associado ao centro de trabalho (e.g. controlo de qualidade). Os principais setores descritos no subcapítulo 3.4 encontram-se pormenorizadamente caracterizados, com as devidas características programadas, para que as OF's alocadas aos mesmos sejam as corretas. No caso dos recursos com menor rotação, é possível encontrar ainda algumas falhas na sua caracterização, visto que o foco nestes não é tão considerável.

Existem ainda dois sub-recursos programados no APS que são os recursos humanos do fabrico e os do enchimento. A estes está associado um calendário, o qual é configurado com base nas paragens esperadas para o ano respetivo. Será com base nesse calendário que o algoritmo do APS terá noção de quando pode alocar os sub-recursos aos centros de trabalho.

4.3.2 Cálculo das Prioridades

Num momento prévio ao escalonamento, o APS permite ao utilizador definir as prioridades de cada operação de cada OF. São estas prioridades que serão usadas como critério de escolha pelo algoritmo. Estas prioridades são importadas para o APS através de um documento XML, que irá gerar uma tabela com os seguintes atributos: número da OF, número da operação, código do produto, nome do produto, quantidade encomendada e unidade respetiva, data limite de entrega e a prioridade associada. Consoante as alterações que podem surgir no ambiente real (e.g. quebras inesperadas, encomendas urgentes, etc.), o programador pode personalizar esta lista para que se ajuste à realidade, o que se irá repercutir no plano de produção que será gerado.

4.3.3 Bloqueio e Desbloqueio de Recursos

Uma funcionalidade do APS que foi adaptada ao processo produtivo da CIN consiste no bloqueio (e consequente desbloqueio) de recursos. Alguns recursos não ficam apenas ocupados durante o período de atividade, pois albergam o produto intermédio enquanto aguardam que outra fase do processo finalize. No caso de um tanque de acabamento, este fica bloqueado a partir do momento em que a mistura começa a ser transferida de um dispersor. Durante este período, ambos os recursos se encontram bloqueados, e o dispersor desbloqueia no final da transferência, ficando pronto para dar entrada a uma operação de outra OF. O tanque de acabamento após efetuar a agitação dos componentes que são adicionados na fase homónima, continua bloqueado visto que ainda contém o produto. Este apenas é desbloqueado após o tanque se encontrar vazio, o que acontece através de um ou mais enchimentos. A figura 14 apresenta um diagrama que exemplifica esta sequência de operações.

Este conceito revela-se bastante importante no cálculo dos indicadores de desempenho para um determinado conjunto de dados, nomeadamente a taxa de ocupação do recurso. Este KPI contabiliza o tempo que decorre entre o início da primeira operação que bloqueia o recurso até ao final da última operação que o desbloqueia, período que se pode estender por dias ou até semanas.

Recursos dos Centros de Trabalho	Operações			
	Dispersão	Transferência	Acabamento	Enchimento
Dispersor	X	X		
Tanque de Acabamento		X	X	X
Máquina de Enchimento				X

Figura 14 - Diagrama de Bloqueio dos Centros de Trabalho

Após a aquisição de umas breves noções sobre o funcionamento do *software*, foi possível juntar esse conhecimento ao que foi analisado inicialmente sobre o processo de fabrico. Desta forma, foi possível começar a simular planos de produção no APS.

5 Apresentação de Cenários

O derradeiro objetivo do projeto enquadra-se na definição do melhor *layout* de uma futura fábrica. Neste caso específico, abordaram-se apenas questões relativas a recursos. Em tempos antigos, o aumento da capacidade produtiva era um fator diferenciador, mas nos dias que correm é importante compreender qual a maneira mais eficaz de incorporar esse aumento.

A nova fábrica irá equivaler a uma expansão de capacidade no fabrico de tintas lisas. O fluxo de tintas texturadas será mantido na mesma nave, o que *a priori* torna um dos dispersores, nove tanques de acabamento, uma máquina de enchimento automática e uma máquina de enchimento semiautomática pouco significativos para o resultado final. Os elevados níveis de produção da Nováqua tentam seguir o crescimento da procura no setor da construção civil, daí surgir a necessidade de continuar a expandir a capacidade de produção. Para esta nova fábrica, dedicada especialmente a ordens de fabrico de grande volume de tintas lisas, serão transferidos alguns recursos da nave C2 (nomeadamente dispersores, tanques de acabamento e linhas de enchimento) para que por um lado o investimento não seja tão avultado, mas também para criar uma oportunidade de tornar alguns setores da Nováqua mais eficientes, tirando mais proveito dos ativos.

5.1 Cenário AS IS

O primeiro cenário a definir foi o atual. Para este efeito, foi recolhida informação sobre a carga atribuída à fábrica no dia 16 de junho de 2020 (i.e., conjunto de OF's planeadas para esta nave) e o escalonamento foi executado com o objetivo principal de maximizar as prioridades dos fabricos. A importância deste cenário reside na sua utilidade como ponto de partida para a elaboração dos restantes. Qualquer cenário elaborado doravante irá manter as bases do cenário AS IS, focalizando-se posteriormente num conceito específico. Tal como explicado no capítulo anterior, a simulação foi possível através da integração de dados de diferentes sistemas. Desta forma, após a importação de dados e correção dos respetivos erros, foi possível escalonar as OF's no APS.

Antes de se poder definir o resultado como definitivo e avançar para os cenários alternativos, foi necessário validar os planos de produção simulado com o responsável da nave. Esta validação tinha o intuito de averiguar a existência de casos relevantes não previstos. A caracterização dos centros de trabalho da nave C2 já tinha sido realizada, no entanto a mesma estava incompleta o que abria uma possibilidade para a existência de erros. Após a análise do plano simulado, foram encontradas algumas incongruências com a realidade. Para os centros de trabalho caracterizados erroneamente foi possível efetuar a correção dos aspetos incorretos, no entanto, outros problemas requeriam mais tempo (e.g. implementar as sucessões de fabricos de famílias iguais, que são feitas para poupar nos tempos de *set-up*) e deste modo ficaram registados para futuros trabalhos. Isto leva a que os cenários não sejam uma representação exata da realidade, mas a sua comparação contínua válida dado que os pressupostos são idênticos.

Com a análise do cenário AS IS foi possível obter um ponto de partida para as restantes iterações. A comparação tinha como intuito não só extrair conclusões para o proveito deste projeto, mas também para validar os cenários simulados (i.e., discrepâncias que não fizessem sentido funcionavam como alerta para que algo pudesse estar errado com o cenário simulado).

O primeiro indicador a ser analisado foi a quantidade expedida diariamente (expressa em quilogramas). Esta era a quantidade de tinta que ficaria pronta para expedição num determinado dia. Pode-se observar a distribuição da mesma na figura 15. Para que seja menos complicado compreender os valores, pode-se observar uma breve análise dos dados na tabela 1. Através destes valores, foi possível calcular outro indicador: a data de conclusão de 80% do plano. O plano tinha início no dia 16 de junho e dava-se por completo no dia 20 de julho. A finalização

de 80% das OF's ronda o sétimo dia de julho, exceto para um dos cenários que será analisado posteriormente.

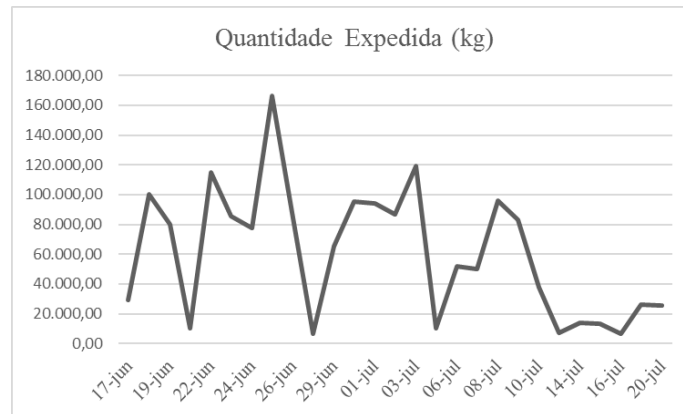


Figura 15 - Gráfico da Quantidade Diária Expedida (AS IS)

Qt. Diária Exp. (kg)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose
Junho	6.583,50	166.504,05	76.251,20	45.030,44	0,097275	0,439981
Julho	6.583,50	119.416,06	48.107,92	38.326,61	0,539982	-1,197065
Total	6.583,50	166.504,05	60.616,05	43.034,17	0,386389	-0,455460

Tabela 1 – Tabela Resumo Quantidade Diária Expedida (AS IS)

Os próximos indicadores prendem-se com a duração quer das operações correspondentes ao fabrico (POLINE's), quer das ordens de fabrico (PORDER). Como foi mencionado previamente, uma PORDER é constituída por pelo menos uma POLINE, e no limite a duração de ambas é igual (para fabricos sem enchimento). Usualmente, a média dos valores do *lead-time* das PORDER's são consideravelmente maiores que os das POLINE's. Uma explicação mais visual pode ser obtida visualizando a figura 16 e para facilitar a perceção desta desigualdade através de números concretos, observe-se a tabela 2.

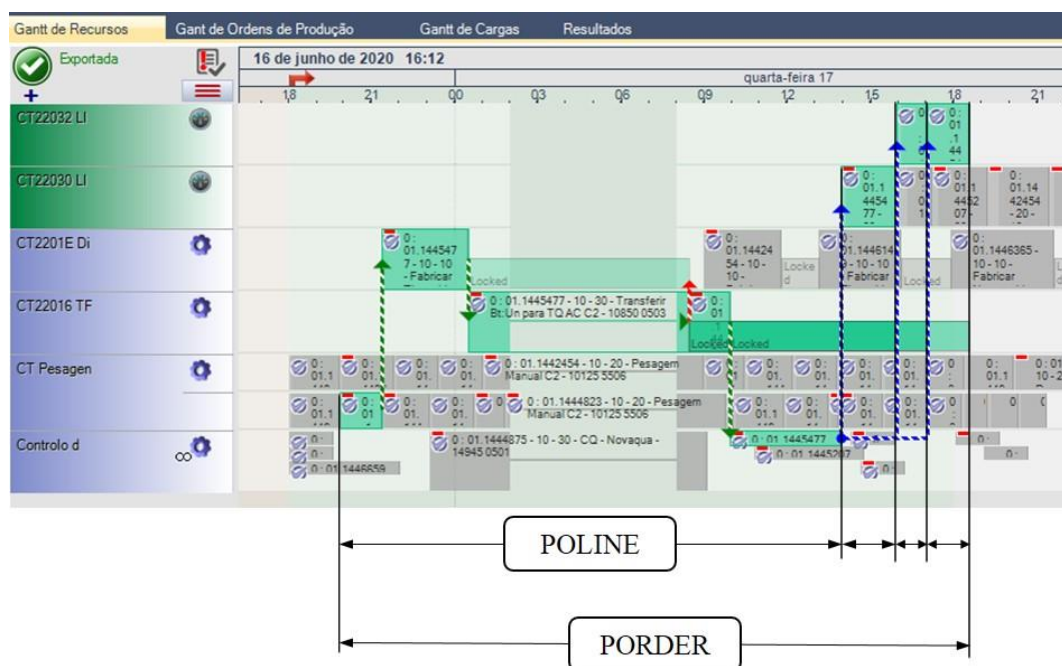


Figura 16 - Diagrama de Gantt Explicativo com POLINE e PORDER

Lead-Time (min)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose
POLINE	17,00	21779,00	2072,97	3808,45	2,3329	5,5283
PORDER	449,00	22111,00	5756,32	4801,01	0,8996	0,5408

Tabela 2 - Tabela Resumo *Lead-Times* (AS IS)

Os valores da assimetria e da curtose transmitem que a distribuição das POLINE's possui uma grande concentração de ocorrências na extremidade esquerda (valores inferiores à média), enquanto que a distribuição das PORDER's apesar de ainda se concentrar à esquerda da média, não possui tantos valores atípicos como a anterior (dado o baixo valor de curtose), ou seja, os valores estão mais dispersos ao longo da escala.

Por último, foram avaliadas as taxas de utilização e de ocupação. Estas foram separadas por fabrico, acabamento e enchimento. Para o fabrico considerou-se apenas as atividades de fabrico como úteis, sendo também estas a dar início ao bloqueio do dispersor. O desbloqueio ocorre com o término da última transferência correspondente a um determinado fabrico. Sendo o acabamento o seguimento da dispersão, tal implica que os tanques fiquem bloqueados no começa da primeira transferência de uma certa OF. As atividades úteis são apenas os acabamentos, e estes recursos só ficam desbloqueados após o último enchimento finalizar e desse modo deixar o tanque vazio. Para o enchimento apenas se calculou a utilização dos recursos, visto que não havia valores suficientes que permitissem efetuar a distinção entre utilização e ocupação. Nas tabelas 3 e 4 podem-se observar um resumo dos valores para as taxas de utilização e ocupação, respetivamente.

Taxa de Utilização (%)	Mínimo	Máximo	Média	Desv. Padrão	Assimetria	Curtose
Fabrico	0,36	41,43	19,62	18,46	0,0237	-3,2006
Acabamento	0,18	6,42	1,92	1,59	1,2262	2,0999
Enchimento	2,17	50,19	27,05	17,58	-0,0161	-1,2888

Tabela 3 - Tabela Resumo Taxa de Utilização (AS IS)

Taxa de Ocupação (%)	Mínimo	Máximo	Média	Desv. Padrão	Assimetria	Curtose
Fabrico	0,36	80,69	34,51	34,96	0,2744	-2,5002
Acabamento	0,22	55,46	23,97	16,51	0,1697	-1,0392

Tabela 4 - Tabela Resumo Taxa de Ocupação (AS IS)

Através dos dados apresentados, constata-se que, em média, nos dispersores apenas um quinto do tempo é aplicado a atividades de fabrico, enquanto que no que diz respeito ao enchimento, um pouco mais de um quarto do tempo é aplicado em atividades que acrescentem valor. Contudo, na área do acabamento verifica-se um aproveitamento muito baixo dos recursos. As atividades de acabamento ocupam, em média, apenas cerca de 2% do tempo disponível, o que leva a que estes recursos não sejam vistos como apelativos por parte dos investidores. A taxa de ocupação permite-nos verificar que os dispersores passam, em média, quase dois terços do tempo disponível vazios (e que são úteis pouco mais de metade do tempo que estão ocupados). Relativamente aos tanques de acabamento, o cenário ainda se agrava mais: em média, três quartos do seu tempo não é alocado a nenhuma OF e apenas um duodécimo desse tempo dedicado é útil.

Após a análise das oportunidades existentes para melhoria, e tentando suprimir os aspetos menos positivos supramencionados elaboraram-se alguns cenários focados em determinadas áreas, que *a priori* resolveriam parte dos problemas. Para suportar toda a análise, foi elaborado um documento que permitisse a manipulação dos dados, que estivesse maioritariamente automatizado para receber os conjuntos de dados e transformá-los em informação útil.

5.2 Elaboração de Cenários Alternativos

A análise do plano de produção, em conjunto com uma análise de um conjunto de dados de potenciais fabricos para junho e julho, permitiu formular algumas hipóteses de vias de melhoramento da performance da Nováqua. Todos os cenários alternativos foram simulados para satisfazer a mesma quantidade de carga e em cada um o algoritmo do APS tem como função alcançar o mesmo objetivo de otimização (i.e., prioridades dos fabricos).

A quantidade de tanques de acabamento na Nováqua, apesar de algo extensa, pode ser justificada pela ampla gama de quantidades produzidas. Todos os tanques podem vir a ser necessários, no entanto este mecanismo de segurança também possui algumas desvantagens. A sobrelotação do espaço fabril com tanques desnecessários é ineficiente, assim como uma baixa rotatividade dos ativos não apela a futuros investimentos. Deste modo, a primeira sugestão vai no encontro da redução do número de tanques de acabamento, a fim de aumentar a taxa de utilização dos que forem transferidos para a futura nave. Infelizmente, prevê-se que este seja um cenário com algumas desvantagens para outras áreas da fábrica, o que irá obrigar a consideração de um *trade-off*.

A fim de satisfazer uma procura acentuada e crescente, várias OF's têm a si associadas quantidades na ordem das dezenas de toneladas. Como a capacidade dos dispersores não é suficiente para acomodar o fabrico inteiro, torna-se obrigatório efetuar o fabrico em múltiplas tranches. A segunda sugestão relaciona-se então com o aumento da dimensão de um dos tanques dispersores, numa tentativa de reduzir nalguns casos o número de tranches necessárias para um fabrico, e também de reduzir o desperdício (tanto de tempo como de capacidade do dispersor). Será de esperar uma maior flexibilidade por parte do fabrico assim como uma redução dos *lead-times*.

Na sequência da transferência do fabrico de grandes volumes para a nova fábrica, parte dos recursos integrados nesta futura nave serão provenientes da Nováqua. No caso das linhas de enchimento, apenas as máquinas automáticas serão reaproveitadas. Durante muito tempo existiu a suspeita de que, na prática, o enchimento é o *bottleneck* da fábrica. A fim de dissolver esta questão, o último cenário irá considerar uma melhoria de tecnologia numa das linhas de enchimento. No caso da hipótese inicial se confirmar, será espectável observar melhorias consideráveis na quantidade expedida, e na utilização dos tanques de acabamento.

5.3 Redução do Número de Tanques de Acabamento

Nos últimos anos, tem havido um forte investimento por parte da CIN nos aspetos que possibilitem uma adaptação a um futuro mais exigente. No entanto, o retorno de parte desse investimento não está a ser tão alto quanto previsto inicialmente. Assim, a redução do número de tanques de acabamento na Nováqua foi uma das primeiras ideias a surgir, visto que acarreta ainda a vantagem da reutilização dos tanques na nova fábrica. Contudo, a imposição desta restrição pode levar a que se denotem algumas recaídas de outros indicadores, como pode ser o caso do aumento dos *lead-times*, o que pode levar a um cumprimento mais lento do plano, relativamente ao cenário AS IS.

Dada a inexistência de máquinas semiautomáticas na futura fábrica, optou-se por retirar grande parte dos tanques de menor dimensão, que estavam alocados a tintas incolores. Os dois que ficaram tinham como único objetivo processar este tipo de tintas, e para compensar a sua presença no modelo, foi retirado um tanque de 6000 litros. Para além destes, foi ainda desconsiderado um dos tanques de maior dimensão, com o intuito de compreender o impacto da sua ausência.

A redução do número de tanques não teve um impacto significativo na quantidade diária expedida. A média da quantidade diária expedida em junho é apenas inferior em uma tonelada

à do cenário AS IS, situação que se inverte no mês seguinte. Esta proximidade torna-se mais vincada quando se observa que ambos os cenários atingem a meta do cumprimento de 80% do plano no mesmo dia.

O aumento médio dos *lead-times* não foi tão significativo como inicialmente esperado, sendo que para as POLINE's e para as PORDER's foi de 30 e 110 minutos respetivamente, o que nem chega a corresponder a aumentos de 2%. O aumento era esperado pois ao disponibilizarmos menos tanques, estamos a aumentar as restrições do modelo, obrigando a que por vezes seja necessário esperar mais tempo para encaixar certas OF's no plano. No entanto, este aumento não se firma como uma desvantagem considerável do cenário, o que significa que as desvantagens previstas deste cenário não são tão relevantes para as metas de produção como se esperava.

Os valores médios das taxas de utilização mantiveram-se bastante semelhantes, com um pequeno aumento da taxa de utilização do acabamento, mas que não apresenta uma proporção notável. Por outro lado, houve alterações mais interessantes nas taxas de ocupação. Observou-se uma diminuição no setor do fabrico, especificamente no dispensor D5, visto que este era o que estava ligado exclusivamente aos tanques de menor capacidade, para o fabrico de tintas incolores. Com a quebra desta ligação, a sua taxa de ocupação diminuiu sete pontos percentuais. Por outro lado, houve um aumento expectável da taxa de ocupação no acabamento, cuja média a nível geral subiu 1.3 pontos percentuais.

5.4 Aumento da Velocidade das Linhas de Enchimento

Uma das partes fulcrais para o bom funcionamento do processo produtivo é o setor do enchimento. Esta é uma das atividades que por norma limita o desempenho total da fábrica. As máquinas de enchimento são dos recursos principais que mais tempo ocupam os operários durante as operações, para não mencionar os recorrentes tempos de *set-up*.

O aumento da velocidade das linhas de enchimento não irá aumentar simplesmente o rendimento do setor homónimo, como também pode interferir positivamente com outros recursos. As misturas que passam nos tanques de acabamento frequentemente destinam-se a múltiplos enchimentos. Com uma atualização tecnológica, o tempo de cada enchimento pode ser reduzido. Quanto menor o tempo de enchimento, mais rapidamente os tanques de acabamento ficam livres para albergar uma nova mistura, o que deixa à disposição do programador do plano da produção uma oportunidade de aumentar as taxas de utilização dos tanques de acabamento. Como referido anteriormente, este aumento da rotatividade dos ativos é interessante não exclusivamente do ponto de vista do aumento da capacidade produtiva, mas também para justificar o dinheiro investido nos recursos.

O cenário previsto para a Nováqua será a cedência das linhas automáticas de enchimento dedicadas a tintas lisas (i.e. ME-01, ME-26, ME-31) para a nova fábrica. No entanto, com a melhoria tecnológica foi posto em causa o facto das três máquinas serem necessárias para o bom funcionamento da fábrica. Deste modo, um cenário em que a linha ME-26 era desconsiderada também foi simulado.

A quantidade diária expedida não varia muito entre estes dois cenários, sendo que os valores são ligeiramente menores para o cenário sem a linha ME-26. Derivado deste pormenor, o cumprimento de 80% do plano ocorre no dia 6 de julho (um dia antes dos restantes) para o cenário com as três linhas.

Para os *lead-times*, a sequência é semelhante para POLINE's e PORDER's: do cenário AS IS há uma ligeira diminuição para o cenário com as três linhas, diferença que se torna um pouco maior quando trasladamos a análise para o cenário sem a ME-26. A primeira diminuição explica-se pela inserção no modelo de um recurso de tecnologia superior, que consegue

concretizar as operações em tempo reduzido. Ao retirar a ME-26 de cena, mais operações se irão concentrar na linha melhorada, o que diminui ainda mais os *lead-times* (o que não se reflete obrigatoriamente na quantidade expedida, como se viu pelos indicadores anteriores).

As taxas de utilização do fabrico e de acabamento não trazem novidades, no entanto algo interessante ocorre na taxa de utilização do enchimento. Uma queda de cerca de 4,5 pontos percentuais na média para o cenário com as três linhas, enquanto que o cenário sem a ME-26 apresenta uma descida de 1,2 pontos percentuais. Isto pode ser explicado pelo novo ritmo de trabalho da linha melhorada. Ao terminar as operações mais rápido, está a diminuir o tempo que passa a fazer algo útil, e acaba eventualmente por reduzir a sua utilização em 14 pontos percentuais (uma redução de 28%). Isto não implica que o cenário é pior, pois por outro lado o seu rendimento aumentou para o dobro, o que significa que dobrar o rendimento, e diminuir a utilização em menos de metade, continua a equivaler a ganhos para a fábrica. No cenário sem a ME-26, mais operações são alocadas à nova máquina o que aumenta um pouco a sua utilização, mas ainda não é suficiente para que o seu impacto se sinta no cômputo geral.

Por fim, as taxas de ocupação não apresentam variações avultadas, o que significa que o impacto de uma melhoria no setor do enchimento não tem tanta importância como esperado inicialmente, o que não ajuda a validar a hipótese de que o enchimento poderia ser o *bottleneck* da fábrica.

5.5 Aumento da Dimensão dos Tanques Dispersores

O propósito da criação da nova fábrica baseou-se na criação de uma unidade que suportasse apenas o fabrico de OF's às quais estivessem associadas grandes quantidades. A filosofia de reaproveitamento de recursos também se estende aos dispersores de tintas lisas. No entanto, ao criar uma nova unidade dedicada a grandes volumes, faria sentido que os recursos correspondessem às necessidades. De momento, os fabricos de grande volume têm que se dividir em três parcelas para poderem ser misturados nos dispersores. A aquisição de um dispersor de maior capacidade, que consiga reduzir estas divisões, pode trazer grandes vantagens para a duração das operações.

Após a análise do cenário, é possível afirmar que nenhum outro consegue atingir uma média de quantidade diária transferida tão alta. Durante o mês de junho, observa-se uma média de 111,5 toneladas diárias expedidas, o que supera em cerca de 35 toneladas diárias os restantes cenários. Durante o mês de julho a média baixa drasticamente, porque deixam de haver OF's planeadas. Ainda assim, a meta do cumprimento de 80% do plano é atingida ainda em junho, no dia 30 (cerca de uma semana antes dos restantes).

Outra diferença considerável reside nas alterações dos *lead-times*. Tal como ocorreu com os indicadores anteriores, é o cenário que se destaca pela positiva. Nota-se uma descida da média de cerca de 800 minutos para as POLINE's (o que corresponde a quase menos 40% do tempo médio inicial) e de quase 1580 minutos para as PORDER's (que equivale a uma descida de cerca de 27%). Estes ganhos são bastante úteis não só por tornarem o cenário apelativo para os investidores que terão que decidir a compra do novo dispersor de maior capacidade, mas também porque permite a conjugação com outros cenários hipotéticos cuja desvantagem seja o aumento dos *lead-times*.

A única taxa de utilização que sofre alterações notáveis é a do fabrico, com uma queda próxima dos dois pontos percentuais. Esta justifica-se pela diminuição da utilização dos dispersores de 8000 litros, visto que foi adicionado mais um, e pela ainda inferior utilização do novo recurso. O seu melhor rendimento leva a que tenha uma alta contribuição para a quantidade fabricada, tal como se pode ver pelos primeiros indicadores, no entanto efetua as operações em menos tempo, o que implica que menor será também o intervalo de tempo ao longo do plano em que ele é útil. Seguindo o mesmo raciocínio, a sua taxa de ocupação no fabrico também será inferior

à do cenário AS IS (uma diferença de cerca de nove pontos percentuais). Por fim, é possível constatar um aumento de cerca de sete pontos percentuais na taxa de ocupação do acabamento. Isto deriva da existência de maiores quantidades em simultâneo nos tanques, o que acaba por dar um pouco mais de propósito aos mesmos, ao invés de estarem apenas vazios.

5.6 Resumo Estatístico dos Cenários Alternativos

Após a descrição sucinta dos aspetos principais e diferenciadores de cada cenário, um resumo estatístico e gráfico do cenário base e dos alternativos será útil antes de se poder concluir sobre as vantagens e desvantagens de cada um.

Relativamente à quantidade diária expedida, podemos ver pela tabela 5 que os cenários não apresentam grandes diferenças entre si, mas há um deles que se destaca, especificamente no mês de junho (aquele onde a maioria das operações relativas a tintas lisas é feita): o cenário de aumento da capacidade do dispersor.

Dia	Qt. Diária (kg)				
	AS IS	Redução Tanques	Linha Enchimento	Linha Enchimento menos ME-26	Dispersor
17-jun	29.184,85	29.184,85	29.184,85	29.184,85	33.620,47
18-jun	99.923,28	99.923,28	107.109,49	107.109,49	112.116,40
19-jun	80.001,15	80.001,15	89.191,13	89.191,13	136.487,49
20-jun	10.076,67	10.076,67	30.833,91	8.155,24	29.572,93
22-jun	115.036,48	115.036,48	86.869,67	109.548,34	150.929,77
23-jun	85.418,85	85.418,85	75.186,34	75.186,34	158.085,79
24-jun	77.703,46	77.703,46	101.755,21	101.755,21	155.690,03
25-jun	166.504,05	140.168,89	136.030,37	129.128,19	157.123,84
26-jun	84.147,53	92.019,87	91.835,38	98.737,55	161.037,06
27-jun	6.583,50	7.111,26	6.583,50	6.583,50	6.583,50
29-jun	65.167,86	96.804,21	65.167,86	69.493,42	99.469,99
30-jun	95.266,76	67.756,35	95.266,76	72.983,06	137.303,82
01-jul	94.360,56	143.895,76	103.075,78	100.214,80	49.640,90
02-jul	86.465,52	39.957,41	104.297,78	117.992,99	43.949,53
03-jul	119.416,06	112.739,63	102.852,04	104.317,98	11.996,64
04-jul	9.983,46	9.983,46		9.759,77	9.032,63
06-jul	51.898,82	54.734,33	51.898,82	69.137,09	17.982,72
07-jul	50.260,76	69.053,00	54.430,04	92.135,19	23.262,87
08-jul	95.788,38	91.619,10	101.580,57	85.740,08	22.546,44
09-jul	83.252,15	83.252,15	73.290,68	54.047,49	13.968,90
10-jul	37.930,44	37.930,44	37.930,44	13.968,90	13.968,90
13-jul	7.385,40	7.385,40	7.385,40	7.385,40	7.385,40
14-jul	13.968,90	13.968,90	13.968,90	13.968,90	13.968,90
15-jul	13.140,00	13.140,00	13.140,00	13.140,00	13.140,00
16-jul	6.583,50	6.583,50	6.583,50	6.583,50	6.583,50
17-jul	25.918,28	25.918,28	25.918,28	25.918,28	25.918,28
20-jul	25.266,60	25.266,60	25.266,60	25.266,60	25.266,60

Tabela 5 - Tabela Resumo Quantidade Diária Expedida (Todos)

Uma visualização gráfica (figura 17) pode ajudar a compreensão da tabela, sendo bastante perceptível a localização dos fins de semana ao longo do plano, assim como a diminuição da quantidade expedida durante o mês de julho. Neste segundo mês a maioria das OF's ativas são de tintas texturadas. Este prolongamento do plano deturpa de alguma forma os indicadores calculados, pois os valores obtidos podiam ser ligeiramente melhores caso se analisasse exclusivamente o mês de junho. No entanto, para não arriscar comparações com pressupostos diferentes, foi sempre tida em conta toda a duração do plano para fins de análise dos cenários.

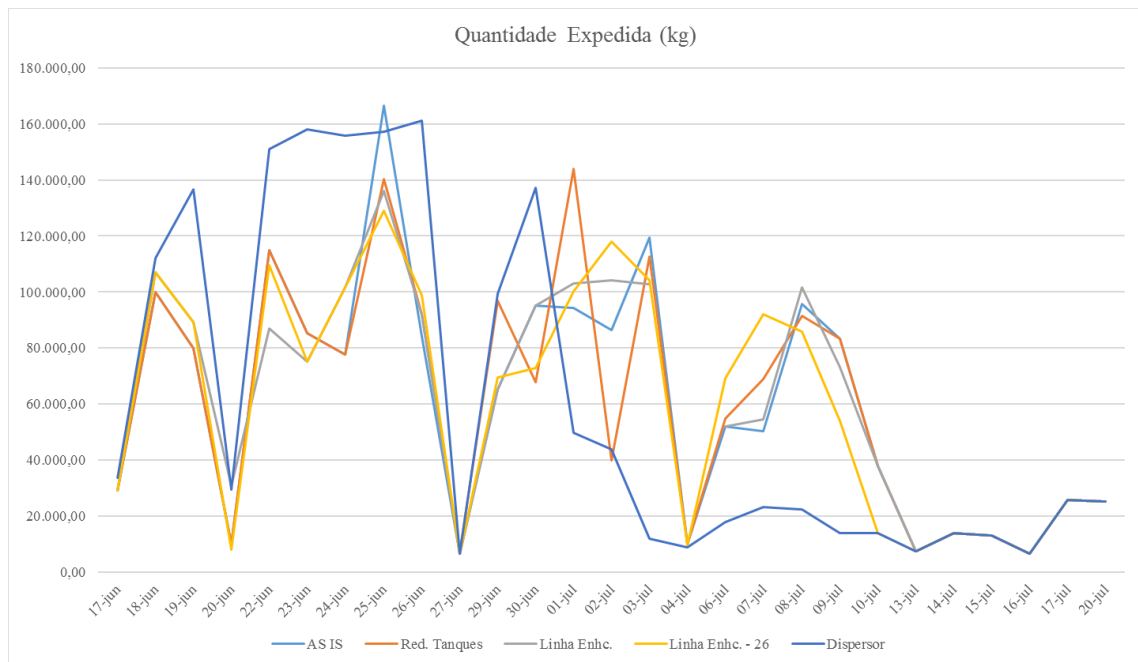


Figura 17 - Gráfico Quantidade Diária Expedida (Todos)

De maneira semelhante, os *lead-times* médios das POLINE's e PORDER's de cada cenário não apresentam divergências profundas entre si, excetuando o último cenário. Para suportar esta afirmação pode-se visualizar as tabelas 6 e 7.

<i>Lead-Time</i> (min)	POLINE's				
	AS IS	RT	LE	LE - 26	Disp.
Mínimo	17,00	17,00	14,00	14,00	17,00
Máximo	21.779,00	21.779,00	21.779,00	21.779,00	21.894,00
Média	2.072,97	2.103,41	2.050,20	2.017,30	1.270,72
Desv. Pad.	3.808,45	3.836,94	3.815,42	3.736,84	2.693,75
Assimetria	2,333	2,277	2,329	2,339	4,543
Curtose	5,528	5,219	5,509	5,746	26,740

Tabela 6 - Tabela Resumo *Lead-Times* POLINE's (Todos)

<i>Lead-Time</i> (min)	PORDER's				
	AS IS	RT	LE	LE - 26	Disp.
Mínimo	449,00	449,00	449,00	449,00	449,00
Máximo	22.111,00	22.111,00	22.111,00	22.111,00	22.226,00
Média	5.756,32	5.866,35	5.725,74	5.652,33	4.176,67
Desv. Pad.	4.801,01	4.831,31	4.769,03	4.661,27	3.875,98
Assimetria	0,900	0,830	0,908	0,931	2,245
Curtose	0,541	0,385	0,612	0,847	7,520

Tabela 7 - Tabela Resumo *Lead-Times* PORDER's (Todos)

Por fim, as tabelas 8, 9 e 10 permitem-nos rever o que foi constatado em cima relativamente às taxas de utilização, e o mesmo se aplica às tabelas 11 e 12 para a taxa de ocupação.

Fabrico	Taxa de Utilização (%)				
	AS IS	RT	LE	LE - 26	Disp.
Mínimo	0,360	0,360	0,360	0,360	0,360
Máximo	41,426	43,061	41,426	39,807	35,462
Média	19,620	19,620	19,620	19,620	17,265
Desv. Pad.	18,458	18,547	18,458	18,417	12,959
Assimetria	0,024	0,054	0,024	0,010	-0,187
Curtose	-3,201	-3,070	-3,201	-3,262	-1,541

Tabela 8 – Tabela Resumo Taxa de Utilização do Fabrico (Todos)

Acabamento	Taxa de Utilização (%)				
	AS IS	RT	LE	LE - 26	Disp.
Mínimo	0,182	0,182	0,182	0,182	0,766
Máximo	6,418	6,081	6,794	6,833	4,346
Média	1,923	2,043	2,043	2,043	2,041
Desv. Pad.	1,591	1,403	1,681	1,605	1,035
Assimetria	1,226	1,194	1,182	1,404	0,712
Curtose	2,100	2,979	2,392	3,745	0,004

Tabela 9 – Tabela Resumo Taxa de Utilização do Acabamento (Todos)

Enchimento	Taxa de Utilização (%)				
	AS IS	RT	LE	LE - 26	Disp.
Mínimo	2,165	2,165	2,165	2,165	2,163
Máximo	50,192	49,909	50,188	50,141	50,000
Média	27,052	27,004	22,611	25,862	26,953
Desv. Pad.	17,581	17,660	15,317	17,571	16,247
Assimetria	-0,016	-0,072	0,330	-0,138	-0,328
Curtose	-1,289	-1,325	0,022	-1,775	-1,108

Tabela 10 – Tabela Resumo Taxa de Utilização do Enchimento (Todos)

Fabrico	Taxa de Ocupação (%)				
	AS IS	RT	LE	LE - 26	Disp.
Mínimo	0,360	0,360	0,360	0,360	0,360
Máximo	80,691	76,531	80,672	79,785	44,288
Média	34,515	33,190	34,508	33,220	25,853
Desv. Pad.	34,956	33,276	34,948	33,409	18,595
Assimetria	0,274	0,241	0,274	0,262	-0,501
Curtose	-2,500	-2,581	-2,501	-2,462	-2,008

Tabela 11 – Tabela Resumo Taxa de Ocupação do Fabrico (Todos)

Acabamento	Taxa de Ocupação (%)				
	AS IS	RT	LE	LE - 26	Disp.
Mínimo	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217
Máximo	55,463	51,172	55,831	53,136	63,730
Média	23,969	25,264	24,402	24,291	31,075
Desv. Pad.	16,515	15,289	16,979	16,175	14,711
Assimetria	0,170	0,007	0,080	0,006	-0,040
Curtose	-1,039	-1,147	-1,202	-1,259	0,574

Tabela 12 – Tabela Resumo Taxa de Ocupação do Acabamento (Todos)

Com este suporte estatístico resumido dos valores obtidos para as simulações dos cenários, acrescido às explicações presentes em cada subcapítulo específico de cada um, pode-se dar início ao capítulo remanescente desta dissertação.

6 Conclusões

Baseado no cronograma inicial e nos objetivos estabelecidos para o projeto, pode-se afirmar que alguns objetivos foram atingidos. O panorama não só nacional, mas mundial foi prejudicial direta e indiretamente para muitos tópicos. Todos tivemos que adaptar os nossos trabalhos, e este projeto não fugiu muito à regra. Impuseram-se grandes limitações de acesso aos *softwares* e sistemas de informação da empresa, mas ainda assim foi possível dar a volta. Com o tempo mais escasso, não foi possível dar ao projeto o volume inicialmente esperado, mas foi possível chegar às bases do que era pretendido.

Após várias horas de contacto com a ferramenta de simulação, foi possível entender que apesar de ainda não estar totalmente amadurecida, é bastante útil, não só pela boa integração com os sistemas da empresa, mas também pela interatividade que tem para com o utilizador.

Os cenários alternativos escolhidos foram interessantes, pois para além de satisfazerem curiosidades e confirmar o que era genericamente esperado, trouxeram algumas surpresas. O cenário alternativo mais apelativo é o do aumento da capacidade do dispensor. Foi possível ver que ao adaptar melhor a fábrica à sua realidade (grandes volumes) é possível tirar mais proveito dos recursos a nível geral. Este cenário apresentava grandes quantidades diárias expedidas durante o primeiro mês, uma diminuição considerável de ambos os *lead-times* e ainda permite um uso mais regular dos tanques de acabamento.

No cenário da melhoria tecnológica da linha de enchimento foi possível constatar que um investimento em recursos aprimorados não acarreta consigo benefícios evidentes para a produção como um todo. O facto de a melhoria ter sido aplicada a uma só máquina limita um pouco o potencial deste cenário, no entanto os investimentos associados a estas linhas são elevados tornando-se complicado alastrar essa mudança para o setor inteiro. Terá que ser realizado um *trade-off* que permita compreender se o retorno sobre o investimento é aliciante. Por outro lado, as conclusões sobre o cenário da redução de tanques são bastante diretas. Foi possível verificar que mesmo retirando alguns tanques de acabamento, os indicadores relativos ao plano alternativo não se distanciam muito dos do real. Existe de facto sobrelotação de tanques na fábrica, e é possível efetuar cortes sem afetar significativamente as metas para a produção.

Mesmo com todo o estudo e raciocínio a suportar este projeto, é necessário compreender que isto são modelações de sistemas de informação que pretendem representar sistemas físicos, o que subentende sempre uma folga entre o virtual e a realidade. Existem sempre detalhes relevantes que poderão influenciar o resultado final, os quais podem ser possíveis de incorporar no modelo, ou então apenas podemos ter uma estimativa da sua influência (e.g. incertezas). Face a todas as restrições impostas pela situação vivida durante o desenrolar deste projeto, alguns dos detalhes possíveis de incorporar no modelo foram identificados como trabalhos futuros.

6.1 Trabalhos Futuros

A fim de conseguir uma representação fidedigna do contexto prático é necessário tentar sempre procurar maneiras de melhorar, pois o mundo é dinâmico, e da mesma forma também a nossa busca por melhoria o tem de ser. Ao longo do projeto foram reconhecidas algumas oportunidades de melhoria, e apresentam-se de seguida algumas notas sobre as mesmas, as quais podem servir de apoio para trabalhos futuros:

- Assegurar que os centros de trabalho estão sempre devidamente caracterizados no ERP e no APS, e para tal, tentar compreender os pequenos pormenores que diferenciam as OF's que passam em cada um;

- Fazer atenção ao escalonamento das pesagens no APS, e tentar que sejam distribuídas de uma forma mais homogênea ao longo do período de planeamento, aplicando o conceito de *buffer* de saída, o qual se relaciona com a definição de um limite máximo de OF's pesadas por intervalo de tempo;
- O sequenciamento das operações é algo que tem bastante importância para os planeadores, visto que desta maneira conseguem poupar bastante tempo em *set-up*. A melhoria do mesmo no APS ainda é possível, visto que algumas operações se posicionam em lugares que na prática fariam pouco sentido;
- Aplicar a filosofia de *Resource Lock Margin* no APS para o enchimento. Ela já existe para o fabrico e baseia-se em perceber se existe algum recurso alternativo para a próxima operação a escalonar, que apesar de estar ocupado no momento da data de início possível, ficará disponível num período de certo número de minutos a determinar (as configurações podem ser feitas recurso a recurso);
- Apesar de estar fora do contexto do projeto, o fluxo das tintas texturadas foi algo que afetou os valores dos indicadores considerados. As taxas de utilização e ocupação foram calculadas com base na duração do plano, o qual se prolonga em demasia para conseguir finalizar todas as OF's das tintas texturadas. Pelo diagrama de Gantt do APS é possível ver que o *bottleneck* do processo é o dispersor Vibromac, e não o setor do enchimento. Futuras simulações podem incidir na alteração dos recursos do setor da dispersão no fluxo das tintas texturadas;
- Por fim, mais diretamente associado a este projeto, teria sido interessante efetuar um desenho de experiências que permitisse compreender os resultados das interações entre cada combinação de cenários, pois neste caso concreto ficamos limitados ao relevo que cada um apresenta individualmente.

Referências

- Akmal, A., Podgorodnichenko, N., Greatbanks, R. e Everett, A. M. (2018), Bibliometric analysis of production planning and control (1990–2016), *Production Planning & Control*, Vol. 29, No. 4, pp. 333-351, doi: 10.1080/09537287.2018.1429030;
- Al-Tahat, M. D. e Bataineh, K. M. (2012), Statistical analyses and modeling of the implementation of agile manufacturing tactics in industrial firms, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2012, doi: 10.1155/2012/731092;
- Atividade (2 Novembro 2015), Acedido a 9 de Junho de 2020, Acedido em <https://cin.com/pt/cin>;
- Belil, S., Nikolay, N. e Sylverin, K. (2019), Production planning under demand uncertainty using Monte Carlo simulation approach: A case study in fertilizer industry, *2019 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, pp. 1-6, doi: 10.1109/IESM45758.2019.8948112;
- Buenker, J. D., Burnham, J. C. e Crunden, R. M. (1986), *Progressivism*, pp. 3–21, Rochester, Vermont: Scherikman Books, Inc.;
- Cheng, T. C. E. (1987), A simulation study of MRP capacity planning with uncertain operation times, *International Journal of Production Research*, Vol. 25, No. 2, pp. 245–258, doi: 10.1080/00207548708919837;
- Chae, B. (2009), Developing key performance indicators for supply chain: an industry perspective, *Supply Chain Management*, Vol. 14, No. 6, pp. 422-428, doi: 10.1108/13598540910995192;
- Crossan, M. M. e Berdov, I. (2003), Organizational learning and strategic renewal, *Strategic Management Journal*, Vol. 24, No. 11, pp. 1087-1105, doi: 10.1002/smj.342;
- Landvater, D. V. e Gray, C. D. (1989), *MRPII standard system: A handbook for manufacturing software survival*, Essex Junction, Vermont: Oliver Wight Publications;
- História (2 Novembro 2015), Acedido a 9 de Junho de 2020, Acedido em <https://cin.com/pt/historia>;
- Investigação e Desenvolvimento (2 Novembro 2015), Acedido a 9 de Junho de 2020, Acedido em <https://cin.com/pt/investigacao-e-desenvolvimento>;
- Karmarkar, U. (1989), Getting control of just-in-time, *Harvard Business Review*, Vol. 67, No. 5, pp. 122-131, Acedido em <https://hbr.org/1989/09/getting-control-of-just-in-time>;
- Kingman, J. F. C. (2009), The first Erlang century - and the next, *Queueing Systems*, Vol. 63, No. 1, pp. 3-12, doi: 10.1007/s11134-009-9147-4
- Koenigsberg, E. e McKay, K. N. (2010), A taxonomy for understanding the origins of production control, *Production Planning and Control*, Vol. 21, No. 5, pp. 437-451, doi: 10.1080/09537280903441518;
- Koh, S. C. L e Simpson, M. (2005), Change and uncertainty in SME manufacturing environments using ERP, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 16, No. 6, pp. 629-653, doi: 10.1108/17410380510609483;
- Kumar, S. A. e Suresh, N. (2008), *Production and operations management*, (2ª ed.), New Delhi, India: New Age International (P) Limited, Publishers
- Lambourne, R. e Strivens, T. A. (1999), *Paint and surface coatings: Theory and practice*, (2ª ed.), Cambridge, England: Elsevier Science;

- Liu, J., Li, C., Yang, F., Wan, H. e Uzsoy, R. (2011), Production planning for semiconductor manufacturing via simulation optimization, *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, pp. 3612-3622, doi: 10.1109/WSC.2011.6148055;
- Matos, N. (2016), *Otimização de pastas de moagem no fabrico de corantes* (Tese de Mestrado, Departamento de Química da Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal);
- Mimoso, T. (2018), *Implementação de uma ferramenta de programação avançada de produção numa empresa de tintas* (Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal);
- Missão & Estratégia (2 Novembro 2015), Acedido a 9 de Junho de 2020, Acedido em <https://cin.com/pt/missao-e-estrategia>;
- Monden, Y. (2012), *Toyota production system: An integrated approach to just-in-time*, (4ª ed.), Boca Raton: CRC Press;
- Motiwalla, L. F. e Thompson, J., (2012), *Enterprise systems for management*, (2ª ed.), Upper Saddle River: Pearson Education, Inc.;
- Musselman, K., O'Reilly, J. e Duket, S. (2002), The role of simulation in advanced planning and scheduling, *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Vol. 2, pp. 1825-1830, doi: 10.1109/WSC.2002.1166474;
- Na, H., Lee, H. e Park, J. (2008), A new approach for finite capacity planning in MRP environment, *International Federation for Information Processing*, Vol. 257, pp. 21-27, doi: 10.1007/978-0-387-77249-3_3;
- Novak, S. (2006), *The small manufacturer's toolkit: A guide to selecting the techniques and systems to help you win*, Boca Raton: CRC Press;
- Novo, A. (2018), *Atualização processual e tecnológica de uma unidade produtiva* (Tese de Mestrado, Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal);
- Orlicky, J. (1975), *Materials requirements planning – The new way of life in production and inventory management*, New York: McGraw-Hill;
- Ozyasar, H. (25 de Novembro de 2015), *What are the functions of a cost center in a management accounting system?*, Acedido a 13 de Junho de 2020, Acedido em <https://smallbusiness.chron.com/functions-cost-center-management-accounting-system-76935.html>;
- Performance Coatings (2 Novembro 2015), Acedido a 9 de Junho de 2020, Acedido em <https://performance-coatings.cin.com/pt/>;
- Plossl, G.W. (1994), *Orlicky's material requirements planning*, (2ª ed.), New York: McGraw-Hill;
- Políticas e Certificações (2 Novembro 2015), Acedido a 9 de Junho de 2020, Acedido em <https://cin.com/pt/politicas-e-certificacoes>;
- Powell, D. (2013), ERP systems in lean production: New insights from a review of lean and ERP literature, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 33, No. 11/12, pp. 1490-1510, doi: 10.1108/IJOPM-07-2010-0195;
- Quem Somos (2 Novembro 2015), Acedido a 9 de Junho de 2020, Acedido em <https://cin.com/pt/quem-somos>;
- Ranking Europeu e Mundial (2 Novembro 2015), Acedido a 9 de Junho de 2020, Acedido em <https://cin.com/pt/quem-somos>;

- Ribeiro, L., Barata, J. e Colombo, A. (2009), Supporting agile supply chains using a service-oriented shop floor, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 22, pp. 950-960, doi: 10.1016/j.engappai.2008.10.023;
- Salvendy, G. (2001), *Handbook of industrial engineering: Technology and operations management*, (3ª ed.), New York: John Wiley & sons, Inc.;
- Shahin, A. e Mahbod, M. A. (2006), Prioritization of key performance indicators: an integration of analytical hierarchy process and goal setting, *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 56, No. 3, pp. 226-240, doi: 10.1108/17410400710731437;
- Shao, X., Li, X., Gao, L. e Zhang, C. (2009), Integration of process planning and scheduling - A modified genetic algorithm-based approach, *Computers & Operations Research*, Vol. 36, pp. 2082-2096, doi: 10.1016/j.cor.2008.07.006;
- Sirk, C. (2 de Abril de 2020), *The history of kaizen*, Acedido a 9 de Junho de 2020, Acedido em <https://crm.org/articles/the-history-of-kaizen>;
- Slack, N., Chambers, S. e Johnston, R. (2002), *Administração da Produção*, (2ª ed.), São Paulo, Brasil: Editora Atlas S.A.;
- Stadtler, H. (2005), Supply chain management and advanced planning - Basics, overview and challenges, *European Journal of Operational Research*, Vol. 163, pp. 575-588, doi: 10.1016/j.ejor.2004.03.001;
- Standeven, H. A. L. (2011), *House paints, 1900-1960: History and use*, Los Angeles: Getty Publications;
- Stevenson, M., Hendry, L. C. e Kingsman, B. G. (2005), A review of production planning and control: The applicability of key concepts to the make-to-order industry, *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 5, pp. 869-898, doi: 10.1080/0020754042000298520;
- Sun, D., Huang, R., Chen, Y., Wang, Y., Zeng, J., Yuan, M., Pong, T. e Qu, H. (2019), *PlanningVis: A visual analytics approach to production planning in smart factories*, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 26, No. 1, pp. 579-589, doi: 10.1109/TVCG.2019.2934275;
- Uddin, N. e Hossain, F. (2015), Evolution of modern management through Taylorism: An adjustment of scientific management comprising behavioral science, *Procedia Computer Science*, Vol. 62, pp. 578-584, doi: 10.1016/j.procs.2015.08.537;
- van der Bij, H. e van Ekert, H. W. (1999), Interaction between production control and quality control, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 19, No. 7, pp. 674-690, doi: 10.1108/01443579910271665;
- Womack, J. P., Jones, D. T. e Roos, D. (2007), *The machine that changed the world: The story of lean production - Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry*, New York: Simon & Schuster, Inc.;
- Zahra, S. A. e George, G. (2002), Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension, *Academy of Management Review*, Vol. 27, pp. 185-203, doi: 10.2307/4134351;
- Zhang, T., Wang, Y., Jin, X. e Lu, S. (2019), Integration of production planning and scheduling based on RTN representation under uncertainties, *Algorithms*, Vol. 12, No. 6, doi: 10.3390/a12060120.

ANEXO A: Caracterização dos Centros de Trabalho da Nováqua

Pesagem

Centro de trabalho homogéneo

Recursos		Características
3x	Balanças PESTRONIX modelo Século XXI	Capacidade máxima: 150 kg Capacidade mínima: 2.5 g
1x	Balança PESTRONIX	Capacidade máxima: 2000 kg
2x	Empilhadoras Linde E16 Evo	Capacidade máxima: 1600 kg

Pesagem

Tipo de Operação	Set-up	Recursos Set-up	Execução	Recursos Execução
Pesagem	Recolha de matérias primas	➤ 1x Operário ➤ 1x Empilhadora	Pesagem de matérias primas	➤ 1x Balança ➤ 1x Operário ➤ 1x Empilhadora

Pesagem Automática

Silos de Origem	Balança	Processo de pesagem	Silos Intermédios
Titânios	TN2	Pesagem por parcelas, indo transferindo cada parcela para um silo intermédio, acertando o objetivo na última pesagem	T1 T2 T4
Cargas	TN1		T1 T2 T3 T4
Sólidos (Carbonatos e Areia)		Pesagem contínua e finaliza quando atinge o objetivo	T1

Pesagem Automática

Silos Intermédios	Acesso a Dispersor
T1	Vibromac
T2	D5 e Dispermix
T3 (usado no fabrico de 505)	D5
T4	D4

Dispersão

Recursos	Características
4x Tanques ➤ DP 01 (D136 – Dispermix); são 2 tanques ➤ DP 03 (Vibromac) ➤ DP 20 (D4) ➤ DP 19 (D5)	Capacidade ➤ Possivelmente 5000 ou 6000 L cada tanque ➤ 6000 L ➤ 8000 L ➤ 8000 L
1x Mini-dispersor ➤ DP 05 (DIAF-41)	➤ Tanques móveis até 1000L

Dispersão

Dispersor	Classe de Tinta	Sub-classe de Tinta
Dispermix	Lisas	Elásticas
D4		Branças (501) Primário (503) Outras bases (506, 508, 509)
D5		Branças (501) Primário (503) Transparentes (505) Outras bases (506, 508, 509)
Vibromac	Areados	

Dispersão

Tipo de Operação	Set-up	Recursos e Subrecursos Set-up	Execução	Recursos e Subrecursos Execução
Dispersão	Lavagem do tanque (não são regulares)	➤ 1x Dispersor ➤ 1x Operário	Adição de matérias primas	➤ 1x Dispersor ➤ 1x Operário ➤ 1x Empilhadora
			Dispersão	➤ 1x Dispersor

Acabamento

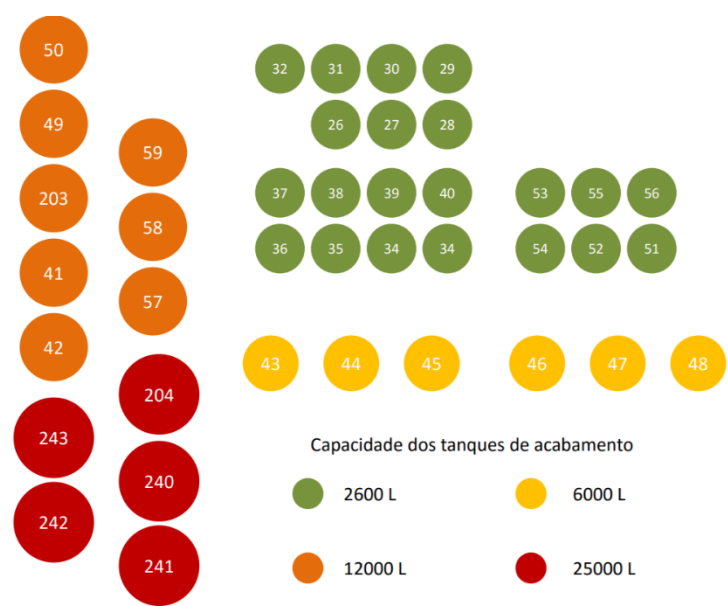
Recursos

Características

40x	Tanques	Capacidade
	➤ 9x Areados finos	
	➤ 6x	➤ 2600 L
	➤ 3x	➤ 12000 L
	➤ 31x Lisas	
	➤ 15x	➤ 2600 L
	➤ 16x	
	➤ 6x	➤ 6000 L
	➤ 5x	➤ 12000 L
	➤ 5x	➤ 25000 L

Acabamento

Tipo de Operação	Set-up	Recursos e Subrecursos Set-up	Execução	Recursos e Subrecursos Execução
Acabamento	Purgas; Lavagem do tanque (não são regulares)	➤ 1x Tanque de acabamento ➤ 1x Operário	Inserção de aditivos	➤ 1x Tanque de acabamento ➤ 1x Operário ➤ 1x Empilhadora
			Acabamento	➤ 1x Tanque de acabamento



Ligação entre Dispersores e Tanques de Acabamento

Dispersores (DP)	Tanques de Acabamento (TF)	Tubagem
Dispermix	49 50	
D4 & D5	41 42 43 44 45 46 47 48 203 204 240 241 242 243	Partilhada (não podem ser transferidos ao mesmo tempo para os TFs)
D5	26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40	Tubagem própria para 505
Vibromac	51 52 53 54 55 56 57 58 59	Tubagem própria para areados

Ligação entre Tanques de Acabamento

Origem	Destino
41 42 43 44 45 46 47 48 203	26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
57 58 59	51 52 53 54 55 56

Afinação

Ocasionalmente, por requisito de alguns clientes, é necessário afinar algumas bases na Nováqua. Por norma, as cores são: preto, vermelho e amarelo. Podem no entanto surgir outros pedidos especiais. O enchimento é feito na ME-20 ou manualmente.

Tipo de Operação	Set-up	Recursos Set-up	Execução	Recursos Execução
Afinação	Preparação de material de afinação	➤ 1x Operário	Afinação da tinta	➤ 1x Tanque de acabamento ➤ 1x Operário

Enchimento

	Recursos	Características
4x	Máquinas automáticas ➤ OB-90S (ME-26) & OB-60350-S (ME-31) ➤ OB-90S (ME-19) ➤ deVree & PMN (ME-01)	Automáticas ➤ Tambores de 15L ➤ Lisas ➤ Lisas e Areados finos ➤ Latas de 0,75L, 1L, 4L e 5L ➤ Lisas
3x	Máquinas semiautomáticas ➤ ME-03 ➤ ME-05 ➤ ME-20	Semiautomáticas ➤ Latas de 4L, 5L e 15L ➤ Areados espessos ➤ Lisas ➤ Latas de 0,25L, 4L e 10L ➤ Lisas - Tintas de teto, cores e amostras

Enchimento

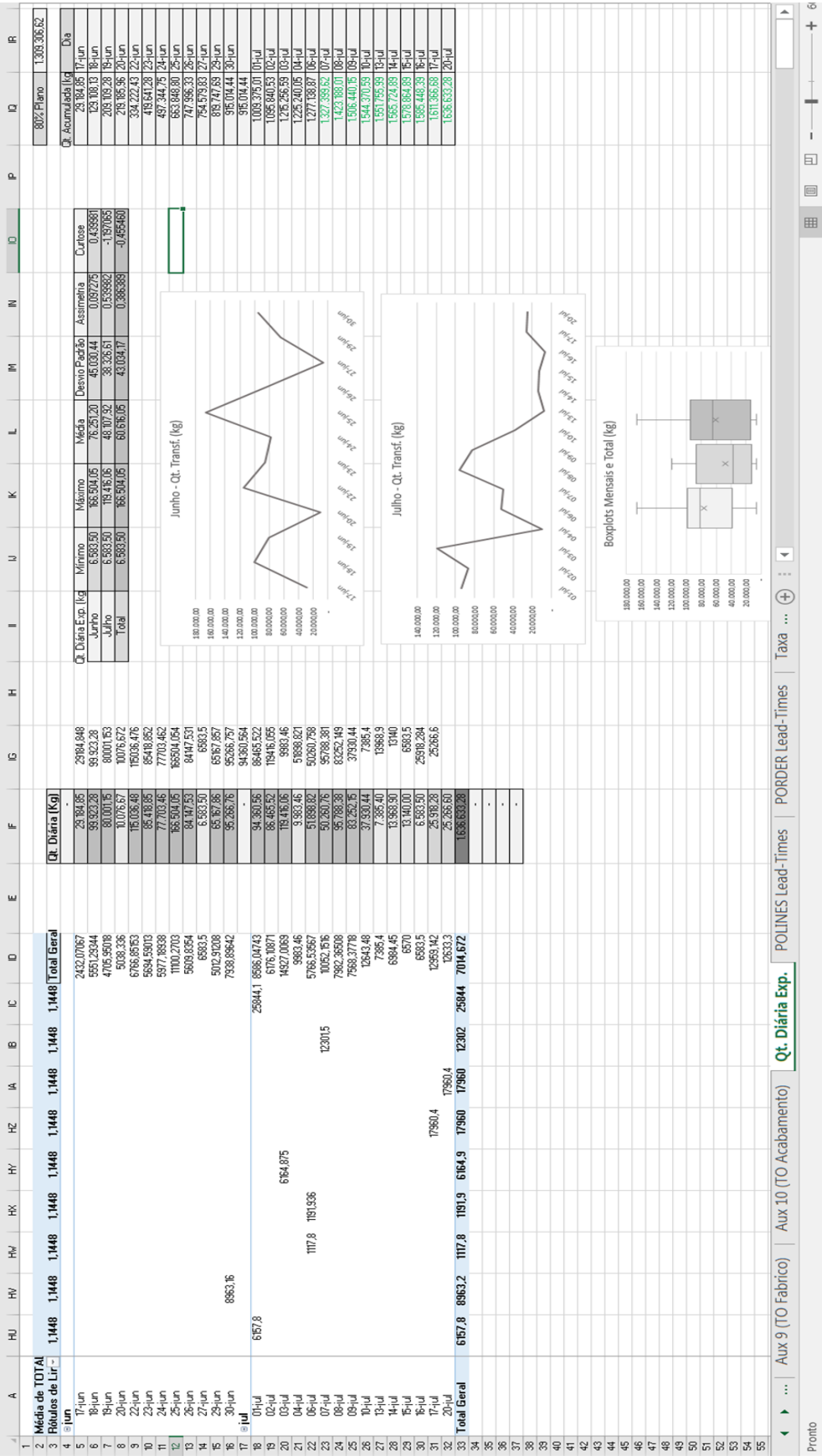
Tipo de Operação	Set-up	Recursos e Subrecursos Set-up	Execução	Recursos e Subrecursos Execução
Enchimento automático	Sangrar tanque	➤ 1x Operário	Etiquetagem e Enchimento	➤ 1x Máquina de enchimento ➤ 1x Operário
Enchimento semiautomático	Lavagem de filtro; Adaptar máquina às especificações do enchimento; Pré-filtragem (no caso da ME-05)			➤ 1x Máquina de enchimento ➤ 1x Operário ➤ 1x Tanque móvel (ocasionalmente)

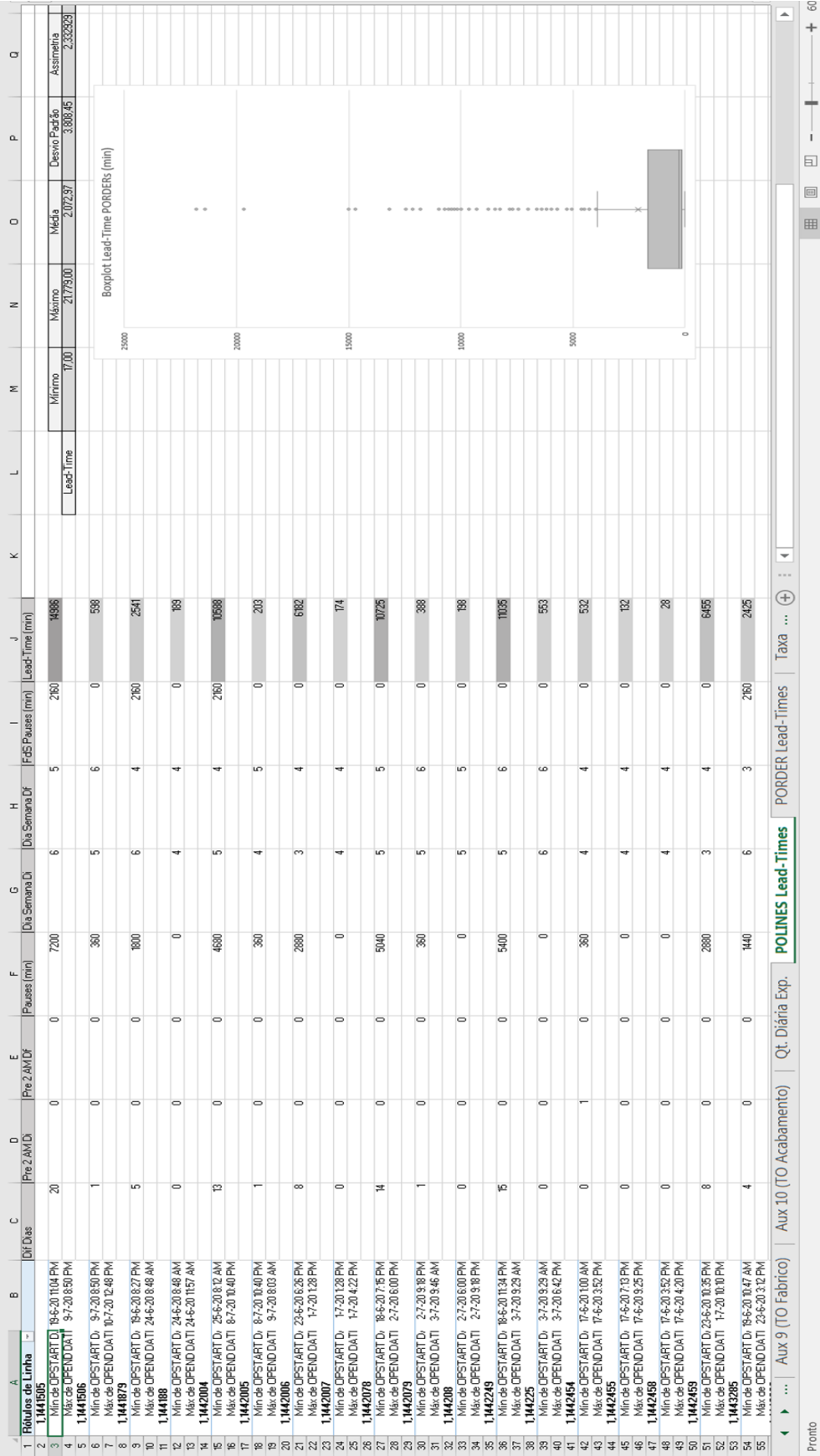
Enchimento Manual

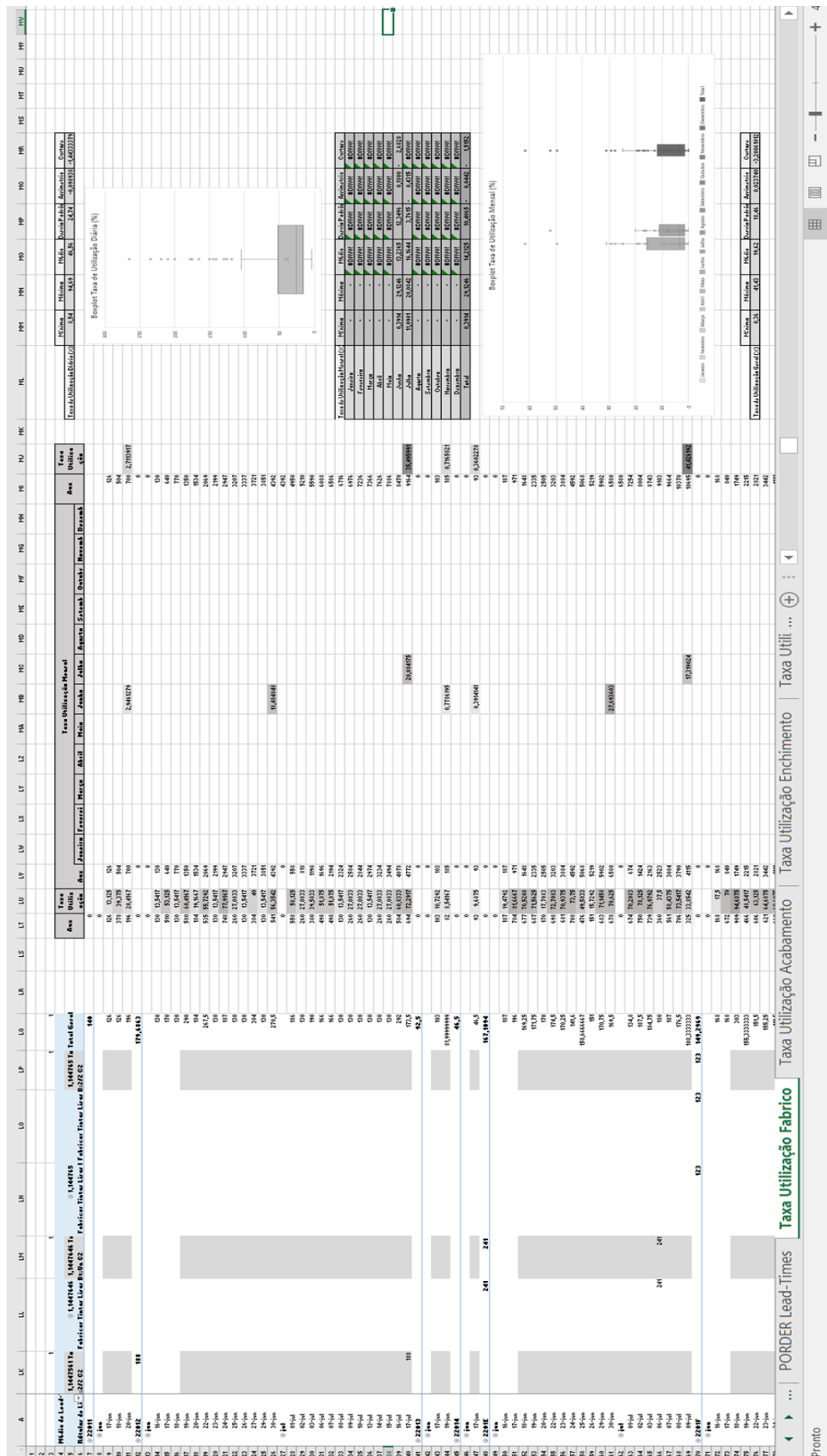
Recursos		Características
4x	Filtros	Filtros ➤ 2x Lisas ➤ 2x Areadas
2x	Máquinas manuais	
1x	Plataforma elevatória (usada com tanque móvel)	

O enchimento manual é feito por gravidade. Para além do recurso à plataforma, pode também ser feito diretamente debaixo dos tanques de acabamento.

ANEXO B: Folhas de Cálculo Criadas para a Análise dos Cenários (AS IS)







[illegible]