



**Production Planning and Scheduling in Supply Chain
Unicer Bebidas, S.A.**

Luis Filipe Ribeiro dos Santos Guimarães

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Bernardo Sobrinho Simões de Almada Lobo

Orientador na Unicer Bebidas, S.A.: Eng. Carlos César Moraes Teixeira



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão**

2009-07-02

Failing to plan is planning to fail.

Alan Lakein

Resumo

O ambiente competitivo em que as empresas actualmente se inserem é cada vez mais rigoroso para com a cadeia de abastecimento. Esta deve responder a clientes cada vez mais exigentes para com os seus produtos e prazos de entrega com o mínimo de desperdício. Adicionalmente, as empresas procuraram alargar o seu portfolio de produtos de forma a agradar a um leque mais variado de clientes nacionais e internacionais. Em consequência, o planeamento operacional tornou-se vital para o sucesso de uma organização.

Em resposta a esta complexidade, as empresas optam por *softwares* de optimização da cadeia de abastecimento, porém estes baseados em modelos matemáticos com pressupostos irrealistas, sugerem planos que obrigam a uma alteração manual dos gestores pondo em risco a sua credibilidade.

Este trabalho procurou desenvolver modelos matemáticos realistas para o problema do planeamento da produção na indústria cervejeira, de forma a otimizar a produtividade de curto e médio prazo respondendo aos clientes da forma mais económica. Os modelos desenvolvidos foram validados durante um período de testes na Unicer. Em resultado do estudo realizado foram também identificadas possibilidades de melhoria no processo.

Juntamente com o trabalho desenvolvido no planeamento da produção surgiu a oportunidade de colaborar num projecto inserido no processo de previsão de vendas. Este consistiu no desenvolvimento e implementação de uma ferramenta informática que permitisse aos gestores uma melhor tomada de decisão, contribuindo para uma melhoria dos indicadores de performance.

Palavras-chave: Planeamento da produção, Dimensionamento, Escalonamento, Programação Inteira Mista, *Advanced Planning Systems*, Previsão de Vendas

Production Planning and Scheduling in Supply Chain

Abstract

Nowadays competitive environment is increasingly tough and challenging for enterprise's supply chain. The SCs should respond in the most cost-effective manner to client's progressively higher quality and delivery requirements. In addition, company's product portfolio has increased lately, as an attempt to satisfy a broader range of clients. Therefore, SCs have become vital to business success.

Advanced planning systems (APS) address this complexity. Many companies have been using them, but their unrealistic assumptions oblige managers to review and modify manually suggested plans jeopardizing their advantages.

This work is focused in developing new mathematical formulations for the production planning problem in the beer industry, in order to fully optimize companies short to medium term plans by dealing with lotsizing and scheduling issues. The novel models have been tested and validated during the time spent at Unicer on real world instances. From the study, new features also emerged to improve the planning process.

Obviously such plans are only valid if they are sustained by realistic data like demand forecasting figures. The work completed in Unicer also included the creation of a demand forecast tool with the purpose of helping managers in their daily decision process and was integrated in project Terra. This project aimed at a better performance in sales forecasting.

Key-words: Production Planning, Lotsizing, Scheduling, Mixed Integer Linear Programming, Advanced Planning Systems, Forecast

Agradecimentos

Ao Engenheiro Carlos César pela oportunidade e crença no projecto.

À Engenheira Patrícia Pimenta pela simpatia e disponibilidade em responder a todas as minhas dúvidas.

Aos colegas do planeamento operacional pela integração na equipa e pelo companheirismo.

A toda a equipa do projecto Terra pelo empenho e espírito de grupo revelados, que possibilitaram o sucesso do projecto.

Ao Professor Bernardo Almada Lobo pela incansável ajuda prestada e pela infindável paciência durante a realização deste projecto. A sua exigência e os conselhos prestados foram fundamentais para o atingir dos objectivos.

A todos os professores do Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão pelos conhecimentos transmitidos.

Aos meus pais, avós e irmão por todo o apoio ao longo da realização do mestrado integrado.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Âmbito do Projecto	1
1.2	Objectivos	1
1.3	Temas Abordados e sua Organização no Presente Relatório	1
2	A Empresa.....	2
2.1	Apresentação da Empresa.....	2
2.2	Cadeia de Abastecimento	4
2.3	Processo Produtivo	9
3	<i>Advanced Planner and Optimizer</i>	14
3.1	Introdução	14
3.2	Situação Actual	19
4	<i>Demand Planning</i>	23
4.1	Métodos de Previsão	23
4.1.1	Introdução.....	23
4.1.2	Análise de Erros	24
4.2	Métodos Estatísticos de Previsão	26
4.3	Situação Actual	26
4.4	Projecto Terra	27
4.4.1	Novo Processo de Previsão de Vendas.....	28
4.5	SAP APO – <i>Demand Planning</i> (DP).....	30
4.6	Considerações Finais.....	35
5	<i>Supply Network Planning</i>	36
5.1	Introdução	36
5.2	Problemas de Dimensionamento de Lotes de Produção	37
5.3	Modelo Idealizado	41
5.4	Resultados	43
5.5	SAP APO – <i>Supply Network Planning</i> (SNP).....	44
5.6	Considerações Finais.....	46
6	<i>Detailed Scheduling</i>	47
6.1	Introdução	47
6.2	Dimensionamento e Escalonamento de Lotes de Produção	49
6.2.1	<i>Discrete Lotsizing and Scheduling Problem</i> (DLSP).....	50
6.2.2	<i>Continuous Setup Lotsizing Problem</i> (CSLP)	51
6.2.3	<i>Proportional Lotsizing and Scheduling Problem</i> (PSLP)	51
6.2.4	Comparação entre os modelos.....	52
6.3	Modelo Idealizado	53
6.4	Resultados	57
6.5	SAP APO – <i>Production Planning/ Detailed Scheduling</i> (PP/DS).....	60
6.6	Considerações Finais.....	62
7	Conclusões e Trabalhos Futuros	63
8	Referências	65
ANEXO A	Lista de Abreviaturas	67
ANEXO B:	Organograma da Unicer	69

ANEXO C:	Solução Semana 22	70
----------	-------------------------	----

Índice de Figuras

Figura 1: Cronograma da história da Unicer	2
Figura 2: Portfolio de Marcas	3
Figura 3: Mercados da Unicer	3
Figura 4: Centros de Actividade	4
Figura 5: Distribuição do volume (milhões de litros) pelos centros produtores	5
Figura 6: Embalagens colocadas no mercado por tipo	7
Figura 7: Processo Produtivo Cerveja	9
Figura 8: Processo de fabrico do mosto	10
Figura 9: Processo de fabrico da cerveja - 2ª parte Fase I	11
Figura 10: Processos Fase II	12
Figura 11: <i>Framework</i> de Planeamento Integrado	14
Figura 12: Funcionalidades de um APS: detalhe e horizonte temporal	17
Figura 13: Arquitectura típica de um APS	17
Figura 14: Fluxos de Informação entre as principais funções de planeamento	18
Figura 15: Estrutura do SAP APO	20
Figura 16: Fluxograma dos macro-processos de planeamento	21
Figura 17: Métodos de Previsão	24
Figura 18: Fluxograma do novo processo de previsão de vendas	29
Figura 19: Fluxos de informação na aplicação desenvolvida	30
Figura 20: Esquema de Funcionamento do DP	31
Figura 21: Fluxograma do processo actual de planeamento táctico	36
Figura 22: Esquema de funcionamento do SNP	44
Figura 23: Fluxograma do processo actual de planeamento de curto prazo	47
Figura 24: Taxa de enchimento após uma mudança de produto	48
Figura 25: Tempo de mudança	49
Figura 26: Conjunto de soluções dos modelos <i>small bucket</i>	53
Figura 27: Esquema do <i>output</i> dos modelos <i>small bucket</i>	53
Figura 28: Resumo dos indicadores da estratégia 'Linha Preferencial'	58
Figura 29: Resumo dos indicadores do da estratégia 'Optimizado'	59
Figura 30: Resumo da comparação entre a estratégia 'Linha Preferencial' e 'Optimizado'	60
Figura 31: Integração do módulo PP/DS no SAP APO	61

Índice de Tabelas

Tabela 1: Caracterização Centros Produtores	6
Tabela 2: Medidas de avaliação dos métodos de previsão	25
Tabela 3 - Processo de Previsão de Vendas: Responsabilidades	28
Tabela 4: Modelos Estatísticos do DP	32
Tabela 5: Análise do Módulo DP - SAP APO	34

1 Introdução

1.1 Âmbito do Projecto

A presente tese está englobada na unidade curricular de Projecto de Dissertação em empresa, que faz parte do plano de estudos do Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, e enquadrada no 2º semestre do 5º ano. O projecto decorreu na Unicer Bebidas S.A., denotada simplesmente de Unicer, incidindo sobre o estudo dos processos de planeamento operacional, mais concretamente o problema do planeamento da produção.

Actualmente este processo é da responsabilidade do departamento de Planeamento Operacional, no qual se desenvolveu este estudo.

1.2 Objectivos

A motivação deste trabalho é o estudo do problema do planeamento da produção na indústria cervejeira, desenvolvendo modelos matemáticos que consigam traduzir fielmente a realidade do processo produtivo. A finalidade passa por obter de uma forma automática planos válidos e que permitam à empresa responder da forma mais eficiente às exigências dos seus clientes.

Tais planos só são eficazes se se basearem em dados realistas, como as previsões de vendas. A participação num projecto inserido no processo de previsão de vendas levantou um novo desafio, designadamente o desenvolvimento e implementação de uma ferramenta informática que auxilia-se os seus utilizadores no seu dia-a-dia.

1.3 Temas Abordados e sua Organização no Presente Relatório

O relatório é constituído por sete capítulos e diversos anexos. O presente capítulo destina-se à introdução ao estudo realizado. No Capítulo 2 é apresentada a Unicer, descrevendo sucintamente a sua história, as suas áreas de negócio, posicionamento e a sua cadeia de abastecimento.

No capítulo seguinte é abordado o tema dos processos de planeamento e sistemas de apoio à decisão. O processo de previsão de vendas, como primeira etapa no processo de planeamento operacional é a temática do Capítulo 4, bem como o trabalho desenvolvido nessa vertente. O Capítulo 5 centra-se no estudo do planeamento da produção para um horizonte de médio prazo e, no Capítulo 6, a perspectiva de curto constitui o alvo de análise. Cada um destes três últimos capítulos contempla uma revisão da literatura versando o tópico em causa.

Finalmente, no Capítulo 7 são retiradas as conclusões sobre o trabalho desenvolvido e traçadas as linhas de trabalho futuro.

2 A Empresa

2.1 Apresentação da Empresa

A Unicer conta já com cerca de um século de história, apresentando-se hoje como uma empresa produtora e distribuidora de bebidas. Na Figura 1 é possível ver uma breve cronologia dos principais marcos históricos da empresa. Desde a sua fundação em 1890 sob a sigla de CUFP, Companhia União Fabril Portuguesa das Fábricas de Cerveja e Bebidas Refrigerantes, destacam-se marcos como: a construção da nova unidade da Via Norte, em Leça do Balio inaugurada em 1964; a primeira fase de privatização em 1989; a aquisição, nos primeiros meses de 2002, do Grupo Vidago, Melgaço e Pedras Salgadas – VMPS - e da totalidade da Caféeira; e em 2006 a reorientação estratégica para a focalização nos negócios das águas e das cervejas.



Figura 1: Cronograma da história da Unicer

Fonte: Unicer [2009]

No ano de 2007, a Unicer obteve um volume de vendas de 724 milhões de litros, representado as exportações cerca de 25% desse volume. O volume de negócios situou-se nos 457 milhões de euros, com uma rentabilidade de vendas de 6%.

O seu portfolio de produtos é muito alargado estando dividido em quatro sectores principais, presentes na Figura 2, sendo que também se dedica à produção e distribuição de vinhos e cafés.



Figura 2: Portfólio de Marcas

No que diz respeito aos mercados em que actua, a Unicer tem vindo constantemente a alargar a sua presença além fronteira. Como é visível na Figura 3, os principais mercados alvo de exportação, são a Europa Central e África, com um destaque especial para Angola.



Figura 3: Mercados da Unicer

Fonte: Unicer [2009]

2.2 Cadeia de Abastecimento

Com cerca de 1800 colaboradores distribuídos de norte a sul do país, a Unicer apresenta inúmeros pontos de actividade espalhados pelo país, e que podem ser consultados na Figura 4.

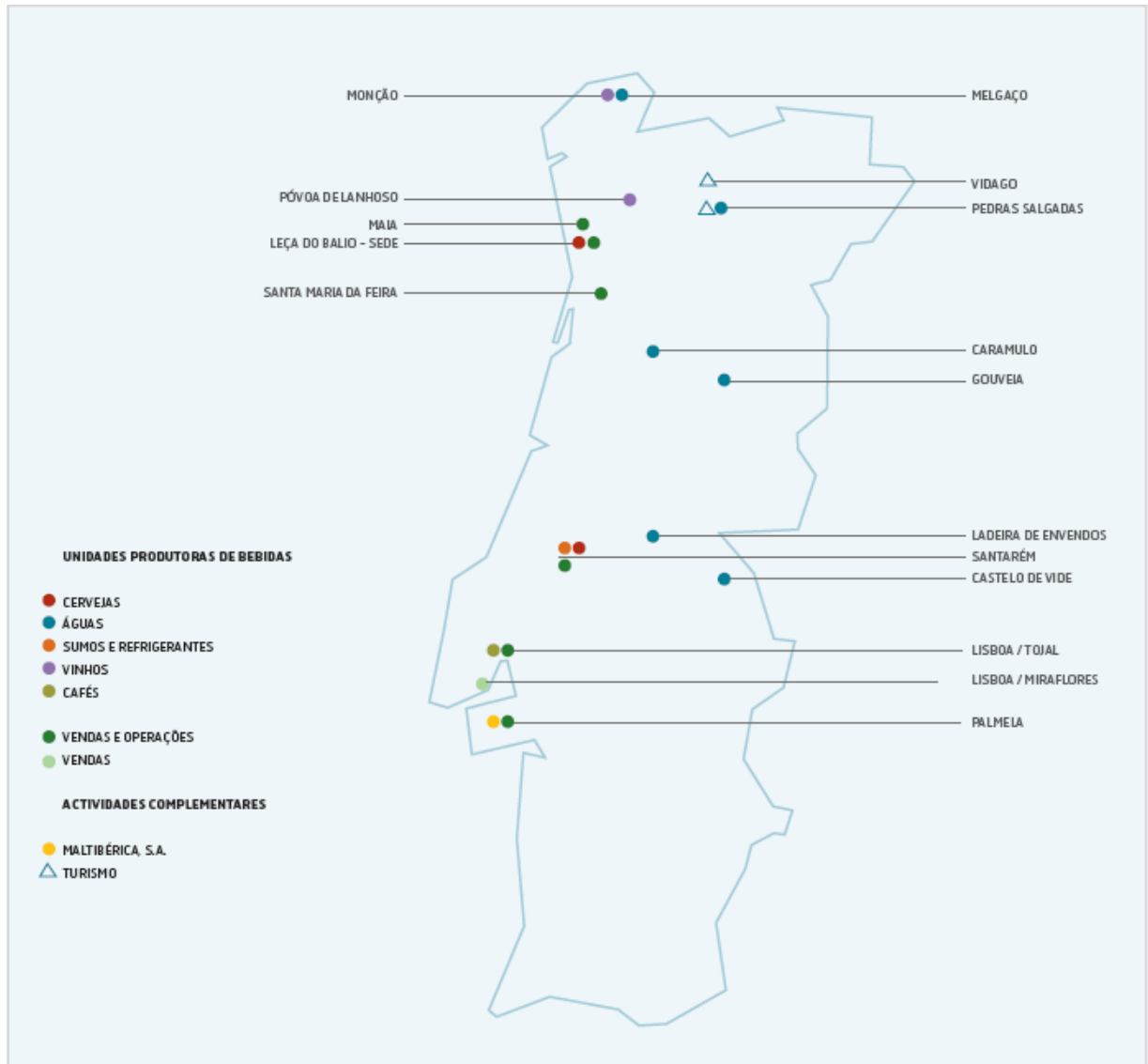


Figura 4: Centros de Actividade

Fonte: Unicer [2009]

Os centros produtivos mais importantes são: Leça do Balio, Santarém, Rical, Caramulo, Ladeira de Envendos, Castelo de Vide e Pedras Salgadas. Na Figura 5 pode ver-se a distribuição do volume, estimado pelo orçamento de 2009 (em milhões de litros) pelos centros produtores. Este é já um indício da elevada complexidade e abrangência do portfolio de produtos da Unicer.

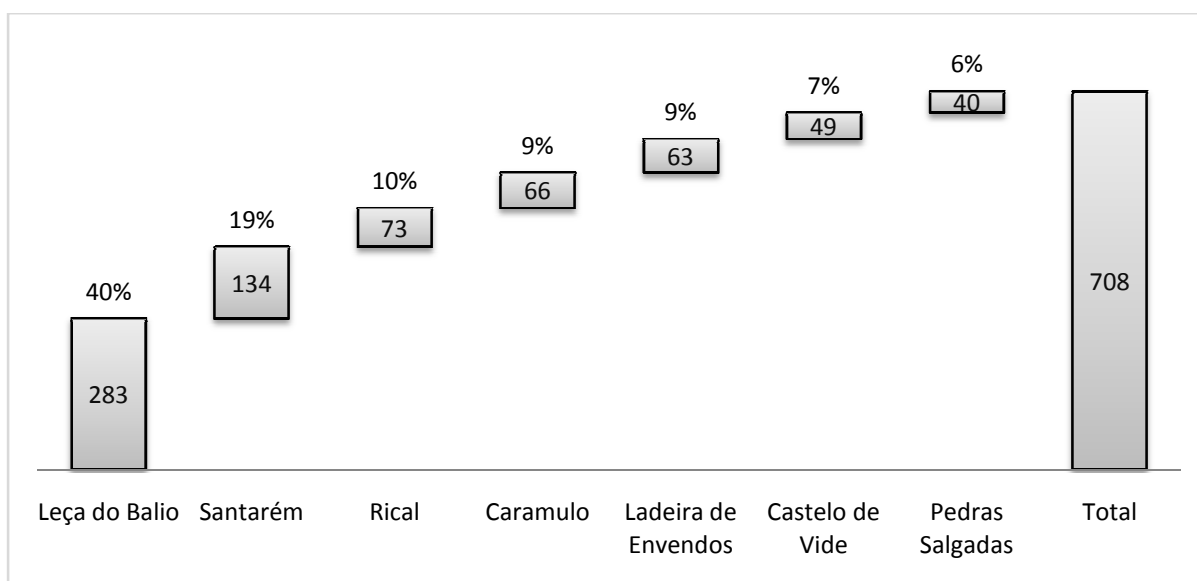


Figura 5: Distribuição do volume (milhões de litros) pelos centros produtores

De seguida apresenta-se uma breve caracterização de cada um deles.

Leça do Balio

Esta fábrica é a principal responsável pela produção em volume da Unicer, representado cerca de 40% do volume total de produção. Sendo que apenas se destina à produção de cerveja.

Esta fábrica conta com 5 linhas de enchimento. Três dessas cinco linhas estão associadas ao enchimento em garrafas de vidro. Uma delas está totalmente dedicada a garrafas de vidro de tara retornável (TR). Uma segunda linha dedica-se a tara perdida (TP) e TR e a terceira apenas a TP. Esta unidade possui ainda um par de linhas dedicadas ao enchimento de barris, uma apenas para barris de TP e outra para barris de TR.

Santarém

Esta unidade produtiva conta com 4 linhas de enchimento, uma exclusivamente para TR, uma para TP e TR, uma para enlatamento e, finalmente, uma linha para barris retornáveis. De todas as linhas, apenas a linha de lata não produz exclusivamente cerveja, produzindo também refrigerantes.

Rical

A unidade de Rical é fortemente dedicada a sumos e refrigerantes, contando com 5 linhas, entre as quais uma de garrafas de plástico de politereftalato de etileno (PET), uma de barril retornável, uma de TP para sumos, uma de TP para cerveja e uma de TP e TR para sumos e cerveja.

Caramulo

Local de captação e enchimento de água. Dispõe de três linhas de enchimento, todas para garrafas PET de diferentes volumes.

Ladeira de Envendos

Esta fábrica tem duas linhas de enchimento, ambas destinadas a garrafas PET, sendo também um local de captação de água.

Castelo de Vide

Castelo de Vide para além de local de captação de água, apresenta uma linha de enchimento para vidro TP/TR e duas para PET.

Pedras Salgadas

Também com três linhas de enchimento, duas dedicadas a garrafas de vidro de TP/TR e uma para PET e vidro TP.

A Tabela 1 resume esta caracterização.

Tabela 1: Caracterização Centros Produtores

	<i>TP</i>	<i>TR</i>	<i>Lata</i>	<i>PET</i>	<i>Barril</i>
Cerveja	● ● ●	● ● ●	●		● ●
Águas Lisas		●		● ● ●	
Águas Gasosas	●	●		●	
Refrigerantes	●	●		●	●

Legenda:

● Leça ● Santarém ● Rical ● Caramulo ● Ladeira de Envendos
 ● Castelo de Vide ● Pedras Salgadas

Esta primeira abordagem à grande complexidade dos produtos da Unicer centrou-se apenas no tipo de embalagem a que estes estão sujeitos. Em 2007, a Unicer foi responsável pela colocação no mercado de mais de 1.500 milhões de embalagens. Os tipos de embalagem acima referenciados garrafas de vidro TP e TR, PET, Lata e Barril são os principais, ainda que a empresa também comercialize algum volume noutros formatos. A Figura 6 caracteriza a distribuição das embalagens colocadas no mercado por tipo de embalagem, em percentagem de volume e em percentagem de unidades.

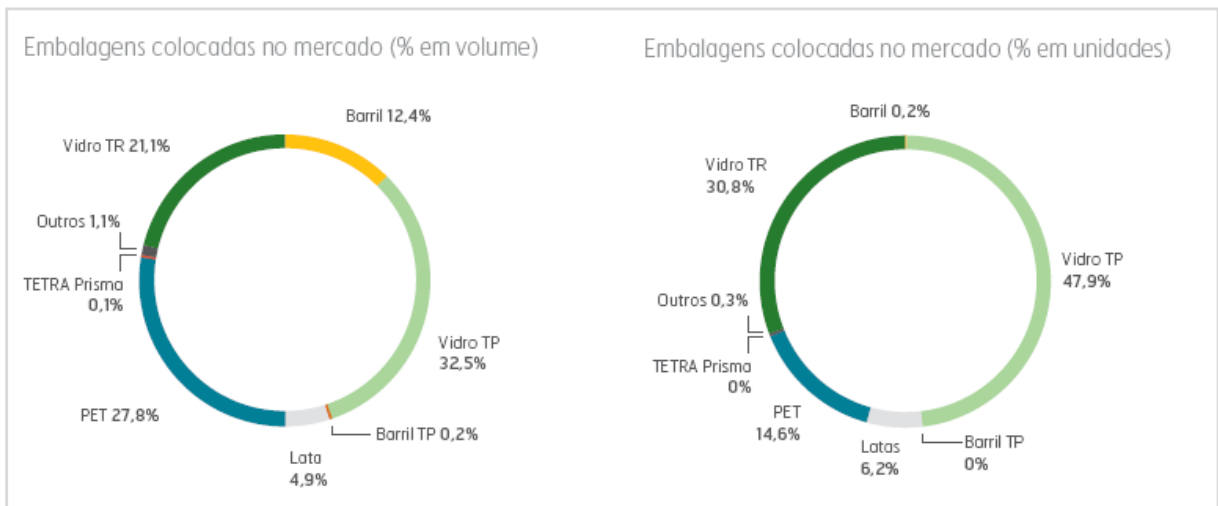


Figura 6: Embalagens colocadas no mercado por tipo

Fonte: Unicer [2008]

Embora seja um dos temas principais quando se discute a complexidade do produto, esta não se resume ao seu embalamento. Um determinado produto pode ser caracterizado segundo os seguintes critérios:

Tipo – Família onde está inserido (Cervejas, Águas Lisas, Águas Gasosas, Sumos e Refrigerantes);

Marca – Marca de comercialização (Super Bock, Vitalis, Frisumo, etc.);

Embalagem;

Tamanho – Volumetria da embalagem (0,33 cl, 0,20 cl, 20 L, etc.);

Embalamento Secundário/ Rotulagem – Agrupamento das embalagens em *pack* (*Six Pack*, *Ten Pack*, etc.), e/ou mudanças no rótulo;

Paletização – Tipo de paleta usada.

Esta grande diversidade dá origem a um grande número de *Stock Keeping Units* (SKUs), criando maior entropia na cadeia de abastecimento e tem vindo a crescer ao longo dos anos. Um dos efeitos deste cada vez mais abrangente portfolio de produtos é a afectação dos volumes de produção, resultado da necessidade de um maior número de mudanças de produto nas linhas de enchimento, que significam perda de tempo para produção. Este factor é mais determinante em linhas que operam muito próximo da sua capacidade máxima.

Por outro lado, a diversidade de SKUs afecta também o espaço de armazenagem, uma vez que obriga a armazenar mais produtos. A acrescentar a este problema, a existência de lotes mínimos de produção gera, para produtos com vendas mais reduzidas, mais *stock* com o risco de este se tornar obsoleto.

A juntar à temática da complexidade de SKUs, e para qualquer tipo de bebidas, sejam cervejas, águas, sumos ou refrigerantes, temos a sazonalidade do mercado. Assiste-se pois, a um pico de procura nos meses de verão. A sazonalidade pode ser descrita em três épocas, que correspondem a três quadrimestres:

Alta (Maio, Junho, Julho, Agosto);

Média (Março, Abril, Setembro, Outubro);

Baixa (Janeiro, Fevereiro, Novembro, Dezembro).

Embora este pico de procura afecte a cadeia de abastecimento em geral, este facto é particularmente sensível para os centros produtivos de Leça, Santarém e Rical, pois algumas das linhas apresentam claramente capacidade limitada para fazer face às necessidades de produção, operando na sua capacidade máxima. Resulta deste quadro a necessidade de, pontualmente, externalizar alguns enchimentos.

Outra forte restrição prende-se com o diminuto espaço de armazenamento disponível, sendo comum o aluguer de armazéns para lidar com as flutuações de *stock*, de advém da sazonalidade do mercado. A maior parte do *stock* está concentrada nos armazéns junto das unidades fabris, o que faz com que aumentos repentinos do *stock* levem a paragens nas linhas de produção.

Uma outra condicionante do planeamento da produção é a escassez de garrafas e barris retornáveis nos meses de pico de procura, condicionando assim os volumes de produção e podem mesmo levar a perdas nas vendas. Este ponto deve-se ao limitado parque de vasilhame que nos meses de procura mais elevada se encontra do lado do cliente.

Esta sucinta caracterização da cadeia de abastecimento permite identificar, à partida, situações que constituem importantes condicionantes ao planeamento da produção. De agora em diante, apenas se vai discutir o problema na óptica da indústria cervejeira, na qual se focou o projecto.

2.3 Processo Produtivo

O processo produção da cerveja como um produto acabado possui duas fases distintas, ver Figura 7. A primeira contempla a produção da cerveja em si, cabendo à segunda fase o enchimento.

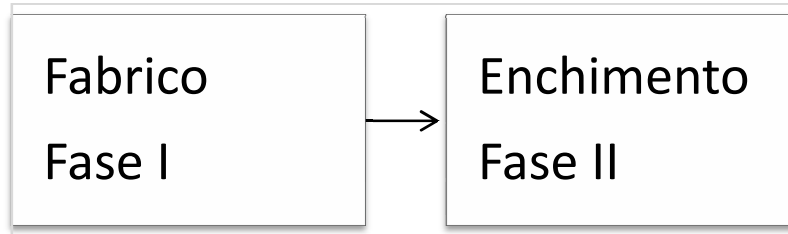


Figura 7: Processo Produtivo Cerveja

O processo de fabrico da cerveja (Fase I) apresenta características particulares, com algumas variações dependendo do tipo de cerveja. O processo inicia-se sempre com a recepção das matérias-primas que irão dar lugar ao mosto. A Figura 8 esquematiza a primeira etapa da produção de cerveja, o fabrico do mosto. Entre estas matérias-primas estão o malte e outros cereais não maltados. O malte obtém-se da cevada, sujeitando-a a um processo de germinação sob condições controladas. Esta operação (denominada maltagem) permite, numa fase posterior do processo de produção de cerveja, o desdobramento dos hidratos de carbono e das substâncias azotadas pelas enzimas formadas no processo de germinação. O malte é um dos componentes fundamentais de uma cerveja, sendo que diferentes maltes dão origem a características únicas de uma cerveja, como a sua cor e as suas propriedades aromáticas. O griz, milho moído ao qual foi retirada a gordura, é um dos cereais não-maltados mais frequentemente utilizados. Pode também utilizar-se cevada, arroz ou trigo. O recurso a estes cereais tem como finalidade diminuir a percentagem de proteínas existentes no mosto. Mais uma vez, a escolha dos cereais não maltados, condiciona as características que a cerveja terá.

Da combinação de malte com cereais não maltados e posteriores processos resulta o mosto. A operação de moagem é a primeira etapa real de fabrico e consiste na divisão da fracção farinosa do malte, separando as cascas – glumas e glumelas – responsáveis pela porosidade da camada de drêche, tendo em vista uma boa extracção na brassagem e a adequação aos sistemas de filtração do mosto. É realizada recorrendo a mós metálicas que desfazem os grãos que compõem o mosto. De seguida, a operação de brassagem consiste na extracção enzimática da totalidade do amido e na transformação deste numa proporção variável de açúcares fermentescíveis (glucose, maltose e maltotriose). Durante a brassagem extraem-se proteínas transformadas em péptidos e aminoácidos e β -glucanas degradadas em glucose. O controlo deste processo é automático, sendo necessário o controlo do pH e do nível de cálcio.

Na filtração do mosto, a etapa seguinte, procede-se à separação sólido-líquido da fracção insolúvel do mosto - drêche - por filtração. O drêche é um dos subprodutos do fabrico de cerveja, sendo reaproveitado para ração animal. Na fase de ebulição do mosto ocorre a sua esterilização, a destruição de enzimas, a solubilização e a isomerização dos princípios activos do lúpulo, a coagulação de proteínas, a concentração do mosto e a eliminação de substâncias voláteis indesejáveis. Este processo é condicionado pela sua duração, pH, temperatura, taxa

de evaporação e intensidade da ebulição. Durante a ebulição é adicionado lúpulo granulado ou extracto de lúpulo. O lúpulo é o responsável pelo sabor amargo da cerveja.

Na fase de ebulição são também adicionados açúcares sob a forma de xarope de glucose ou sacarose. Se necessário, são ainda adicionados materiais correctores de cor e pH.

Sucedese a etapa da clarificação, consistindo na separação do precipitado proteico e dos resíduos do lúpulo. O precipitado após remoção poderá sofrer um processo de reprocessamento em sala de fabrico, com vista à recuperação do mosto de embebição.

A última etapa na fabricação do mosto é o arrefecimento. O mosto quente é arrefecido a uma temperatura definida. Esta operação é conduzida em condições estéreis, utilizando-se permutadores de placas.

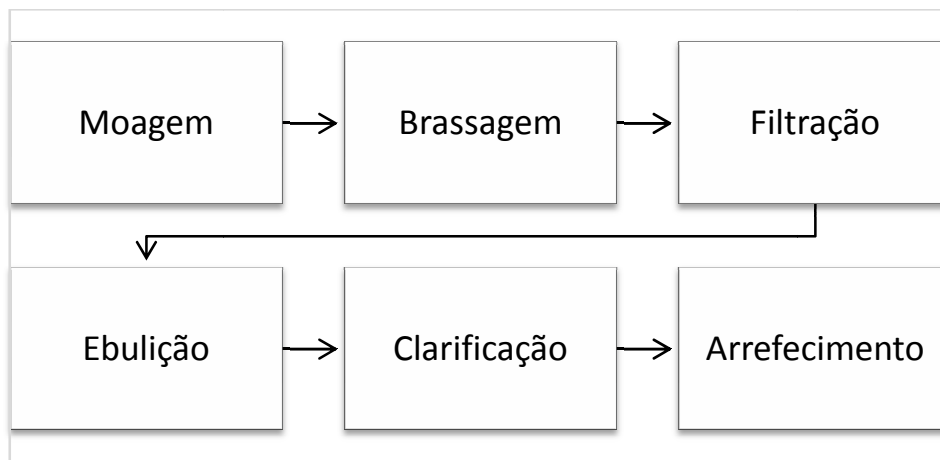


Figura 8: Processo de fabrico do mosto

Após fabricado o mosto, este é depositado em cubas onde terão lugar três processos distintos (Figura 9). A fermentação é o primeiro desses processos, na qual intervém a levedura. A levedura é um agente biológico que transforma os açúcares (açúcares fermentescíveis) presentes no mosto em etanol e CO₂, no fundo catalisando a fermentação alcoólica. Durante a fermentação, a levedura multiplica-se duas a três vezes. Terminada esta fase a população levuriana mantém-se estacionária e a levedura começa a destacar-se do meio. Esta levedura é criada, mais correctamente propagada em reservatórios especiais, à parte dos destinados à fermentação, podendo no final do processo de fermentação ser recuperada.

A fermentação é conduzida em tanques cilindro-cónicos. O método de controlo e regulação está completamente automatizado. Sendo a fermentação um processo exotérmico, o controlo de temperatura é conseguido por intermédio de um fluído refrigerante que circula em camisas isoladas do produto. Também o CO₂ produzido durante a fermentação é recuperado quando atinge o grau de pureza.

Segue-se a maturação que se destina à eliminação de substâncias indesejáveis no plano sensorial. Nomeadamente o diacetilo, aldeido acético, sulfureto de hidrogénio e outros compostos por via química, biológica e física arrastamento por CO₂. A temperatura de maturação exerce uma influência importante na duração deste processo, sendo um dos parâmetros a ter em atenção.

Por fim vem a estabilização a frio, que por processos químicos favorece a formação de complexos proteína-polifenóis. O método utilizado consiste no arrefecimento da cerveja a uma temperatura tão próxima quanto possível do ponto de congelação. Este processo pode ser conduzido no mesmo equipamento em que se realizou a maturação ou por um permutador externo. O método utilizado para o arrefecimento influencia decisivamente a duração do processo. Durante este processo a levedura continua a separar-se do meio. Pode ser separada por centrifugação, antes ou após o arrefecimento. Após arrefecimento, a cerveja é mantida por um período definido à temperatura de arrefecimento.

De forma a preparar a cerveja para a fase de enchimento, existe um processo de filtração. A primeira etapa do processo de filtração é a clarificação que assegura a brilhância e a estabilidade coloidal da cerveja durante a fase de armazenagem posterior ao enchimento, conferindo o aspecto desejado à cerveja. Esta etapa elimina também os complexos proteino-polifenóis e retém a quase totalidade da levedura. A clarificação da cerveja é realizada por centrifugação e por filtração com Kieselguhr (tipo de filtro).

A etapa seguinte é a estabilização da cerveja, que é feita com PVPP (Polivinil-polipirrolidona) e visa a redução de polifenóis, através de um processo de adsorção, permitindo a estabilidade da cerveja durante a armazenagem.

Até este ponto a cerveja disponível possui uma percentagem de extracto superior à que estará presente no produto final. A etapa seguinte destina-se a realizar o ajustamento final do extracto, em linha com a carbonatação. A água utilizada na diluição é arrefecida e desarejada com o objectivo de precaver a oxidação da cerveja. Para além das correcções de extracto e de teor de CO₂, podem ser corrigidas outras características como a coloração, as unidades de amargo e o teor de SO₂ da cerveja. Para o caso da cerveja com sabores, procede-se previamente à preparação do xarope, sendo este diluído na cerveja.

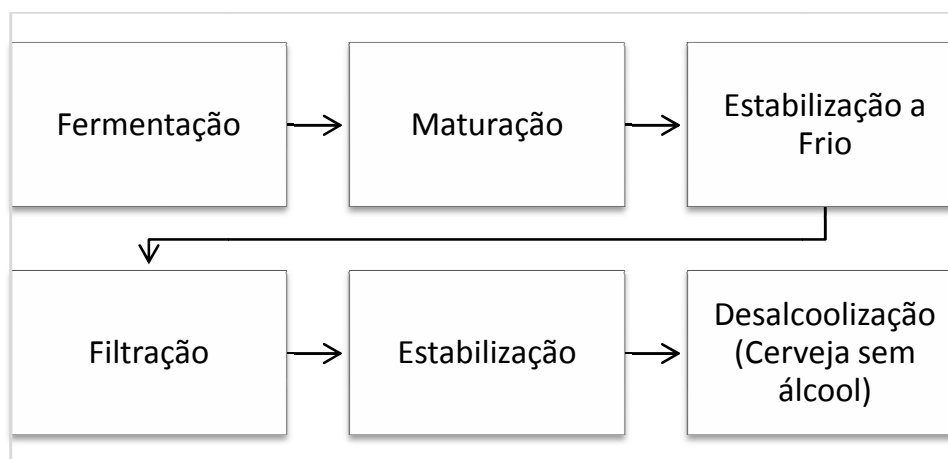


Figura 9: Processo de fabrico da cerveja - 2ª parte Fase I

Ainda a referir para o caso das cervejas sem álcool a etapa da desalcoolização, que consiste na remoção do álcool da cerveja através de um processo de destilação / *stripping* (através de arrastamento por vapor). O vapor utilizado nesta etapa é vapor de água desarejada, mais uma vez com o objectivo de não oxidar a cerveja.

A fase de enchimento (Fase II) é despoletada pelo planeamento da produção, sendo a cerveja recebida das adegas/cisternas pelo enchimento. O esquema do processo completo pode ser visto na Figura 10.

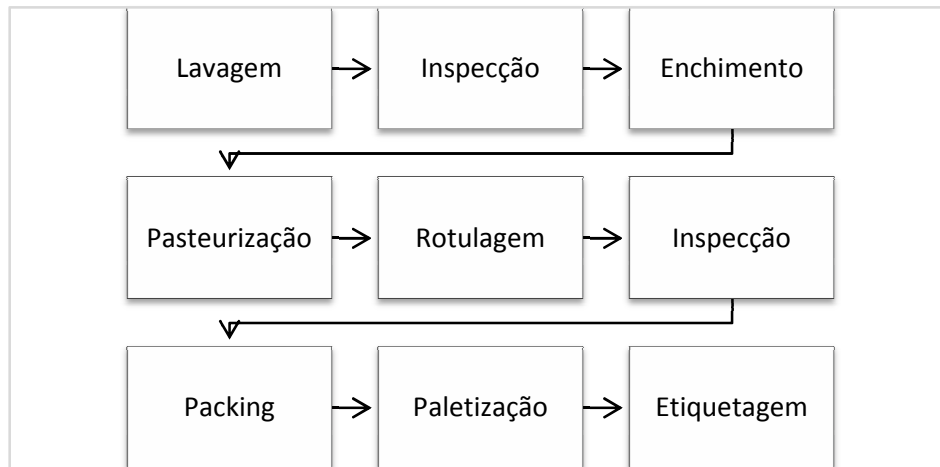


Figura 10: Processos Fase II

A primeira etapa desta fase é a lavagem/enxaguamento, onde as garrafas TR são submetidas a uma operação de lavagem para garantir a remoção de impurezas físicas, químicas e biológicas. As garrafas TP e as latas são apenas sujeitas a enxaguamento. Segue-se a inspeção de garrafas vazias que se destina a garantir a ausência de contaminação física e química das garrafas antes do enchimento. No caso de enchimento em garrafas de alumínio, o inspector de vazio é desligado. Para as garrafas de TR é ainda realizada a inspeção de líquido residual, e tem como objectivo garantir a ausência de líquido (nomeadamente resíduos cáusticos, resultantes da lavagem) nas garrafas antes da fase de enchimento. Na etapa seguinte efectua-se o enchimento de cerveja em garrafa TR, TP e em lata, respeitando as condicionantes tecnológicas, de garantia de qualidade do produto e de segurança dos consumidores. A etapa de pasteurização assegura a estabilidade biológica do produto durante a armazenagem, conferindo-lhe uma certa validade. A rotulagem identifica o produto, de acordo com os requisitos definidos para o efeito, nomeadamente no que respeita à informação ao consumidor e imagem do produto. Os produtos são codificados com o lote e data de validade. Esta actividade não se aplica a garrafas de alumínio. Seguidamente, inspeciona-se as garrafas/latas cheias, de forma a garantir o volume especificado de cerveja nas garrafas/latas. As garrafas/latas não conformes com as especificações são rejeitadas automaticamente, enquanto as restantes passam então à etapa de embalagem de acordo com as unidades de venda indicadas no Programa de Produção, podendo ser agrupadas em *packs* e/ou encaixotadas/engradadas. Por fim, realiza-se a etapa de paletização e etiquetagem. As grades e as embalagens são paletizadas de acordo com uma matriz de paletização optimizada para cada tipo de agrupamento. As paletes são envolvidas em filme estirável. A etiquetagem de palete destina-se a identificar cada palete individualmente, garantindo a sua identificação e a rastreabilidade do produto.

A etapa de avaliação do produto classifica o produto acabado, como disponível ou indisponível, competindo ao Controlo da Qualidade esta análise. Se o resultado for “conforme”, o produto é considerado disponível para expedição, devendo ficar evidenciado o

seu estado através da utilização de identificadores. No caso de produto “não conforme”, o produto deverá continuar segregado e bloqueado.

O produto resultante de inícios e fins de enchimento e mudanças de produto deve permanecer segregado e identificado até ao parecer do Controlo da Qualidade.

As linhas de enchimento, responsáveis pelo processo descrito, são constituídas por um tapete rolante que atravessa os vários conjuntos de máquinas, cada um encarregue de uma das operações presentes na Figura 10. Operam, em geral, 24 horas por dia, 7 dias por semana. Quando se executa uma mudança do produto a encher, esta consome tempo, ou seja capacidade da linha, reduzindo assim o seu *output* teórico. Estas mudanças são dependentes da sequência de troca dos produtos, originando também por vezes perdas de cerveja e/ou necessidades de limpeza da linha. O estudo realizado no âmbito do planeamento da produção de curto prazo centrou-se neste problema.

3 Advanced Planner and Optimizer

3.1 Introdução

O planeamento da produção insere-se na *framework* de planeamento integrado (Figura 11). Este modelo das decisões de planeamento apresenta um carácter bidimensional, sendo uma das dimensões o departamento envolvido e a segunda o horizonte temporal.

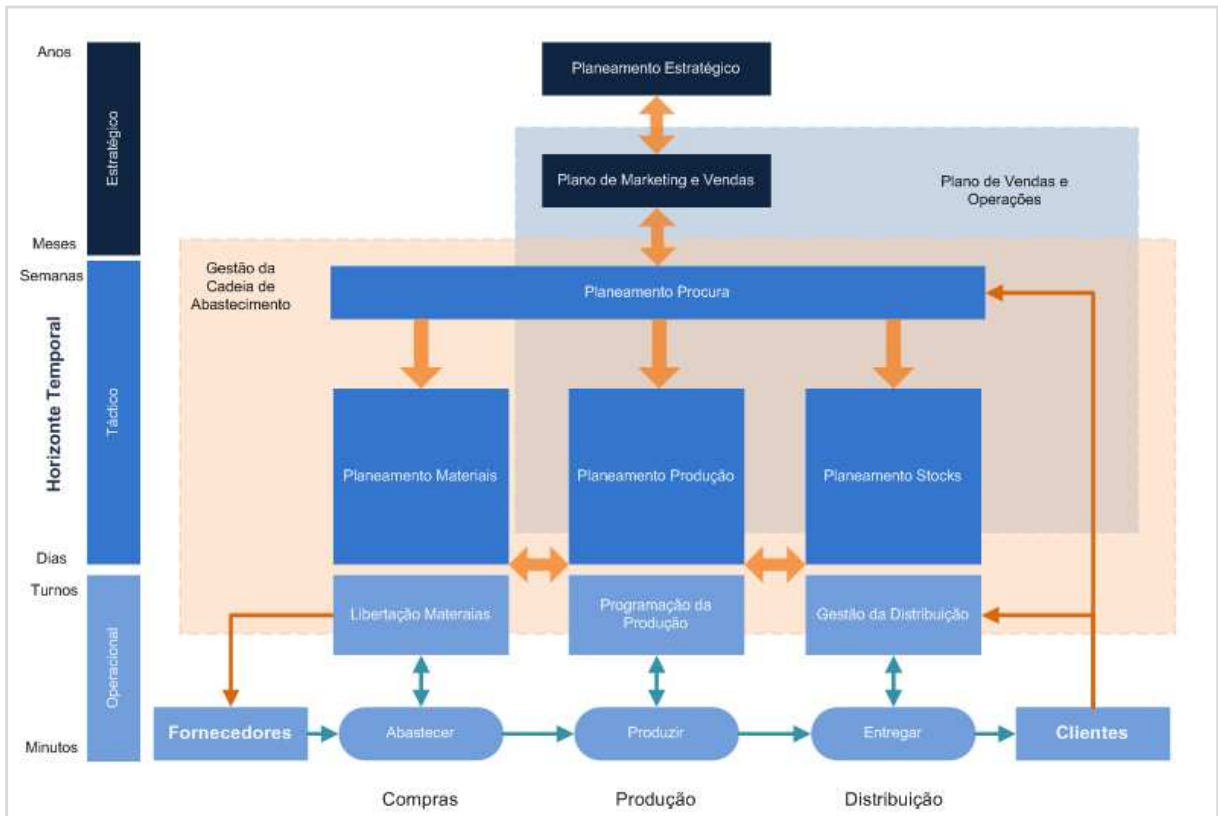


Figura 11: Framework de Planeamento Integrado
Adaptado de Guedes [2000]

O ambiente competitivo sentido nos mercados dos dias de hoje faz com que as empresas alarguem o seu portfolio de produtos de forma a procurar satisfazer clientes cada vez mais exigentes. Esta crescente complexidade coloca às organizações problemas mais difíceis na gestão da sua cadeia de abastecimento, enquadrada na *framework* apresentada.

Aqui entram em jogo os chamados *Advanced Planning Systems* (APSs), prometendo soluções para os problemas mais difíceis. Desde o tempo do *Materials Requirements Planning* (MRP) até hoje, estes sistemas foram os que mais se desenvolveram afirmando-se hoje uma das mais avançadas aplicações empresariais. Este *software* procura a criação de planos que permitam às empresas otimizar as suas operações tendo em conta restrições como: disponibilidade do material, capacidade instalada (máquinas e recursos humanos), níveis de serviço, *stock* de segurança, requisitos da distribuição, entre outras. Estas aplicações são, no fundo, um conjunto de ferramentas de apoio à decisão dos gestores. Outrora muito focados no

planeamento da produção e no seu escalonamento, hoje estes sistemas abarcam um leque abrangente de áreas. De seguida apresenta-se uma breve descrição das funcionalidades oferecidas por um sistema deste género.

Strategic Planning

Neste conjunto de ferramentas procura dar-se resposta a quais os produtos a produzir, quais os mercados a investir, utilização dos activos, no fundo decisões com um horizonte de dois ou mais anos que moldam as organizações.

Supply Chain Network Design

A escolha de fornecedores e clientes, a localização e capacidade de fábricas e armazéns, são exemplos de algumas das decisões, com um horizonte típico de um a dois anos, a serem tomadas neste âmbito. A optimização rege-se normalmente pelo *trade-off* entre custos de inventário e transporte.

Demand Planning (DP) & Forecast

Estes módulos fornecem o *input* para o planeamento entre o curto e médio prazo. A utilização de ferramentas estatísticas e análises matemáticas de séries temporais é comum entre os fornecedores destas ferramentas, procurando essencialmente prever o comportamento dos clientes.

Sales and Operations Planning (SOP)

Podendo ser traduzido como a tradução da procura em planos de vendas e produção, fazem também parte do domínio tático das decisões. É usual que estes módulos apresentem optimizadores da cadeia de abastecimento.

Inventory Planning

Onde deve estar e quanto deve ser o *stock*, são as perguntas a responder por estas ferramentas, visando alcançar níveis de serviço aos clientes da forma mais económica.

Supply Chain Planning (SCP)

Optimizar a utilização dos recursos de produção, distribuição e transporte respondendo à procura actual é o objectivo destas ferramentas, em geral para um horizonte de 3 a 6 meses e com um certo nível de agregação.

Available-to-Promise (ATP)

Estas ferramentas procuram no *stock* actual e na capacidade actual de produção se uma determinada ordem de um cliente pode ou não ser respondida a tempo. Ajudam os gestores a criar cenários para análise (*what-if analyses*) podendo estes cenários compreender dias ou meses.

Manufacturing Planning (MP)

Tipicamente o calendário de produção de uma única fábrica para um horizonte entre duas semanas a três meses, onde são pesadas a disponibilidade de materiais, capacidade instalada e outras restrições do negócio.

Distribution Planning

Com um horizonte temporal semelhante ao *Manufacturing Planning* o objectivo é agora a alocação dos *stocks* de forma a satisfazer o consumo dos clientes. Eventualmente podem ser considerados custos de transporte.

Transportation Planning

O objectivo é a optimização dos fluxos dentro e para fora da organização minimizando os custos de transporte, e/ou maximizando a utilização de uma certa capacidade de frota disponível. Operações de consolidação de cargas, planeamento de rotas, selecção de frotas estão entre os problemas a resolver, para o plano de curto prazo entre uma semana a 3 meses.

Production Scheduling (PS)

Determinação das sequências óptimas de produção para um conjunto de produtos a serem produzidos baseadas nas características dos produtos, centros produtivos e fluxos de materiais. Estas decisões são as de menor horizonte temporal, tipicamente detalhadas ao turno.

Shipment Scheduling

Tem o objectivo de calcular a altura óptima em que uma ordem de um cliente deve ser carregada de forma a cumprir com a data de entrega.

Toda esta divisão de decisões deve-se ao facto de estas serem tomadas por diferentes partes da organização, em diferentes alturas. Ao mesmo tempo, de entre todas estas funções, nem todas são vitais para todos os negócios. Normalmente as empresas adquirem apenas aqueles que são chave para o seu negócio, sendo que mesmo os fornecedores deste tipo de soluções se especializaram em responder a um determinado tipo de indústria focando-se nos módulos mais importantes para a mesma. Por exemplo, fornecedores que se posicionem no segmento de soluções para a indústria de *Consumer Packaged Goods* (produtos de consumo embalados), prestam mais atenção aos seus módulos de escalonamento da produção, previsão de vendas e planeamento da distribuição. Existem hoje porém, alguns fornecedores que reclamam estar preparados para qualquer indústria, todavia as soluções apresentadas podem não ser as melhores para determinada aplicação.

Na Figura 12 enquadram-se as decisões a tomar neste conjunto de funcionalidades ao nível do detalhe e horizonte temporal.

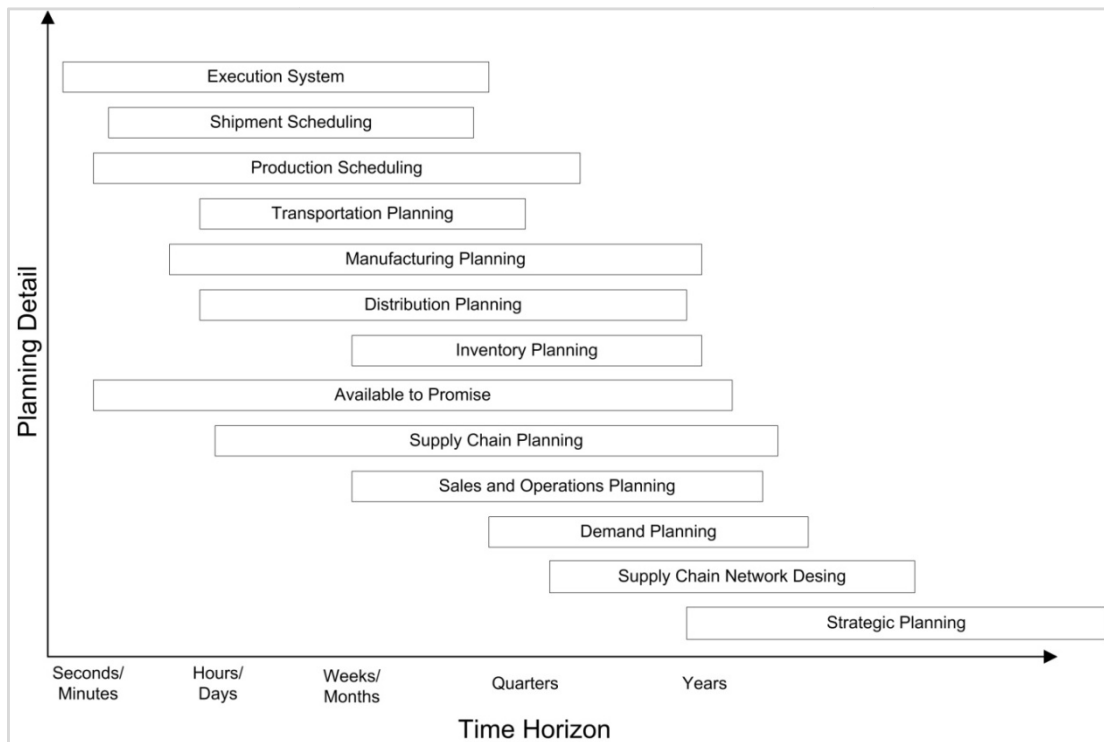


Figura 12: Funcionalidades de um APS: detalhe e horizonte temporal

Fonte: Bermudez [1998]

Historicamente a estrutura dos APSs tem vindo a evoluir para uma matriz bidimensional, semelhante ao *framework* de planeamento integrado apresentado (Figura 13). Agrupando as diferentes funcionalidades abordadas anteriormente em módulos mais amplos. Recorde-se que o APS não substitui o *Enterprise Resource Planning* (ERP), pelo contrário estabelecem uma relação de interdependência com este. O APS extrai informação do ERP, trabalha-a e volta a enviá-la para este de forma a proceder à execução dos planos gerados.

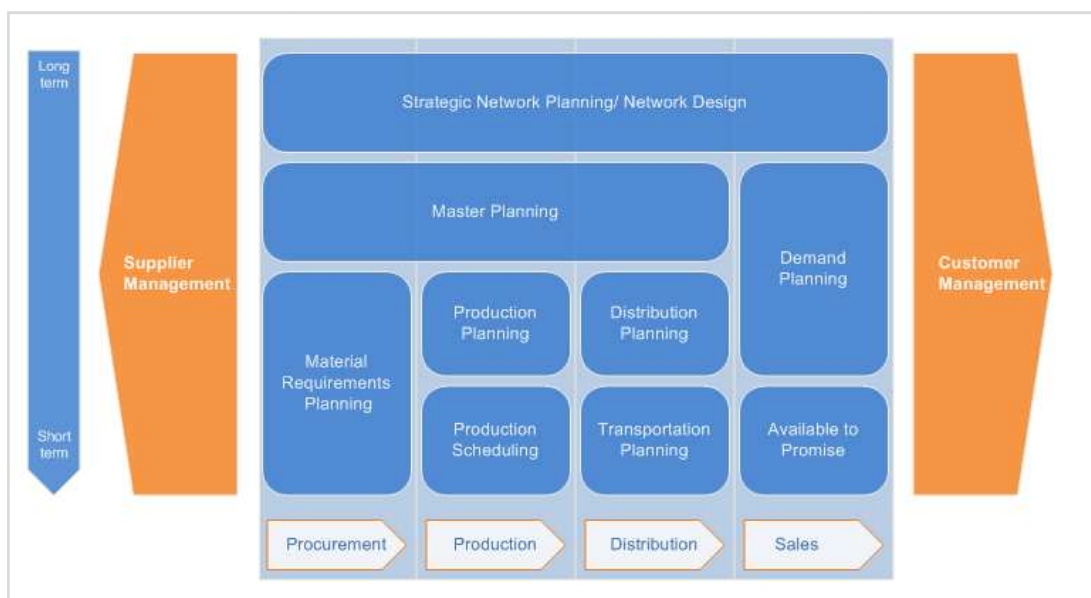


Figura 13: Arquitectura típica de um APS

Adaptado de Tempelmeier [2001]

Apesar da enorme variedade de níveis identificados anteriormente, as funções de *planeamento da produção podem ser agrupados em três grandes grupos: Supply Chain Planning (SCP) ou Master Planning, Manufacturing Planning (MP) ou Production Planning e Production Scheduling (PS)*. O nível de SCP gera o plano de operações para a produção e distribuição, baseado na procura actual e nas previsões de vendas. As previsões de vendas são muitas das vezes fornecidas a este nível pelo módulo de *Demand Planning (DP)*.

Para a produção é gerado um plano tendo em conta as várias localizações produtivas e a sua capacidade. Este plano é normalmente elaborado considerando um nível de agregação elevado dos produtos. O *output* deste nível entrar então como *input* no nível de *MP* que o trata com maior detalhe. Este produz planos para somente uma localização produtiva ou para um conjunto de localizações produtivas semelhantes. A diferença entre estes dois níveis é por vezes ténue ou mesmo inexistente. Tipicamente o SCP foca-se no que deve ser feito para atingir os objectivos tendo por base os recursos disponíveis, enquanto o MP se centra no tratamento das operações do ponto de vista de afectação de recursos.

De qualquer forma o resultado do MP serve de *input* para o PS que trata de colocar o plano na base temporal correcta para o seu envio para as unidades produtivas, atendendo a questões como o sequenciamento da produção.

Os fluxos de informação típicos entre estes níveis e outras ferramentas normalmente utilizadas pelas organizações são ilustrados na Figura 14.

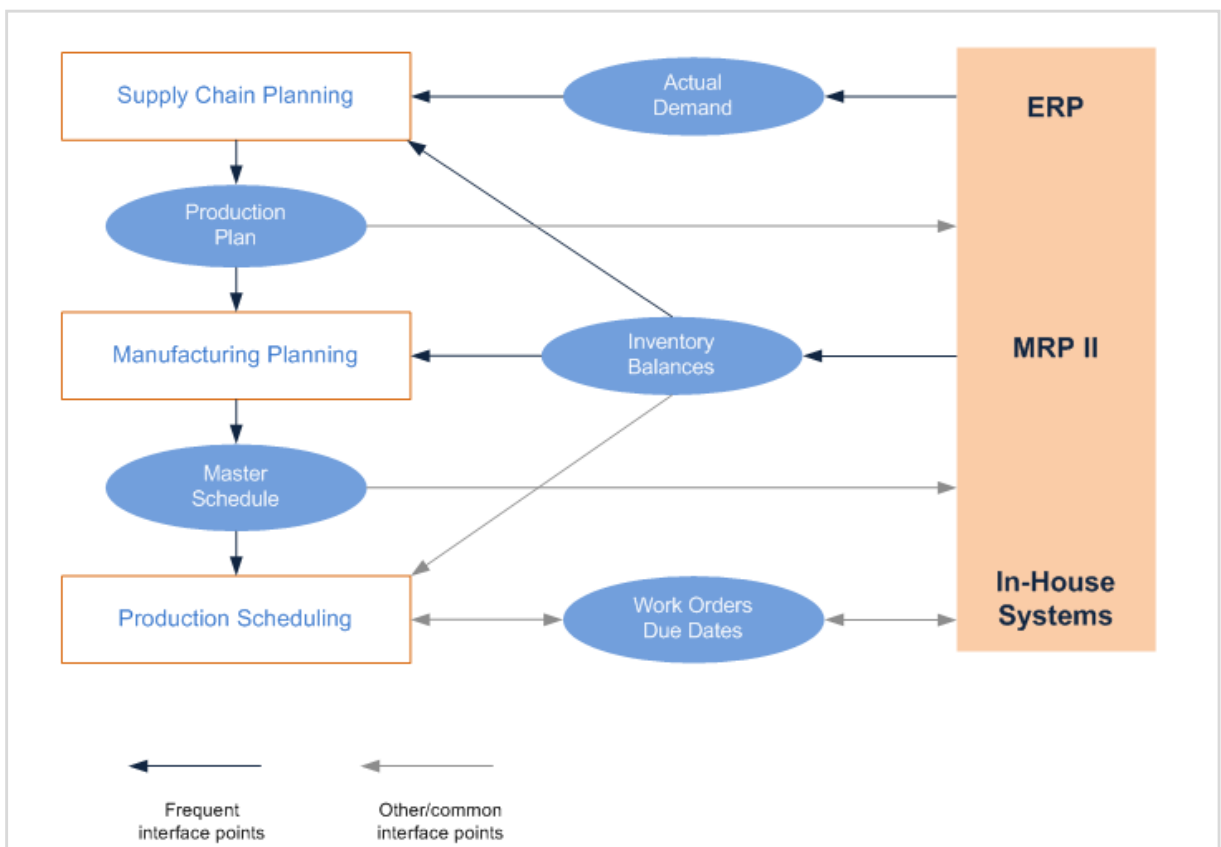


Figura 14: Fluxos de Informação entre as principais funções de planeamento

Fonte: Bermudez [1998]

As decisões de planeamento da produção são normalmente tomadas através de estruturas hierárquicas. Como a que se acabou de discutir. Estas estruturas representam as decisões a tomar com uma sequência de modelos matemáticos, repartindo o problema em módulos e sub-problemas com diferentes horizontes temporais. Esta divisão é também interessante, pois na prática apresenta um paralelismo com a estrutura hierárquica da organização e os vários níveis onde as decisões são tomadas. Uma das desvantagens da utilização de estruturas hierárquicas resulta da sub-optimização do problema global, uma vez que optimizando os sub-problemas que compõem o problema principal não se atinge a optimalidade global. A agregação e desagregação da informação ao longo dos vários níveis é recorrente. Usualmente as decisões de níveis superiores tendem a conter informação mais agregada e são tomadas para horizontes mais alargados. À medida que se vai descendo na estrutura as decisões vão sendo tomadas para horizontes mais curtos e com informação mais detalhada. Tal facto realça a importância da correcta definição dos níveis, dos seus horizontes e grau de agregação da informação. Note-se que a integração entre os diferentes níveis é fundamental.

No que diz respeito ao planeamento da produção, as decisões a tomar costumam centrar-se em dois níveis: dimensionamento dos lotes de produção, num nível superior e escalonamento da produção, num nível inferior.

A estrutura típica dos APSs reflecte também uma abordagem hierárquica dos problemas de planeamento. A dificuldade destes sistemas prende-se com a grande variedade de ambientes em que são utilizados. A modelação correcta dos sistemas é fundamental para a obtenção de modelos matemáticos que possam corresponder de alguma forma à realidade. Drexler et al. [1994] propõem precisamente uma estrutura hierárquica que enfatiza a correcta adequação dos modelos matemáticos ao sistema produtivo.

Tempelmeier [2001] dá uma visão global dos APSs, estudando os problemas abordados por estes *softwares* e as suas propostas de solução. O autor aponta áreas em que as soluções oferecidas se encontram aquém do desejado. Uma delas prende-se com o insatisfatório tratamento das questões de dimensionamento de lotes de produção sob condições de tempos de *setup* relevantes e capacidade limitada.

Três casos de implementação destes sistemas são abordados em Jonsson et al [2007]. Estes sistemas são analisados como uma forma de integração da cadeia de abastecimento, ajudando na resolução de difíceis problemas que dela emergem. Neste artigo os autores enfocam as diferentes utilizações do módulo SCP por parte das organizações.

Aconselha-se a leitura de Fleischmann and Meyr [2003] para uma revisão mais profunda do funcionamento deste tipo de *software*, exemplos de sistemas particulares (Baan, i2 Technologies, J. D. Edwards, Manugistics e SAP) e alguns casos de estudo.

3.2 Situação Actual

Actualmente a Unicer conta com o SAP *Advanced Planner and Optimizer* (APO) como ferramenta de auxílio no planeamento da produção. O APO faz parte do *mySAP Supply Chain Management*. A SAP é um grande fornecedor de *software* ERP, estando o seu módulo APS disponível desde 1998. A sua entrada tardia no mercado permitiu a introdução de métodos de optimização *state-of-the-art*, para mais beneficiando do sucesso do seu ERP a SAP conseguiu expandir rapidamente o seu módulo APS. A estrutura do APO pode ser vista na Figura 15.

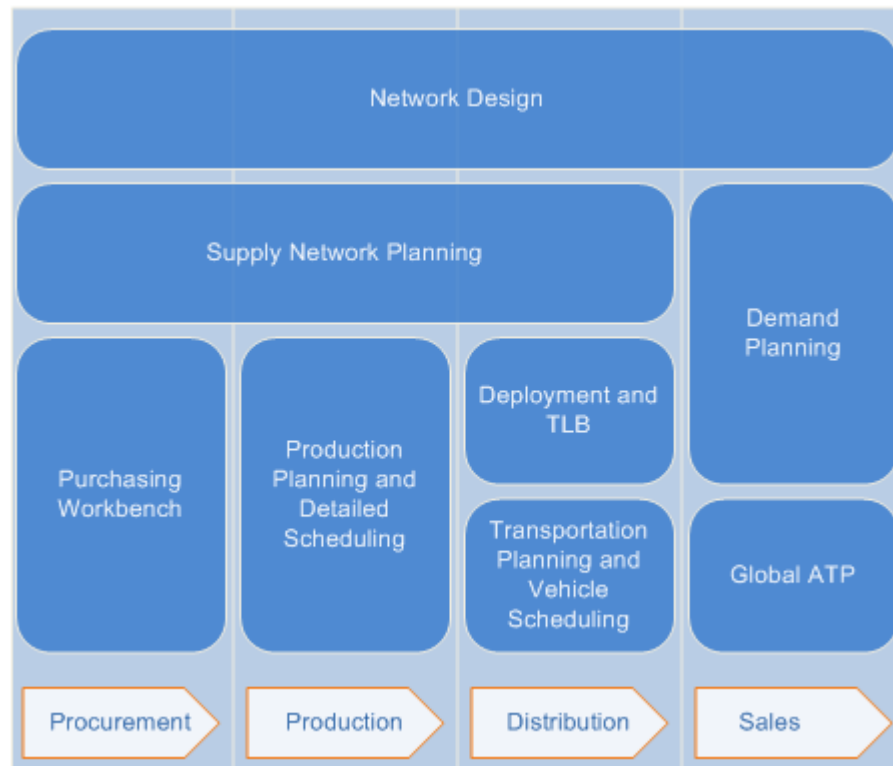


Figura 15: Estrutura do SAP APO

Fonte: Fleischmann and Meyr [2003]

O módulo *Network Design* contém modelos discretos e contínuos para a resolução dos problemas de localização de novos nós na cadeia de abastecimento. Permite ainda analisar a actual cadeia de abastecimento.

A tarefa do *Master Planning* é assegurada no módulo *Supply Network Planning* (SNP). Este módulo resolve os problemas propostos com programação linear e programação linear inteira mista. Estes modelos são construídos sem que o utilizador necessite de qualquer formação para tal, na medida em que as opções seleccionadas compõem em *background* os modelos. Uma das soluções foca-se na cadeia de abastecimento e procura propagar a procura dos clientes pelas diferentes localizações ao longo da cadeia construindo um plano considerando a capacidade ilimitada. De seguida, a capacidade é validada e os ajustes feitos são baseados em regras de prioridade pré-definidas para os diferentes tipos de procura como encomendas, previsões, *stock* de segurança, etc. A funcionalidade *Capable-to-Match* (CTM) balanceia a procura com a produção aplicando *constraint propagation techniques* e *goal programming*.

O módulo *Production Planning and Detailed Scheduling* (PP/DS) recorre também um conjunto de métodos de solução como algoritmos genéticos e *constraint propagation* e optimização de campanhas que podem ser integrados em meta-heurísticas de forma a resolver complexos problemas de produção. Como exemplo, num sistema produtivo com mais de um nível, o módulo disponibiliza uma heurística que permite otimizar primeiro o *bottleneck* e propagar o plano para os níveis superiores e inferiores. Outra possibilidade é a utilização de uma meta-heurística que realiza a optimização do problema com base em múltiplos critérios.

A Unicer tem definida uma estrutura hierárquica no planeamento da produção correspondente a dois níveis. O primeiro nível trata do problema de dimensionamento dos lotes de produção

para um horizonte temporal de seis semanas, designado de Plano de Enchimento. O nível inferior trata do escalonamento de produção para uma semana de horizonte, designado Programa de Enchimento Semanal. Para ambos os processos é utilizado um módulo do APO para apoio. Assim para o Plano de Enchimento é utilizado o SNP, e para o Programa de Enchimento Semanal é utilizado o PP/DS. Este planeamento é realizado numa base semanal e é despoletado pela recepção da previsão de vendas, seguindo a sequência presente na Figura 16.

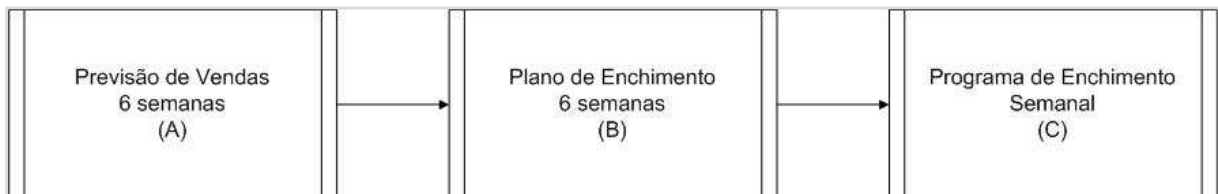


Figura 16: Fluxograma dos macro-processos de planeamento

Os capítulos seguintes propõem-se analisar estes três processos e os módulos de auxílio do APO (DP, SNP e PP/DS).

A análise do DP, para além de constituir um *input* fundamental para o planeamento da produção, é também motivada pela participação num projecto de melhoria deste processo na Unicer.

No que respeita ao planeamento da produção foi igualmente utilizada uma abordagem hierárquica, composta de dois níveis. O primeiro nível diz respeito às decisões do plano táctico, tendo como paralelo o módulo SNP. O segundo nível, com um carácter mais operacional, corresponde ao módulo PP/DS. Para cada nível é proposto um modelo matemático, baseado em programação inteira mista (PIM). Os modelos foram testados e a sua performance comparada com a situação actual.

Apenas para situar estes processos de planeamento nas várias etapas de planeamento de seguida descreve-se de uma forma sucinta todo o processo anual.

O processo de planeamento pressupõe a orçamentação das vendas por mês para o próximo ano, para todas as referências produzidas e com projecto de lançamento. Este orçamento é posteriormente desagregado pelas fábricas e suas linhas de produção, de acordo com critérios pré-estabelecidos. Também como parte deste processo são definidas quantidades estratégicas a antecipar e a obter através de fornecimentos externos, bem como as transferências de produção entre centros. Após esta afectação é calculada a taxa de ocupação mensal das linhas de enchimento e, de acordo com o calendário anual (feriados, dias de paragem da linha, dias de revisão da linha), são calculados os dias úteis de produção e orçamentadas eventuais necessidades de laboração em fim-de-semana, para as linhas que não laboram em regime contínuo. Durante este procedimento são também definidos os turnos de laboração em cada mês para cada linha.

Esta orçamentação anual serve de guia para a gestão de médio prazo, dando indicações de quais os meses mais problemáticos em termos de capacidade e fornecendo uma estimativa da necessidade de laboração em regime de horas extra.

A antecipação da produção é prevista como forma de conseguir colmatar a falta de capacidade nos meses de pico de procura. Assim, no orçamento anual são definidas as referências e as quantidades a antecipar. Esta escolha é particularmente sensível e apresenta um cariz bastante estratégico, uma vez que o mercado da cerveja apresenta hoje uma grande dinâmica, com uma customização bastante grande para o cliente e com frequentes campanhas promocionais que alteram as características do produto e a sua expectativa de venda. Portanto, as iniciativas de constituição de *stock* limitam de alguma forma a agressividade comercial das marcas e devem ser ponderadas. No início do ano são também estipuladas as coberturas de *stock* a manter por referência. A cobertura de *stock* representa o número de dias de procura que se consegue satisfazer com a quantidade de *stock* num dado momento, assumindo uma procura média anual.

Todo planeamento realizado na base semanal garante o cumprimento do que foi estabelecido no início do ano.

4 Demand Planning

4.1 Métodos de Previsão

4.1.1 Introdução

A necessidade de se realizarem previsões é originada pelo ‘*lead time*’ entre consciência de um evento e o seu acontecimento. Estas são fundamentais para identificar necessidades futuras para que no presente sejam tomadas as acções necessárias. Isto é válido para os numerosos campos em que se fazem previsões, entre os quais estão as decisões de administração e gestão. A previsão é parte da tomada de decisão de um gestor. Esta tomada de decisão lida com factores incontrolláveis como a evolução da economia global ou as acções dos concorrentes, e com factores controláveis, nomeadamente todos os tipos de decisões internas da empresa, como marketing e produção. A crescente necessidade sentida pelos gestores de melhores previsões é justificada pelo condicionamento de todo o planeamento da cadeia de valor que resulta da adopção de uma previsão.

As decisões de gestão da cadeia de abastecimento requerem previsões com carácter de curto, médio e longo prazo, uma vez que estão são um *input* indispensável. Esta variedade de horizontes temporais e também os diferentes requisitos estabelecidos pelas decisões a tomar, faz com que as organizações necessitem de um sistema de previsões que consiga fornecer os *inputs* mais correctos, baseados nos métodos mais indicados.

Para lidar com esta necessidade foram desenvolvidos ao longo do tempo várias técnicas que podem ser agrupadas em dois grandes grupos: métodos quantitativos que assentam na existência de informação passada e métodos qualitativos quando pouco ou nenhuma informação existe.

As técnicas quantitativas baseiam-se em informação histórica que pode ser quantificada e no pressuposto de que alguns aspectos presentes no passado se vão replicar no futuro. Estas técnicas podem ser ainda classificadas de intuitivas ou *ad-hoc*, ou métodos quantitativos formais baseados em princípios estatísticos. O uso das primeiras tem vindo decrescer à medida que a abordagem sistémica proporcionada pelas técnicas formais revela um bom desempenho na estimação do futuro.

Dentro do espectro dos métodos quantitativos, distinções adicionais podem ser feitas entre as técnicas baseadas em análise de séries temporais e as baseadas em relações causais. Estas últimas assumem que o comportamento da variável que se quer prever, variável dependente, pode ser explicado através de uma ou mais variáveis independentes. Porém esta relação não é exacta permanecendo um efeito aleatório por explicar, esse efeito é absorvido por uma variável extra, normalmente denominada de erro (4.1).

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n, \text{Erro}) \quad (4.1)$$

Por sua vez, as técnicas baseadas em análise temporal não procuram explicar o passado, centrando-se apenas na detecção de padrões históricos e a previsão resulta da sua extrapolação para o futuro. Se apenas uma projecção futura é requerida e não a explicação de fenómenos

passados, estes métodos são apropriados. A previsão depende então das observações passadas (4.2).

$$Y_{t+1} = f(Y_t, Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Erro) \quad (4.2)$$

As técnicas de análise de séries temporais e as baseadas em relações causais não são mutuamente exclusivas. A escolha entre umas ou outras depende do objectivo em mente. As primeiras fornecem uma forma mais simples de realizar uma previsão, enquanto as segundas são uma melhor ajuda na definição de políticas e na tomada de decisão numa organização. Sempre que exista informação disponível as duas abordagens podem ser testadas.

Todavia, em casos de escassez ou ausência de informação disponível, o julgamento e experiência do decisor entra em jogo. Os métodos qualitativos destinam-se a cenários de incerteza e usualmente são utilizados para previsões de médio ou longo prazo. Situações como a definição estratégica de uma organização ou o lançamento de produtos, requerem mais do que o *output* de uma técnica quantitativa sendo, na maioria das vezes, conjugada com informação suplementar por parte do gestor. A Figura 17 mostra a variedade de métodos de previsão.

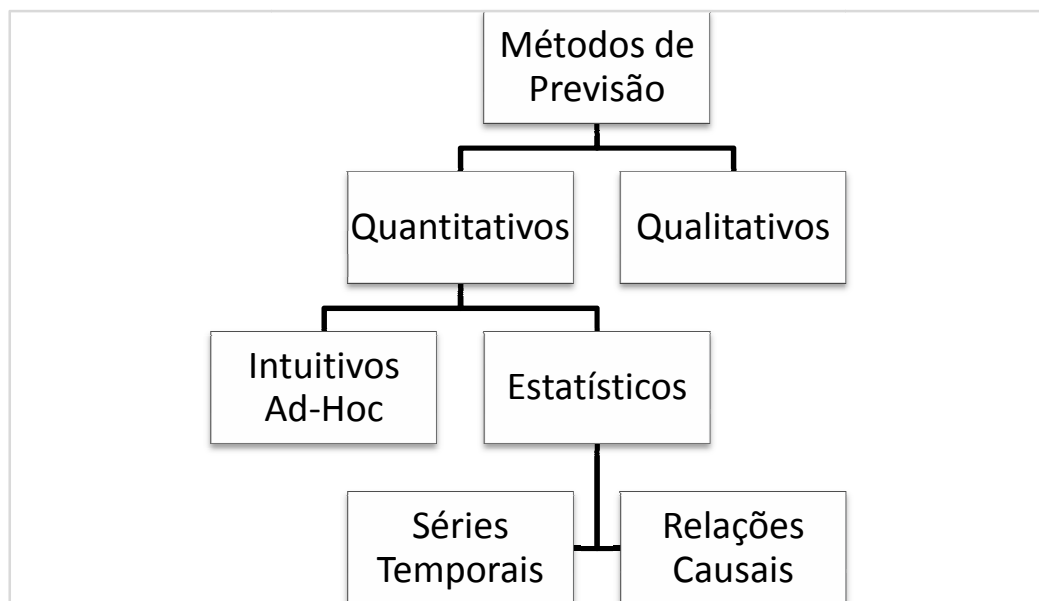


Figura 17: Métodos de Previsão

4.1.2 Análise de Erros

Independentemente do método escolhido, este deve ser avaliado. De entre as medidas clássicas de avaliação dos métodos de previsão, destacam-se:

Tabela 2: Medidas de avaliação dos métodos de previsão

$e_t = Y_t - F_t$	e_t : Erro no período t n : número total de períodos Y_t : Observação no período t F_t : Previsão para o período t
$EM = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t$	EM : Erro Médio
$EAM = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t $	EAM : Erro Absoluto Médio
$EQM = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2$	EQM : Erro Quadrático Médio
$ep_t = \frac{Y_t - F_t}{Y_t}$	ep_t : Erro percentual no período t
$EPM = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n ep_t$	EPM : Erro Percentual Médio
$EPAM = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n ep_t $	$EPAM$: Erro Percentual Absoluto Médio

Os erros descritos na Tabela 2 podem ter várias interpretações consoante a forma de cálculo da previsão para o período t . Normalmente, a estimativa é realizada a um passo, ou seja, a estimativa de F_t é realizada com os dados relativos a $Y_1, \dots, Y_{t-1}$. Porém, esta pode ser realizada a mais passos.

Tradicionais procedimentos na análise de erros são o teste ao seu valor esperado (teste t-student), e o teste à autocorrelação dos erros. Rejeições nestes testes significam que existem ainda efeitos significativos que o método não consegue captar.

Outra medida interessante é a Estatística U desenvolvida por Theil [1966]. Esta permite comparar um qualquer método com uma abordagem ingénua, e apresenta uma interpretação bastante simples. Para um valor de U igual a 1, o método em análise é tão bom quanto a abordagem ingénua. Para valores inferiores a 1, o método é superior à abordagem ingénua, e quanto menor o valor de U melhor o método em relação à abordagem simplista. Para valores de U superiores a 1, o método em estudo é dispensável, uma vez que uma abordagem ingénua produz melhores resultados. Por abordagem ingénua entende-se uma sugestão de previsão igual à última observação equiparável.

4.2 Métodos Estatísticos de Previsão

O método da decomposição clássica consiste em identificar e isolar cada um dos componentes da série temporal (tendência, sazonalidade e ciclo), adoptando métodos para estimar cada um desses componentes isoladamente.

Em Pegels [1969] o autor sugere uma base para a classificação, em termos de tendência e sazonalidade, dos modelos de amortecimento exponencial. Ao contrário da decomposição clássica, estes modelos incorporam pesos diferentes das várias observações consoante a proximidade da observação face ao período que se quer prever por intermédio de parâmetros de amortecimento. Em Gardner [1985] pode ser consultada uma revisão destes modelos. Um dos modelos mais utilizados deste grupo é o Holt-Winters [1960], que resulta da extensão do modelo de Holt [1957] incorporando neste último o componente da sazonalidade.

A grande vantagem do amortecimento exponencial prende-se com a sua grande simplicidade, o que lhe dá vantagem em relação a modelos mais complexos quando está em causa a previsão de um número elevado de itens.

De entre os métodos mais utilizados que pressupõem uma relação causal destaca-se a regressão. A regressão pode ser simples, múltipla ou não linear. Numa regressão linear simples considera-se que a variável independente é função apenas de uma variável independente. Os parâmetros da regressão são estimados através do método dos mínimos quadrados que minimiza os erros do ajuste. A regressão múltipla é uma extensão da regressão simples, considerando agora que a variável dependente é função de um conjunto de variáveis independentes. Neste tipo de regressão a escolha dos regressores (variáveis independentes) é crítico. A regressão não linear pode apresentar várias formas consoante a natureza dos dados a ajustar.

Para os casos de procura intermitente, ou seja, esta surge pontualmente no horizonte de previsão, o método de Croston (Croston [1972]) é o mais indicado. Este método para além de estimar a procura, estima também o intervalo em que ela vai ocorrer recorrendo também ao amortecimento exponencial.

Para uma revisão mais profunda da literatura e de métodos de previsão recomenda-se a leitura de Makridakis [1998].

4.3 Situação Actual

Actualmente a Unicer não aplica qualquer método estatístico para efectuar previsões. A previsão de vendas é realizada com base num método quantitativo *ad-hoc*, baseado em indicadores escolhidos pelos gestores para a tarefa de gerar previsões e em informações recolhidas de forma informal junto da força de vendas. Este método tem por base o orçamento de vendas da empresa e o histórico dos anos anteriores. Nestes estão presentes os componentes tendência e sazonalidade. O orçamento estima a sazonalidade ao longo do ano que vai sendo corrigida à medida que os meses vão passando e informação mais correcta vai ficando disponível. Com o decorrer do tempo a projecção das previsões, valor para o total do ano, é feito à luz da sazonalidade definida pelo orçamento. Este método incorpora o julgamento pessoal do decisor, pois face aos desvios verificados este deve corrigir os valores propostos no orçamento.

Pretende-se que a previsão de vendas, efectuada semanalmente, seja discretizada por semanas e contemple as oito semanas seguintes. Uma das desvantagens do método actual é o facto de

ter de ser o gestor a decidir para cada SKU/semana os ajustes a efectuar à previsão base (que consiste basicamente em dividir o valor mensal por quatro, de forma a obter o volume de vendas semanal).

O indicador de performance das previsões de vendas é o *Sales Forecast Accuracy* (SFA)

$$SFA_t = 1 - \frac{\sum_i |F_{it} - Y_{it}|}{\sum_i F_{it}} \quad (4.3)$$

que tem a sua génese no erro percentual absoluto médio (ver secção 4.1.2). Todo o processo de previsão foi alvo de um estudo num projecto lançado pela empresa denominado de Projecto Terra.

4.4 Projecto Terra

O projecto Terra foi iniciado em Fevereiro de 2009 e tinha como objectivo a melhoria do nível de serviço aos clientes através de melhores previsões e serviços. Este projecto contou com a colaboração de uma equipa externa de consultores e com uma equipa interdepartamental de colaboradores da Unicer. O seu principal foco era a melhoria do cenário actual de previsão de vendas. De facto, ao longo dos anos a Unicer havia prestado pouca atenção a este processo. Muitos melhoramentos foram introduzidos em fases mais avançadas do processo de planeamento, como a adopção de *software* para auxílio às tarefas, continuando o processo de previsão de vendas um pouco marginalizado.

De forma a desenvolver um novo sistema de previsão de vendas, a equipa de projecto realizou um estudo de todas as características relevantes da procura da Unicer e da sua cadeia de abastecimento, procurando identificar pontos-chave a ter em conta no futuro sistema. Simultaneamente foi conduzido um *benchmark* do processo com outras empresas do sector almejando a identificação das melhores práticas. Desta primeira fase do projecto resultou a base do futuro processo a implementar. A medição da performance actual da previsão de vendas era também parte desta primeira fase do projecto, constituindo a base de comparação face às melhorias futuras.

A segunda fase do projecto destinou-se à definição do novo modelo de previsão de vendas, incorporando as características fundamentais identificadas na primeira fase. Em primeiro lugar constatou-se a necessidade de um maior envolvimento de diversas áreas da empresa neste processo. As áreas de Vendas Mercado Interno, Vendas Mercado Externo, *Supply Chain* e Marketing (ver anexo B) foram definidas como essenciais na recolha da informação necessária, tratamento dos inputs e validação e comunicação das previsões, para além de constituírem o ambiente colaborativo essencial à realização da tarefa. Em sintonia com esta tarefa era vital estabelecer-se um processo formal compreendido pelas partes, que esclarecesse fluxos de informação, *timings*, *inputs* e *outputs*. Esta formalização explicita responsabilidades e permite o estabelecimento de objectivos, bem como a identificação de pontos de melhoria. Ao mesmo tempo, o *output* global do processo de previsão de vendas seria também alterado de forma a respeitar melhor as características da procura e da cadeia de abastecimento da Unicer. Por fim optou-se pela implementação de uma ferramenta informática para este processo.

Numa terceira fase as mudanças definidas passaram à prática. À data este processo de transformação contou com várias etapas, estando inclusive ainda a decorrer. A primeira etapa consiste na entrada em funcionamento do novo processo formal de previsão de vendas, assim como no desenvolvimento de uma pequena aplicação que o auxilie. Esta pequena aplicação

deve já possibilitar a incorporação de características consideradas fundamentais no processo e produzir um *output* de previsão de vendas em linha com o pretendido. Numa segunda etapa que em parte decorre em simultâneo com a primeira, será escolhido e implementado um *software* de apoio ao processo.

4.4.1 Novo Processo de Previsão de Vendas

Todo o trabalho realizado nas fases um e dois do projecto Terra culminou com a definição de um novo processo de previsão de vendas. Este modelo formalizou desde logo quais os intervenientes e quais as suas responsabilidades no processo. Na Tabela 3 pode ver-se um resumo dos intervenientes e as suas responsabilidades.

Tabela 3 - Processo de Previsão de Vendas: Responsabilidades

<i>Área Funcional</i>	<i>Responsabilidades</i>
Previsão de Vendas	• Recolha e manutenção da informação actualizada relativa às vendas e orçamento • Análise da informação • Elaboração da previsão • Medição da performance • Coordenação do processo
Marketing	• Recolha da informação de mercado (tendências, quota) • Informação relativa a lançamentos
Comercial	• Informação relativa a planos promocionais • Informação de volumes de vendas esperados
Planeamento Operacional	• Informações relativas a restrições operacionais

Estes intervenientes participarão em dois tipos de reunião: uma semanal (reunião operacional) e uma mensal (reunião táctica). Na sua essência o output desejado não se alterou, ou seja, continua a pretender-se semanalmente, a previsão de vendas para as próximas oito semanas por SKU. Assim, a reunião operacional faz um acompanhamento mais próximo das previsões, numa perspectiva de curto prazo mais desagregada. O seu horizonte são as próximas oito semanas e a discussão de volumes poderá fazer-se ao nível do SKU. Nela serão também apresentados os indicadores relativos à performance das previsões numa base semanal. A reunião táctica, por sua vez, procura uma abordagem mais de longo prazo agregando volumes e estimando tendências. Dela sairá uma previsão para os próximos três meses a um nível agregado. Esta análise é importante do ponto de vista da validação do orçamento estimado no

início do ano. A revisão dos indicadores de performance numa base mensal faz também parte da agenda desta reunião.

O fluxograma do novo processo é apresentado na Figura 18.

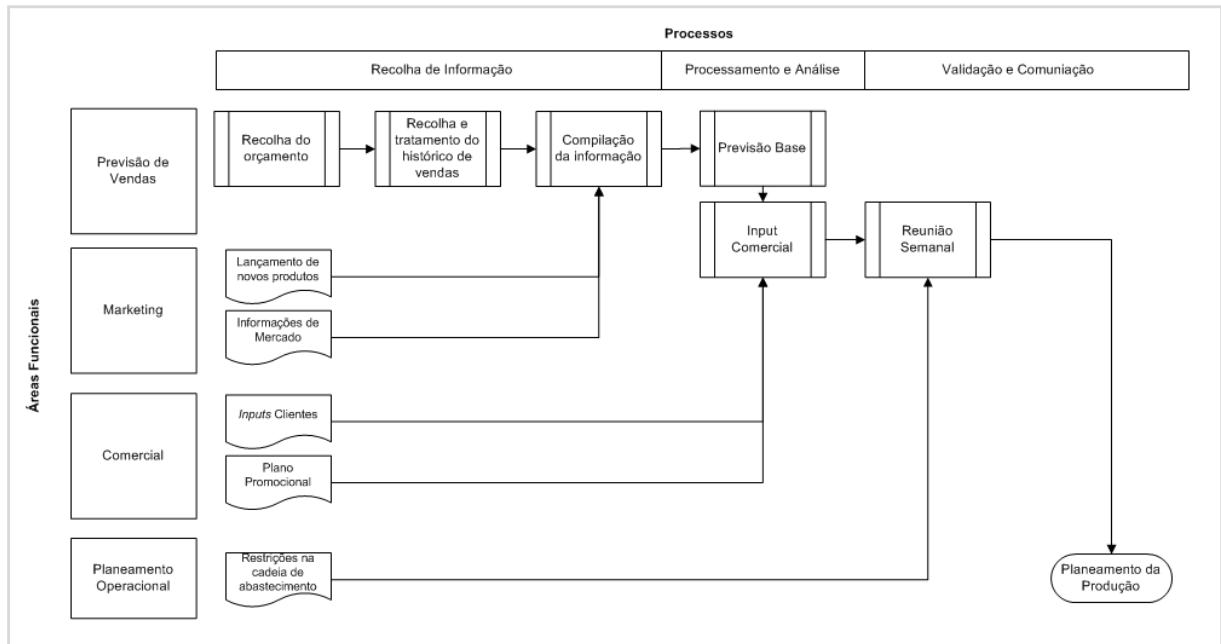


Figura 18: Fluxograma do novo processo de previsão de vendas

A selecção e implementação de um *software* para suporte deste processo segue um conjunto de procedimentos desde a definição dos seus requisitos, envio da proposta aos fornecedores, recepção e estudo das soluções e implementação, o que o torna o processo um pouco moroso. Por este motivo considerou-se importante que a transformação do processo não aguardasse pela implementação da nova ferramenta de trabalho, avançando para uma solução que cobrisse este hiato de tempo.

O trabalho desenvolvido no âmbito do projecto Terra centrou-se nesta fase de transição, contribuindo para a criação de uma solução temporária. Esta solução passou pela criação de uma aplicação informática que possibilitasse aos intervenientes a condução do processo de transformação.

A aplicação foi desenvolvida tendo em atenção os factores definidos como críticos pela equipa de projecto. Desde logo a facilidade de utilização da mesma com pouco necessidade de formação dos seus utilizadores, a facilidade de manutenção dos dados e sua fiabilidade, o curto prazo de desenvolvimento e a incorporação das novas características do processo de previsões.

Esta nova ferramenta contempla três grandes módulos. O primeiro módulo foi desenvolvido em *Microsoft Access 2007* e consiste numa base de dados onde estão armazenados os dados mestre que servem de base ao processo. Nomeadamente a estrutura da organização de vendas e a estrutura de produtos. O segundo módulo, incorpora uma aplicação em *Microsoft Excel 2007* com módulos em VBA (*Visual Basic for Applications*) e constitui a ferramenta base de trabalho do utilizador. Este suporta a elaboração da previsão. Com efeito, esta contém o histórico das vendas, assim como o orçamento anual da empresa, base das previsões a

efectuar. Existe ainda um terceiro módulo, também com base numa aplicação em *Microsoft Excel 2007* com módulos em VBA, onde as previsões efectuadas e as vendas reais são armazenadas para futuras análises de desvios das previsões. Todas as semanas é gerado automaticamente um ficheiro, designado de *template*, contendo toda a informação essencial para que os gestores comerciais possam fornecer a informação especificada à equipa de *forecast*. A Figura 19 descreve os fluxos de informação entre os módulos desenvolvidos, o SAP Business Warehouse (SAP BW) e ainda a forma como se processa o acesso aos ficheiros.

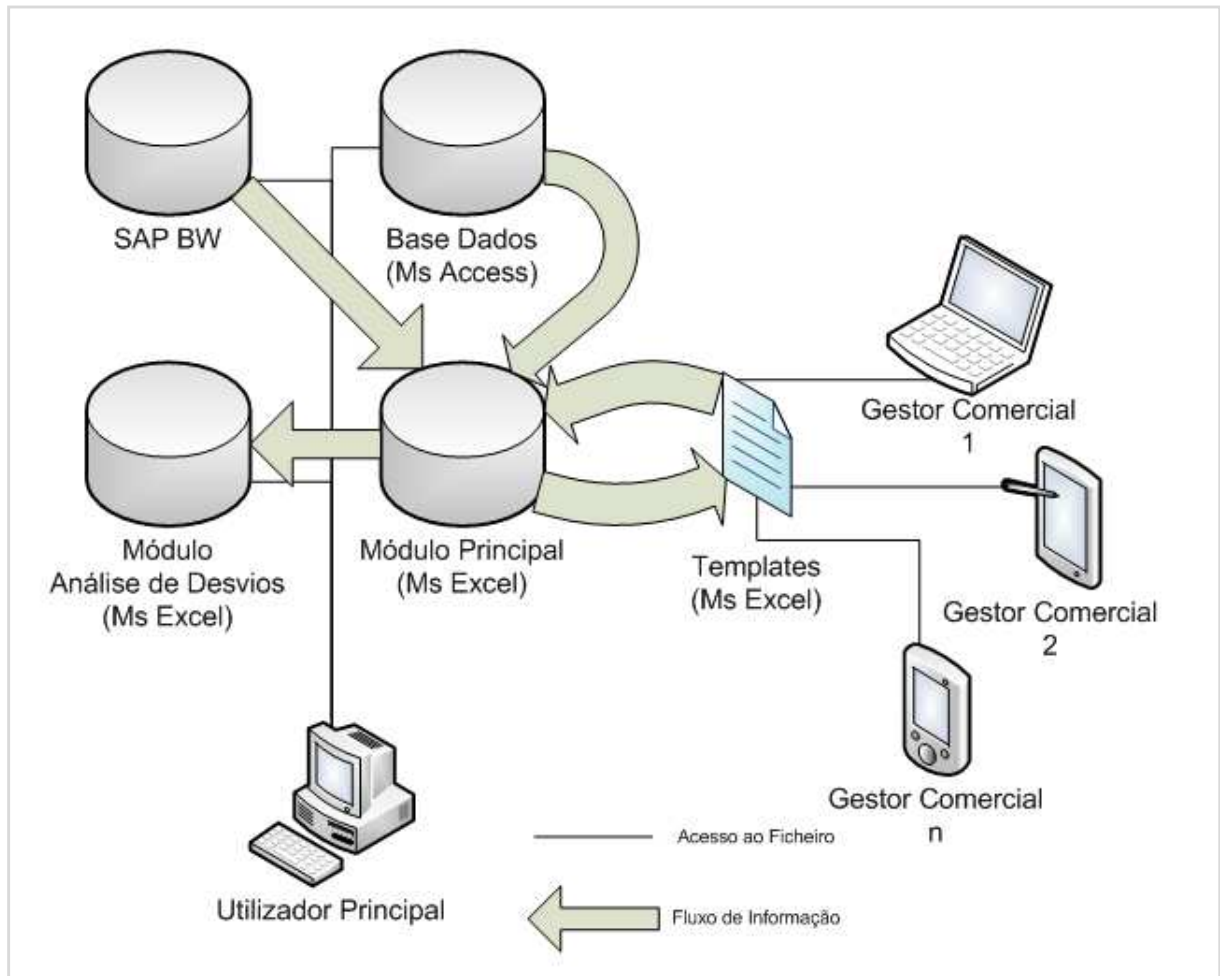


Figura 19: Fluxos de informação na aplicação desenvolvida

4.5 SAP APO – Demand Planning (DP)

A maior parte dos fornecedores de sistemas de planeamento avançado (APS) enquadram nas suas soluções um módulo dedicado à previsão da procura. Este módulo é responsável pela geração dos *inputs* para os módulos de planeamento. Tipicamente as empresas avançam primeiro para os módulos de planeamento, e posteriormente adoptam este último. Na situação actual da Unicer é natural a tendência para a implementação deste módulo. É então importante resumir quais as funcionalidades deste tipo de *software*, recorrendo ao exemplo do SAP APO - Demand Planning (DP), cujo funcionamento se encontra esquematizado na Figura 20.

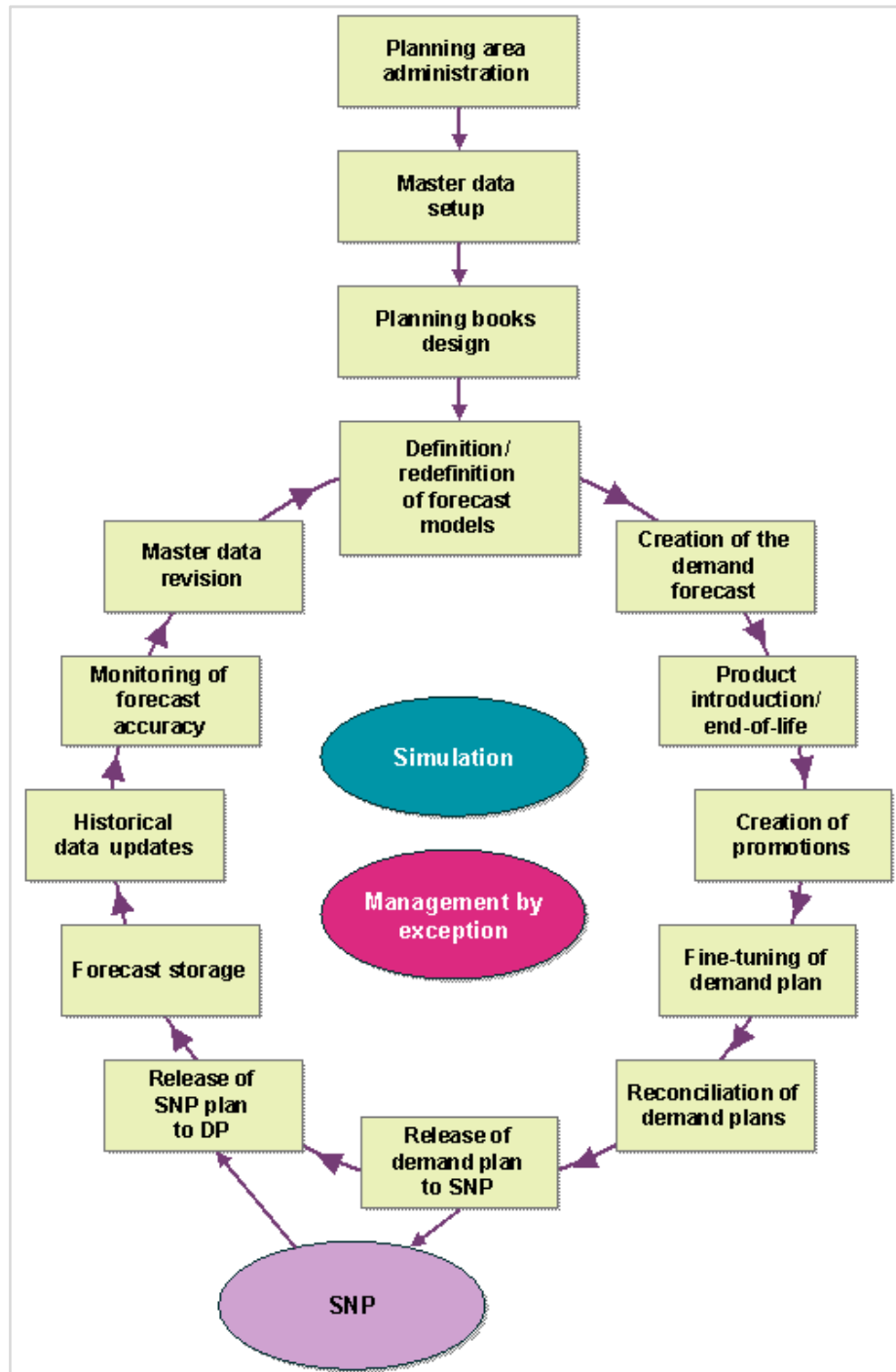


Figura 20: Esquema de Funcionamento do DP

Fonte: SAP [2009]

Esta Figura 20 resume o funcionamento do módulo no SAP APO. O seu funcionamento pressupõe a adequada parametrização, representada na figura pelas actividades até à “*Planning books design*”. Contudo é na actividade “*Definition/redefinition of forecast models*” que o sucesso da implementação deste módulo reside. O DP, como os seus semelhantes noutros APSs, possuem uma biblioteca de modelos estatísticos e de análise de séries temporais que são a base para a criação das previsões de vendas. O utilizador deve seleccionar qual ou quais modelos pretende utilizar. Atente-se então na biblioteca

disponibilizada pelo *software* em estudo. A Tabela 4 indica para cada tipo de série os métodos disponíveis na biblioteca.

Tabela 4: Modelos Estatísticos do DP

<i>Tipo</i>	<i>Métodos disponibilizados</i>
Séries Localmente Estacionárias	• Amortecimento Exponencial Simples (AES) • Amortecimento Exponencial Adaptativo • Média Móvel • Média Móvel Ponderada
Séries apenas com Tendência	• Amortecimento Exponencial - Método de Holt-Winters Multiplicativo • Regressão Linear
Séries apenas com Sazonalidade	• Amortecimento Exponencial - Método de Holt-Winters Multiplicativo • Regressão Linear com índices Sazonais
Séries apenas com Tendência e Sazonalidade	• Amortecimento Exponencial - Método de Holt-Winters Multiplicativo • Regressão Linear com índices Sazonais
Procura Intermitente	• Método de Croston

Adicionalmente, o *software* dispõe de uma funcionalidade que indica a um utilizador que não sabe qual dos cenários deve escolher qual o método indicado. Nesse sentido o sistema conduz dois testes estatísticos. Um para validar a sazonalidade (teste de autocorrelação) e um segundo para validar a tendência (teste de significância da tendência). De acordo com os resultados é então escolhido da biblioteca o modelo que melhor se adapta ao histórico.

Outra funcionalidade útil do programa é a identificação automática de *outliers*. Após a definição de um parâmetro δ , o método de *forecast* é corrido uma primeira vez, de forma a identificar e corrigir os *outliers* presentes, que serão substituídos pelo valor obtido no método. De seguida é executado novamente o método para um novo ajuste ao histórico corrigido.

Os *outliers* são observações que se encontram fora do seguinte intervalo:

$$\text{Limites de tolerância} = \text{valor estimado} \pm \delta * EAM * 1,25 \quad (4.4)$$

Para a análise da performance do método utilizado (análise de desvios), o sistema possui, para além das medidas EAM, EPAM, EQM e EPM, apresentados na secção 4.1.2, os indicadores seguintes:

Erro Total - *Total error* (ET)

Raiz Erro Quadrático Médio - *Square root of the mean squared error* (REQM)

Para cada um deles o utilizador pode definir intervalos que caso sejam ultrapassados, é emitido um alerta.

O utilizador também pode adoptar um modelo de análise causal. Neste caso o modelo disponibilizado pelo *software* é a Regressão Linear Múltipla (RLM). Após definidas as variáveis a ter em conta, o *software* ajusta a regressão pelo método dos mínimos quadrados. Mais uma vez, um conjunto de indicadores é posto ao serviço do utilizador:

Coeficiente de determinação – R^2

O coeficiente de determinação traduz a proporção da variação total da variável dependente (Y) explicada pela regressão ajustada. Porém este coeficiente apresenta uma limitação: o denominador da expressão que lhe está subjacente tem um valor fixo, enquanto que o numerador só pode aumentar. Assim, ao adicionar-se uma nova variável na equação da regressão, o numerador aumentará, no mínimo, ligeiramente, resultando num aumento do coeficiente de determinação, mesmo que a introdução da nova variável resulte numa equação menos eficiente. Teoricamente, usando um número infinito de variáveis independentes para explicar a variação da variável dependente, resulta num R^2 igual a 1.

Coeficiente de determinação ajustado - *Adjusted R^2*

O coeficiente de determinação ajustado surge como a tentativa de correcção do problema encontrado no coeficiente de determinação, ao penalizar novas variáveis que sejam ineficientes.

Estatística de Durbin-h

Esta estatística testa a autocorrelação dos erros separados por mais de um período.

Estatística de Durbin-Watson - Durbin-Watson

A estatística D-W é usada para testar a presença de autocorrelação de primeira ordem nos erros de previsão. O teste compara os erros do período t com os erros do período $t-1$ e desenvolve uma estatística que mede a significância da correlação entre estas duas séries.

Teste *t-student*

O teste t indica a correlação entre as variáveis presentes na regressão múltipla, ajuizando a sua relevância para o mesmo.

Média Elástica

Esta medida estima o efeito do aumento de uma variável independente em 1% na variável dependente.

Por último como alternativa, a SAP disponibiliza também a possibilidade de combinar vários modelos num só, atribuindo a cada um, um determinado peso obtendo no fim uma combinação ponderada.

A curva de vida do produto é mais uma das funcionalidades disponibilizadas. O utilizador define um perfil para o produto, que pode ser qualquer das fases da vida do produto (desde lançamento até à descontinuação), definindo para cada período no intervalo em consideração uma percentagem que servirá de ajuste quer para o histórico quer para as previsões.

Associado a este facto reside a possibilidade de criação de *'like profile'* sugerida para produtos sem ou com histórico reduzido, e que possam ser comparáveis a outro ou a combinações de outros.

Adicionais funcionalidades passam pela gestão do plano de promoções. Aqui é abordada a temática da canibalização, recorrendo à parametrização, para cada uma das promoções, do efeito da mesma nas vendas dos produtos afectados. Neste âmbito uma funcionalidade relevante é a avaliação das promoções, antes da sua concretização e após o seu lançamento.

A previsão de vendas em regime colaborativo também não é esquecida, existindo um método que permite a avaliação de diferentes previsões dadas pelos diferentes departamentos da empresa, tendo em vista um consenso para os próximos períodos. Adicionalmente, existe a possibilidade de integrar os clientes, ou outras empresas da cadeia de abastecimento através da partilha de informação.

Provavelmente uma das mais úteis funcionalidades do DP articulado com o APO é a possibilidade de simulação em conjunto com o SNP, de vários cenários para as previsões, estudando assim o seu efeito na cadeia de abastecimento. Ao serem libertadas as previsões do DP, o SNP pode simular o aspecto das operações para o horizonte temporal definido. Consegue-se assim otimizar a procura em função das restrições operacionais num processo iterativo.

Paralelamente é ainda possível a divisão das previsões por unidade produtiva, recorrendo mais uma vez a alguma parametrização, bem como a divisão dos volumes de cada produto em promocional e regular.

Mais funcionalidades prendem-se com o registo das previsões para posterior análise, a revisão da parametrização definida e a actualização da base histórica.

A Tabela 5 sintetiza os pontos fortes e fracos deste *software*.

Tabela 5: Análise do Módulo DP - SAP APO

<i>Pontos Fortes</i>	<i>Pontos Fracos</i>
Boa biblioteca de modelos	Necessidade de extensa parametrização
Funcionalidades abrangentes	Manutenção pesada em virtude da parametrização
Articulação com outros módulos do APO	

4.6 Considerações Finais

O projecto Terra foi um importante passo no sentido de formalizar o processo de previsão de vendas. As responsabilidades foram definidas e os fluxos de informação clarificados tornando o processo mais transparente para toda a organização. Este constituiu o primeiro passo na possível escolha e adopção de um *software* para auxílio a esta tarefa.

Até ser implementado o *software* de DP, a ferramenta desenvolvida irá certamente desempenhar um papel importante. Ela permite incorporar no curto prazo muitas das alterações propostas pelo projecto Terra, servindo de rampa de lançamento para a mudança que se avizinha. Do ponto de vista do método quantitativo as alterações incorporadas envolvem a geração automática de uma previsão para as oito semanas em jogo. Para tal o utilizador apenas tem de parametrizar a sazonalidade mensal e a sazonalidade semanal. Primeiramente é estimado o valor de cada mês e em seguida, e de acordo com a sazonalidade semanal, é definido o volume para cada semana. A sazonalidade semanal foi definida criando factores para cada um dos seguintes casos: primeira, segunda, terceira e última semana do mês. A ferramenta incorporada um algoritmo que detecta para cada semana em qual dos quatro tipos esta se insere, podendo eventualmente dar-se o caso de uma semana contemplar parte do fim de um mês e princípio do seguinte. Nessa situação o algoritmo combina os dois factores (primeira e última semana do mês) tendo por base o número de dias de cada mês. Esta melhoria evita que os gestores tenham de ajustar manualmente as previsões semanais, geradas a partir dos volumes previstos para os meses.

A validade deste modelo é discutível uma vez que se acumulam dois erros, o primeiro devido ao erro da estimação do volume mensal e o segundo quando se faz a transformação semanal. Com a introdução do *software* de DP um método quantitativo mais formal será certamente aplicado. O método de Holt-Winters parece ser o mais recomendado, em virtude da sua simplicidade, da contabilização do efeito da tendência e sazonalidade, e da necessidade de se realizarem previsões para vários SKUs, contudo uma análise caso a caso irá certamente ser realizada na altura da implementação.

5 Supply Network Planning

5.1 Introdução

O planeamento da produção actual como um processo hierárquico pressupõe uma análise de médio prazo. Esta análise táctica tem como objectivo estabelecer quais os lotes a produzir nas próximas seis semanas, em cada um dos centros produtivos, de forma a garantir uma determinada cobertura de *stock*. Na Figura 21 apresenta-se um fluxograma do processo actual de planeamento táctico.

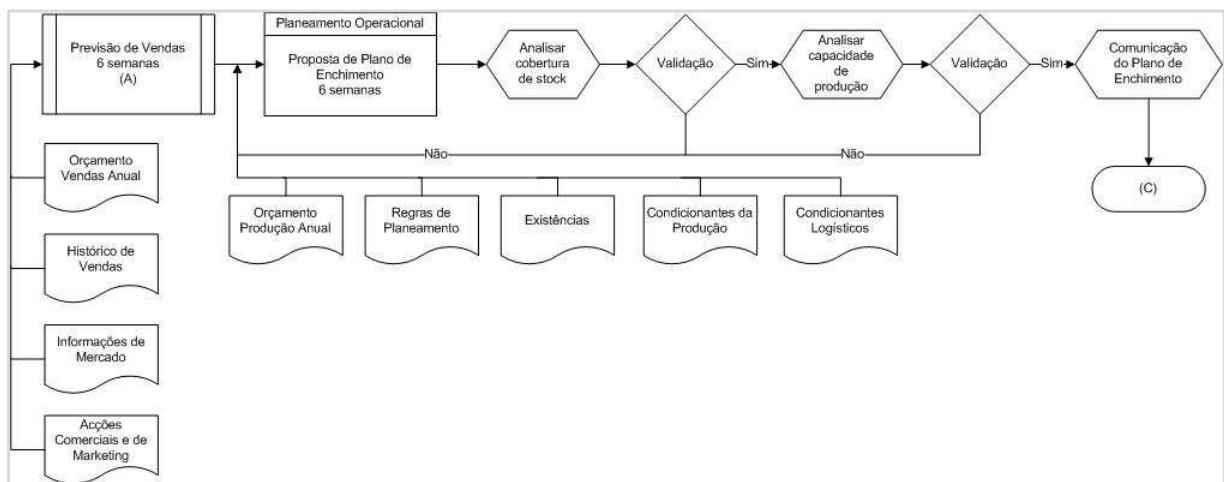


Figura 21: Fluxograma do processo actual de planeamento táctico

Todo o processo de planeamento táctico é originado com a recepção da previsão de vendas para as próximas seis semanas, abordadas no Capítulo 4. Como foi visto no Capítulo 2, o processo de processo produtivo está dividido em duas fases. Nos moldes actuais, o planeamento é realizado inicialmente para a Fase II, fase de enchimento, uma vez que esta é considerada *bottleneck* de todo o sistema.

O planeamento da Fase II irá posteriormente despoletar, o planeamento da Fase I, o fabrico da cerveja. Doravante, sempre que se referir o planeamento da produção, quer-se especificar o planeamento da Fase II. Todavia, existem interdependências entre os processos que não podem ser negligenciadas. Como forma de ter isto em atenção esta dependência a troca de informações é constante, estando representada no fluxograma como as condicionantes da produção. Exemplo disso é o levantamento das disponibilidades de enchimento para as próximas semanas. Este levantamento refere-se ao volume de cerveja em *stock* e ao volume presente nas cubas de fermentação, juntamente com a data da sua possível utilização.

O processo baseia-se em cada linha de enchimento na calendarização e dimensionamento dos lotes de produção de todos os SKUs. O plano gerado deve respeitar um dado horizonte de planeamento, a procura e o *stock* de segurança.

Os SKUs podem ser estratificados em três grupos. Referências C, chamadas de exóticas, que representam um volume pequeno e com uma frequência de enchimento baixa. Referências

denominadas por A e B, com grandes volumes e com altas frequências de enchimento. E as referências *export*, como o próprio nome indica, são referências para exportação. As primeiras enchem apenas no centro produtivo de Leça do Balio. As segundas nos três centros de enchimento de cerveja (Leça do Balio, Santarém, Rical), de acordo com uma distribuição pré-estabelecida no início de cada ano, tendo em atenção critérios comerciais, logísticos e estratégicos. A procura afecta a estes produtos, quando carregada no sistema de apoio é dividida pelos centros produtivos, funcionando na prática como produtos diferentes. As referências *export* enchem preferencialmente no centro de Leça do Balio, contudo em situações excepcionais podem também encher nos outros centros.

A dificuldade deste problema levou à criação de regras de planeamento que auxiliam actualmente o decisor da Unicer nesta tarefa. Uma delas corresponde à sequência dos SKUs segundo a qual se definem o calendário e dimensão dos lotes. Procura-se então para cada linha alocar primeiro os produtos exclusivos dessa mesma linha, perfazendo o resto da capacidade com os produtos mais *standard*. Estes produtos podem ser alocados a mais de uma linha, dentro do mesmo centro produtivo. Para os casos em que isto acontece o plano rege-se por uma lista de prioridade de associação dos produtos às linhas, seguindo-se para estes casos a sua afectação à linha preferencial.

O ponto anterior retrata uma situação que pode ainda ser mais explorada, uma vez que a definição das referências que enchem em cada uma das linhas apresenta, para as mais importantes um carácter estratégico, para além de potenciais restrições técnicas. A título de exemplo, uma linha com capacidade para encher TR e TP, pode estar afectada a encher apenas uma delas por razões estratégicas, isto porque a passagem de um tipo de tara para outro é um processo bastante demorado, tentando-se assim maximizar o *output* da linha.

Regras adicionais contemplam a limitação da capacidade utilizada a 95%, uma vez que o processo de enchimento pressupõe tempos de mudanças de produto dependentes na sequência de enchimento, não considerados no planeamento táctico. Embora os rendimentos utilizados para a estimação dos tempos de produção neste processo tenham já incorporado tempos de paragem associados ao produto, entre outros, a prática mostrou serem insuficientes, daí a necessidade de uma margem adicional.

À medida que esta afectação dos produtos às linhas de enchimento vai sendo realizada, é verificada a utilização da capacidade da linha, num processo iterativo na procura por um plano admissível que cumpra as restrições impostas.

O plano a seis semanas obtido é então enviado para o departamento de produção que realiza uma análise de desvios face ao plano anterior. Daqui resultam as necessidades de produção na Fase I das próximas semanas para os volumes definidos pelo planeamento da Fase II, tendo já em conta o *leadtime* de produção. Após este primeiro passo, é analisada a chamada adegas, ou seja, as produções que estão neste momento nas cubas de fermentação. Com esta análise pretende verificar-se qual o volume de enchimento já satisfeito, retirando-se daqui a quantidade de lotes que devem iniciar o processo de produção de cerveja.

5.2 Problemas de Dimensionamento de Lotes de Produção

O problema descrito acima enquadra-se nos problemas de dimensionamento de lotes (*lotsizing*), um dos mais difíceis no planeamento da produção. A sua aplicabilidade abrange especialmente as indústrias de processo, como o caso da produção de bebidas, nomeadamente

a indústria cervejeira. O objectivo deste problema é encontrar o plano de produção que satisfazendo as necessidades dos clientes minimize os custos de *stock*, produção e *setup*.

Existe uma grande variedade de modelos de dimensionamento de lotes que podem ser ordenados de acordo com as suas características. Entre elas destacam-se:

Número de localizações

Distinguindo modelos com apenas uma unidade de produção dos com várias. Assumindo um sistema multi-site, o problema de *lotsizing* pode ser inserido na categoria dos problemas de Supply Chain Management

Número de níveis do sistema de produção

O sistema de produção pode apresentar apenas um estágio, ou seja, ser considerado apenas com uma operação. Nestes casos, é designado por mono-estágio (*single-stage* ou *single-level*). Alternativamente os modelos multi-estágio (*multi-stage* ou *multi-level*) consideram a existência de vários níveis, podendo eventualmente existir *stock* entre eles, havendo uma dependência entre níveis.

Números de itens

Se apenas existe um produto final, o modelo é designado de *single-item* e *multi-item* para o caso de vários produtos finais.

Restrições de capacidade

Os modelos podem ainda ser divididos entre os que apresentam restrições de capacidade, *capacitated*, e os que não as consideram, *uncapacitated*. A complexidade dos primeiros é bastante maior.

Tipo de procura

A procura diz-se independente quando as necessidades de produção de um item não dependem das decisões tomadas para outros itens. Em oposição a procura dependente surge nos problemas multi-estágio, nos quais a procura de um determinado nível depende da registada nos níveis superiores.

Também se pode diferenciar entre procura estática e procura dinâmica. A primeira não se altera com o tempo, ao contrário da segunda.

A consideração de uma procura probabilística é outra das hipóteses para o tratamento da procura, aumentando a dificuldade dos modelos do ponto de vista conceptual. Usualmente é admitido que a procura é conhecida sendo por isso determinística.

Horizonte de planeamento e escala temporal

O horizonte de planeamento pode ser finito, caso o planeamento da produção se centrar num determinado intervalo de tempo, correspondendo normalmente a estes problemas uma procura dinâmica. Ou pode ser infinito assumindo a procura um carácter estacionário.

A escala temporal sugere o tratamento dos intervalos de tempo. Esta pode ser contínua, assumindo um intervalo contínuo, ou discreta dividindo o intervalo em *time buckets*. A escolha deste divisor é particularmente sensível para este tipo de problemas. Belvaux e Wolsey [2000] sugerem uma classificação dos modelos de dimensionamento de lotes baseada na diferenciação entre os do tipo *big bucket*, em que mais de um produto pode ser preparado e *small bucket*, onde apenas um *setup* pode ser executado.

Paralelamente, a incerteza normalmente associada à estimação da procura, favorece a criação de um horizonte de planeamento rolante. Isto é, um plano apresenta um determinado horizonte para o qual é definido, mas apenas parte dele é cumprido uma vez que quando informação adicional estiver disponível este é actualizado de forma a reflectir o novo cenário.

Estrutura de setup

Um *setup* representa a mudança de produção de um produto para outro, o tempo de *setup* é o intervalo de tempo consumido na mudança. A mudança envolve todos os procedimentos desde a produção do último item de um produto até à produção do primeiro item do produto seguinte com a qualidade exigida. Os modelos de *lotsizing* podem apresentar custos e/ou tempos de *setup*, à custa da introdução de variáveis binárias na formulação. A sua contabilização depende da sua magnitude face à capacidade disponível. Normalmente crescem de importância à medida que a taxa de ocupação das máquinas é mais escassa ou eles próprios são maiores.

Podem considerar-se dois tipos de estrutura de *setup*: simples, na qual os custos e/ou tempos são independentes da sequência de produção, ou complexa caso contrário.

Rupturas de stock

As rupturas de *stock* surgem quando em determinada altura do horizonte temporal a procura não consegue ser satisfeita. Isto pode ocorrer em situações de, por exemplo, falta de capacidade. Os pressupostos tomados relativamente a este tema são denominados de *backordering assumptions*. Caso se considere possível a satisfação de procura passada em períodos futuros permite-se o *backlogging*, em oposição à perda de vendas (*lost sales*).

Desde a introdução da quantidade económica de encomenda, *economic order quantity* (EOQ) proposta por Harris [1913], onde se procurava balancear custos de *setup* com custos de manutenção de *stock*, que os modelos de dimensionamento de lotes se têm cada vez mais procurado adaptar à realidade. Na sua essência o EOQ pressupõe um processo mono-estágio, com capacidade ilimitada, sem possibilidade de *backlogging* e procura constante num horizonte temporal finito. Estas restrições têm vindo a ser ultrapassadas com modelos mais realistas. Um desses modelos é o *Capacitated Lot Sizing Problem* (CLSP), que apresenta um sistema de produção mono-estágio, com horizonte de planeamento finito, procura dinâmica e determinística e com restrições de capacidade. O CLSP tem atraído grande interesse junto da comunidade científica. Este modelo é do tipo *big bucket*. De seguida é apresentada uma formulação deste modelo. Sejam N e T o número total de produtos e períodos, respectivamente.

Índices

i	Produto: $i \in 1, \dots, N$
t	Período: $t \in 1, \dots, T$

Parâmetros

p_i	Tempo de processamento do produto i
-------	---------------------------------------

c_{it}	Custo de mudança (<i>setup</i>) do produto i no período t
h_i	Custo de posse de uma unidade do produto i durante um período
$proc_{it}$	Procura do produto i no período t
Cap_t	Capacidade disponível no período t
B_{it}	Quantidade máxima que é possível produzir do produto i no período t

Variáveis de Decisão

X_{it}	Quantidade do produto i a ser produzida no período t
I_{it}	<i>Stock</i> no final do produto i no período t
Z_{it}	$\begin{cases} 1, & \text{se máquina for preparada para o produto } i \text{ no período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$$\text{Min} \quad \sum_t \sum_i (c_{it} \cdot Z_{it} + h_i \cdot I_{it}) \quad (5.1)$$

$$\text{s. a.:} \quad I_{it} = I_{i(t-1)} + X_{it} - proc_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T; \quad (5.2)$$

$$\sum_i p_i \cdot X_{it} \leq Cap_t \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (5.3)$$

$$X_{it} \leq B_{it} \cdot Z_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T; \quad (5.4)$$

$$(X_{it}, I_{it}) \geq 0; Z_{it} \in \{0,1\} \quad (5.5)$$

O objectivo desta formulação é a minimização dos custos de *setup* e de *stock* (5.1). As equações (5.2) são referentes ao balanceamento de *stock* de períodos sucessivos. As limitações de capacidade são tidas em conta em (5.3). O limite máximo (*upper bound*) de produção e coerência entre X_{it} e Z_{it} são garantidos por (5.4). A formulação apresentada pode ser extendida de forma a abranger os casos anteriormente discutidos,

Em Quadrt e Kuhn [2007] é feita uma revisão das principais extensões deste problema, considerando horizonte temporal discreto, nomeadamente: *back-orders*, *setup carry-over*, sequenciamento e máquinas paralelas. *Setup carry-over* designa a memória do modelo, entre períodos. Ou seja, se um determinado produto é o último a ser produzido no período t e o primeiro no período $t+1$, então nenhum *setup* foi executado. Esta característica não é contemplada com a formulação original do CLSP. Esta extensão é abordada em Haase [1994].

Outra extensão comum é a possibilidade de um ambiente multi-máquina. A formulação resultante aumenta exponencialmente em dificuldade face ao problema mono-máquina. Como é sabido, o CLSP é um problema NP-Hard, como foi demonstrado por Bitran et al. [1982], e Maes et al. [1991] mostrou que encontrar uma solução admissível para CLSP com *setups* é NP-completo. A decisão de incorporar decisões de sequenciamento no CLSP depende do problema em análise. Esta deve ser cuidadosamente ponderada, visto aumentar a dificuldade de solução do problema. Em Almada Lobo et al. [2007] é apresentada uma nova formulação considerando tempos e custos de *setup* dependentes da sequência, bem como o *setup carry-over*, para a indústria de embalagens de vidro.

5.3 Modelo Idealizado

Na abordagem realizada ao planeamento tático foi desenvolvido um modelo matemático utilizando programação linear inteira mista (PIM). Recorde-se que o objectivo é a criação de um plano de produção para as próximas seis semanas, que defina para cada linha de enchimento os produtos e quantidades a serem produzidos em cada semana, garantindo uma determinada cobertura de *stock*.

O modelo desenvolvido é uma extensão da formulação original do CLSP, considerando: máquinas paralelas, tempos de *setup* dependentes da máquina, mas independentes da sequência de produção, *setup carry-over* e *stock* de segurança. Literatura relativa à inclusão de *stocks* de segurança no CLSP não foi encontrada. O horizonte temporal está dividido em seis períodos de uma semana.

Segue-se a notação utilizada para a formulação do problema de planeamento tático e o correspondente modelo de PIM. Em adição à notação apresentada na secção 5.2, considere-se M como o número total de máquinas e anotação seguinte:

Índices

j	Produto: $j \in 1, \dots, N$
m	Máquina: $m \in 1, \dots, M$

Parâmetros

p_i^m	Tempo de processamento do produto i na máquina m
s_i^m	Tempo de mudança (<i>setup</i>) do produto i na máquina m
ss_{it}	<i>Stock</i> segurança do produto i no período t
$proc_{it}$	Procura do produto i no período t
Cap_t^m	Capacidade da máquina m no período t
h_i	Custo de posse de uma unidade do produto i durante um período

A	Conjunto de pares (i,m) representando que o produto i não pode ser afecto à máquina m
λ	Factor de ponderação
M_1, M_2	<i>Big Number</i>

Variáveis de Decisão

X_{it}^m Quantidade do produto i a ser produzida no período t na máquina m

B_{it} Backlog no final do produto i no período t

Iss_{it} Stock acima do stock de segurança do produto i no período t

Bss_{it} Stock abaixo do stock de segurança do produto i no período t

$\alpha_{it}^m \begin{cases} 1, & \text{se máquina } m \text{ estiver preparada para o produto } i \text{ no final do período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$Z_{it}^m \begin{cases} 1, & \text{se máquina } m \text{ for preparada para o produto } i \text{ no período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$$\text{Min} \quad \frac{(1-\lambda) \sum_m \sum_t \sum_i s_i^m \cdot (Z_{it}^m - \alpha_{it}^m) + \lambda \cdot \sum_t \sum_i h_i \cdot I_{it} / T + M_1 \cdot \sum_t \sum_i B_{it} + M_2 \cdot \sum_t \sum_i Bss_{it}}{\quad} \quad (5.6)$$

$$\text{s. a.:} \quad I_{it} + B_{i(t-1)} = I_{i(t-1)} + \sum_m X_{it}^m - proc_{it} + B_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T; \quad (5.7)$$

$$Iss_{it} = I_{it} - Ss_{it} + Bss_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T; \quad (5.8)$$

$$\sum_i [p_i^m \cdot X_{it}^m + s_i^t \cdot (Z_{it}^m - \alpha_{i(t-1)}^m)] \leq Cap_t^m \quad \forall t = 1, \dots, T; m = 1, \dots, M \quad (5.9)$$

$$X_{it}^m \leq Cap_t^m \cdot (Z_{it}^m + \alpha_{i(t-1)}^m) \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T; m = 1, \dots, M \quad (5.10)$$

$$\sum_i \alpha_{it}^m \leq 1 \quad \forall t = 1, \dots, T; m = 1, \dots, M \quad (5.11)$$

$$\alpha_{it}^m \leq Z_{it}^m + \alpha_{i(t-1)}^m \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T; \quad (5.12)$$

$$m = 1, \dots, M$$

$$\alpha_{it}^m + \alpha_{i(t-1)}^m - Z_{it}^m + Z_{jt}^m \leq 2 \quad \forall i, j = 1, \dots, N: i \neq j \quad (5.13)$$

$$t = 1, \dots, T; m = 1, \dots, M$$

$$Z_{it}^m \leq 0 \quad \forall (i, m) \in A; t = 1, \dots, T \quad (5.14)$$

$$(X_{it}^m, I_{it}, B_{it}, Iss_{it}, Bss_{it}) \geq 0, (\alpha_{it}^m, Z_{it}^m) \in \{0,1\} \quad (5.15)$$

A função objectivo (5.6) procura a minimizar o somatório ponderado do tempo de *setup* e *stock* médio, bem como das quantidades de *backlog* e incumprimento do *stock* de segurança. Os tempos de *setup* estão expressos em minutos enquanto que *stock* médio, *backlog* e incumprimento do *stock* de segurança em quilolitros. Esta função objectivo é multi-critério, sendo que o parâmetro λ é definido de forma a definir a direcção de pesquisa, $\lambda \in [0; 1]$. A restrição (5.7) trata do balanceamento de *stocks*, contabilizando *backorders*. A questão do *stock* de segurança é abordada na equação (5.8), sempre que $I_{it} \leq Ss_{it}$ origina que $Bss_{it} \geq 0$ sendo penalizada na função objectivo, caso contrário o aumento de Iss_{it} não apresenta qualquer implicação. Em (5.9) garante-se que a capacidade não é excedida pelo tempo produção mais os tempos de *setup*. Um produto apenas poderá ser produzido no período se a máquina for preparada no período t para o mesmo, ou caso este tenha sido o último em produção no período $t-1$, isto é assegurado pela restrição (5.10). (5.11) limitam o *setup carry-over* a apenas um produto. As restrições (5.12) e (5.13) certificam a coerência entre *setups* e *carry-over*. Assim em (5.12) garante-se que apenas é feito o *carry-over* do *setup* do produto se a máquina tiver sido preparada para o mesmo nesse período, ou o tenha sido no período anterior. (5.13) atesta que se o *carry-over* do *setup* do produto é feito em dois períodos consecutivos ($t-1$ e t), então ou nenhum outro produto foi preparado no período t , ou então a máquina teve de ser reprogramada para o produto no período t . As restrições (5.14) asseguram as restrições tecnológicas de afectação de produtos a máquinas.

Para além da formulação desenvolvida, contributos adicionais foram dados para a melhoria do processo. Actualmente o departamento não dispõe de métricas que permitam avaliar um determinado plano de produção e que permitam efectuar o *benchmark* entre diferentes versões. Os indicadores utilizados na função objectivo: tempos de *setup* expressos em minutos ou alternativamente número de lotes e, *stock* médio, *backlog* e incumprimento do *stock* de segurança expressos em quilolitros, foram sugeridos como indicadores a ter em conta na comparação de versões dos planos.

5.4 Resultados

De forma a validar o modelo proposto foram realizados alguns testes em instâncias reais. Estes testes tinham como objectivo a avaliação da performance do modelo e consistiam na elaboração dos planos de produção, em paralelo com o departamento de planeamento operacional, comparando no final os planos obtidos. Os testes foram realizados entre as semanas 23 e 25 de 2009 e para as linhas destinadas ao enchimento das referências de cerveja em garrafa de vidro de tara retornável e tara perdida.

As soluções obtidas não puderam, no entanto, ser comparadas com as soluções reais. Tal facto deveu-se à assimetria de informação causada pela manutenção dos dados em sistema. Todavia, as soluções geradas sofreram escrutinadas e validado o seu *output*.

5.5 SAP APO – Supply Network Planning (SNP)

O SAP SNP representa a função desempenhada pelo SCP analisadas na secção 3.1. Um esquema do seu funcionamento, assim como a sua integração com outros módulos do APO é apresentado na Figura 22.

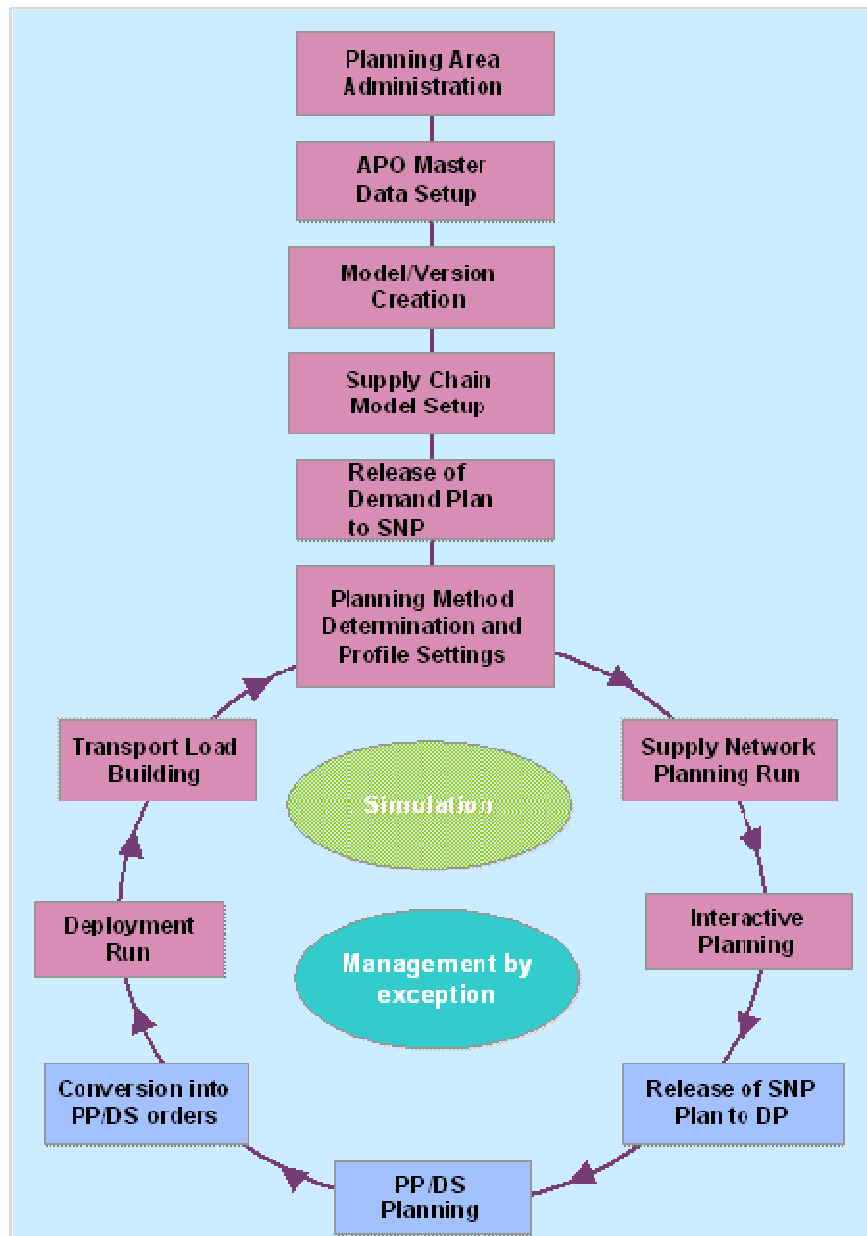


Figura 22: Esquema de funcionamento do SNP

Fonte: SAP [2009]

Tal como o DP, o SNP pressupõe a correcta definição de parâmetros que constituem a definição base para a operação do módulo. Parte desta informação consiste em descrever, por

exemplo: localizações produtivas, recursos, produtos e modelo de processos produtivos. A estas tarefas correspondem as actividades apresentadas na figura acima como *Planning Area Administration*, *APO Master Data Setup* e *Model/Version Creation*. De seguida, uma modelação da cadeia de abastecimento (*Supply Chain Model Setup*) deve ser construída, para que o SNP compreenda fluxos de materiais, recursos de produção, linhas de transporte, etc.

O ciclo de planeamento é iniciado pela recepção das previsões de vendas através do DP, outro por outro método *Release Demand Plan to SNP*, ao que se segue a escolha método de planeamento. O SNP apresenta várias alternativas para a elaboração dos planos: heurísticas, optimização, *supply & demand propagation*, *safety stock planning* e *Capable-to-Match* (CTM). Dependendo da alternativa selecciona adicionais parametrizações podem ser necessárias. Após a escolha do método de planeamento, a actividade *Supply Network Planning Run* gera um plano para a produção e distribuição, excepto se se utilizar o método *safety stock planning*. É dada então a liberdade ao utilizador de rever e alterar o plano à sua vontade (*Interactive Planning*). O plano pode ser opcionalmente retornado ao DP, com o objectivo de comparar a procura com a capacidade de resposta actual da cadeia de abastecimento (*Release of SNP Plan to DP*). Esta possibilidade havia já sido referida na secção 4.5 como uma das vantagens da utilização integrada dos módulos do APO. Esta comparação pode originar a revisão das previsões ou o re-planeamento. As ordens planeadas são então libertadas para o módulo de PP/DS e para o módulo de gestão de transportes para a realização de um planeamento mais detalhado. De seguida são brevemente apresentados os métodos de planeamento propostos mais interessantes para o cenário da Unicer (otimizador, heurísticas e CTM).

O otimizador incluído no SNP executa uma análise baseada em custos para a geração do melhor plano possível. Os custos a incluir na função objectivo representam custos de produção, fornecimento, *stock*, transporte, violação do *stock* de segurança, atrasos na entrega de encomendas e rupturas. O utilizador pode também definir os custos associados ao aumento da capacidade de armazenagem, transporte, produção e manuseamento dos produtos de forma a contemplar possíveis aumentos de capacidade. O SNP constrói em *background* um modelo em programação linear considerando as restrições activadas pelo utilizar e com a anterior função objectivo. As restrições são activadas pela incorporação de alguma das seguintes características no modelo: *lead times*, capacidade de transporte, capacidade de manuseamento, capacidade produção, capacidade de armazenagem, tamanho de lotes (mínimo, máximo e valor de arredondamento), recursos alternativos, data de validade, restrições tecnológicas de afectação de produtos a recursos, consumo discreto da capacidade de recursos.

O método heurístico proposto percorre todos os pontos de planeamento da cadeia de abastecimento determinando necessidade e as fontes abastecimento de acordo com a priorização. Estas necessidades são depois propagadas por toda a extensão da mesma. Os planos gerados podem não ser admissíveis, razão pela qual este método possui ainda uma função de nivelamento da capacidade corrigindo inadmissibilidades. O plano gerado tem em consideração *lead times*, prioridades definidas, calendários definidos, regras de dimensionamento de lotes, disponibilidade dos componentes, modelos dos processos produtivos, restrições tecnológicas de afectação de produtos a recursos e o perfil da procura.

O método CTM baseia-se em regras de despacho para a geração de planos admissíveis. O CTM não procura fazer qualquer optimização, tal como o método heurístico. Este procedimento tenta satisfazer uma procura prioritizada atendendo às restrições de capacidade de produção e transporte. O conjunto de regras de despacho a utilizar é definido pelo utilizador de forma a melhor traduzir a realidade do cenário de planeamento. A priorização

da procura é feita tendo por base, por exemplo, tipo de encomenda, data da encomenda, localização na cadeia de abastecimento, produto, entre outras regras. É possível simular vários cenários com diferentes regras de priorização. Existe ainda a possibilidade de indicar qual a estratégia de planeamento. Entre as estratégias estão opções como o planeamento de toda a procura ou apenas a procura insatisfeita, se o plano é realizado numa perspectiva *forward* (as ordens são planeadas o mais cedo possível) ou *backward* (as ordens são planeadas o mais próximo da data de entrega possível), entre mais algumas opções. O CTM pode ainda trabalhar no sentido de garantir um determinado *stock* ou cobertura de *stock* para os produtos.

À data a Unicer utiliza o CTM para gerar os seus planos. Baseado na capacidade disponível, priorização da utilização das linhas de enchimento por produto e regras de dimensionamento de lotes, o CTM procura gerar um plano que garanta uma cobertura mínima de *stock*.

5.6 Considerações Finais

Do ponto de vista da geração dos planos a utilização do CTM é uma solução para a obtenção de soluções admissíveis. Mais, a definição de regras de dimensionamento de lotes e prioridades das linhas de enchimento permite que os planos sigam uma estratégia definida pelos utilizadores. São, no entanto, estas regras que limitam a qualidade das soluções. O modelo desenvolvido entra em conta com todas as restrições importantes para o planeamento e garante também o objectivo de cobertura de *stock*, mas analisa o problema no sentido de encontrar a melhor solução possível. A relaxação das regras permite analisar o conjunto de todas as soluções admissíveis, de forma a encontrar a melhor.

Existe no entanto a necessidade de prosseguir com os testes realizados, de forma a garantir a total confiança nos modelos e a analisar a sua performance. Atente-se ainda no facto de uma estratégia de optimização sugerir sempre um *trade-off* entre a qualidade da solução e o tempo de execução.

A melhoria da qualidade da solução proposta possibilita a poupança de tempo dispendido na eventual alteração dos planos por partes dos planeadores. E a existência de indicadores de performance contemplados na função objectivo do modelo proposto faz com que seja possível a geração de planos com diferentes estratégias de uma forma muito simplificada.

6 Detailed Scheduling

6.1 Introdução

O planeamento de curto prazo corresponde ao nível mais baixo do sistema hierárquico de produção. Responsabilidade também do departamento operacional, consiste no escalonamento dos lotes de produção afectos às linhas de enchimento pelo planeamento táctico (Plano de Enchimento – B), para apenas a primeira semana do horizonte deste último. O fluxograma do processo pode ser visto na Figura 23.

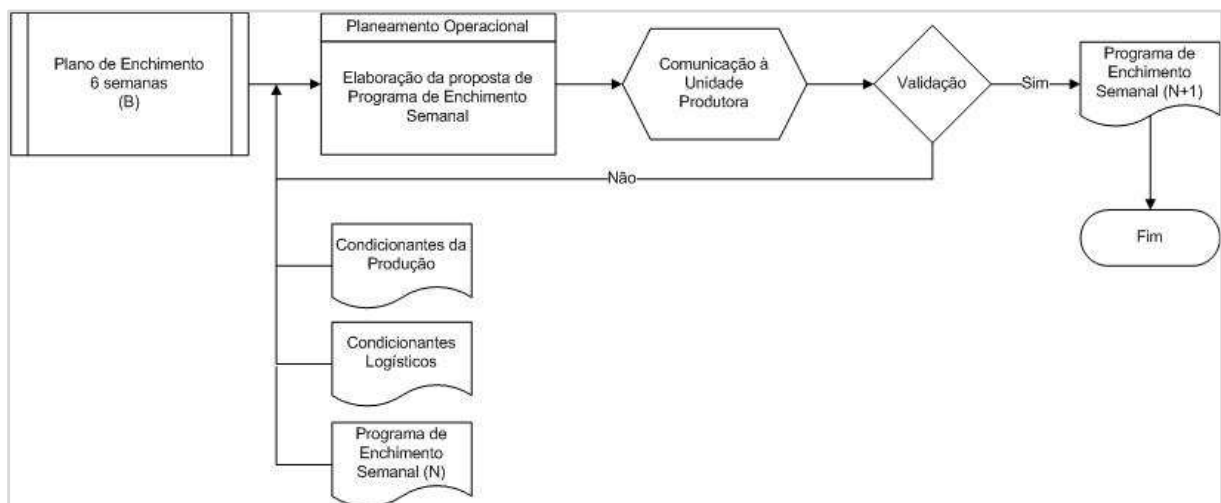


Figura 23: Fluxograma do processo actual de planeamento de curto prazo

Tal como no processo de planeamento táctico, a atenção está apenas focada na fase de enchimento, e são também consideradas, as condicionantes da produção e logísticas. As primeiras respeitam, mais uma vez, às condicionantes provenientes da Fase I. As segundas apresentam agora uma maior importância, pois quando existem praticamente definem a sequência de produção dos lotes. Inserem-se dentro deste âmbito restrições ligadas à disponibilidade de vasilhame, transporte, armazenagem entre outras. Embora também estejam presentes no planeamento táctico são relaxadas, na medida em que o seu efeito é um pouco incerto e se faz mais reflectir mais no curto prazo.

O objectivo de processo é a satisfação dos clientes, o abastecimento da procura é sempre a meta da Unicer. Contudo, a juntar a este objectivo primário, temos a optimização dos recursos disponíveis como um indicador a não perder de vista. Isto é conseguido com a maximização do volume de produção das linhas de enchimento. Para tal, a minimização dos tempos de *setup* deve ser considerada, uma vez que os *setups* consomem precioso tempo de produção. Os planos são gerados com o intuito de encher ao máximo a capacidade das linhas.

Similarmente ao planeamento táctico, algumas regras de planeamento são seguidas, de forma a tornar possível a resolução deste difícil problema. Assim, é comum começar-se o escalonamento pelos produtos que apresentam uma cobertura de *stock* mais baixa. De facto, para certos produtos a cobertura de *stock* mantida é tão baixa como dez dias, o que origina

pontualmente a necessidade de antecipar enchimentos previstos motivados, por exemplo, por uma procura anormalmente mais alta do que o esperado.

Outra das regras a ter em conta é a existência do que se pode chamar de sequências ideias. Estas sequências derivam de existirem conjuntos de produtos que variam muito pouco entre si, suscitado uma mudança mais simples entre eles. Interessa aqui também destacar a importância do decisor e da sua experiência na geração destes planos. Actualmente, este é um ponto-chave, uma vez que a rapidez de geração e revisão dos planos está dependente da pessoa responsável pelo processo.

Este processo não se esgota na elaboração dos programas de enchimento. Diariamente a performance da linha é acompanhada fazendo-se o paralelo entre o real e o planeado, e sempre que se identificarem necessidades o plano é alterado. Surgem então dois cenários possíveis: o plano está a ser cumprido, ou o plano não pode ser cumprido. Do primeiro caso pode ou não resultar a verificação de um excesso de capacidade. Em tais casos, as alternativas são: o aumento das quantidades para enchimento, ou o prolongamento do enchimento do último produto do plano. Esta última opção é motivada pela tentativa de não realizar *setups* durante o fim-de-semana, altura mais crítica em virtude das equipas encarregues das mudanças não estarem disponíveis. Muito embora esta restrição possa ser ultrapassada. Na situação de incumprimento do plano, esta poder-se-á ficar a dever a múltiplas razões, como avarias na linha, ou algum outro problema imprevisto. Porém, o resultado é o adiamento para a semana seguinte dos lotes de produção.

Uma das situações a ter em consideração é o facto de os volumes já terem sido distribuídos pelas linhas de enchimento pelo planeamento tático, de acordo com o critério de linha preferencial para os produtos. Este critério faz com que no planeamento de curto prazo não se redistribua os volumes a encher pelas linhas, tirando eventualmente partido da menor ocupação de uma das linhas motivada por menores paragens ou melhores performances.

Uma das importantes características a ter em conta na distinção entre o planeamento tático e o de curto prazo é a utilização de diferentes taxas de enchimento. As mudanças de produtos originam tipicamente um ciclo de arranque com está representado na Figura 24.

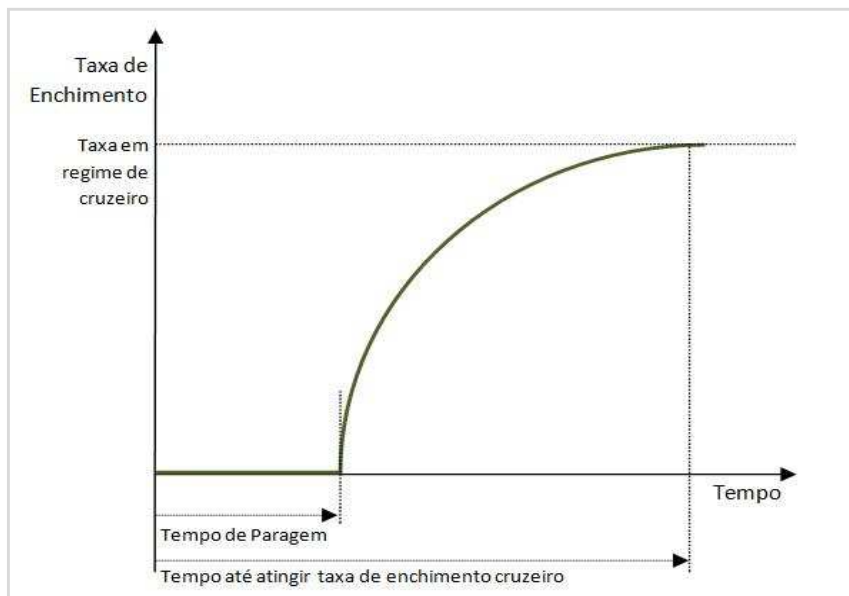


Figura 24: Taxa de enchimento após uma mudança de produto

O tempo até atingir a taxa de enchimento em regime cruzeiro depende da dificuldade da mudança do produto anterior para o novo. No planeamento táctico, com se viu anteriormente, as taxas de enchimento utilizadas entram em conta com tempos de mudança e o intervalo de tempo até atingir a taxa de enchimento cruzeiro, já que os tempos de *setup* não são considerados, no processo de planeamento actual. Outros tipos de paragens associadas à manutenção das linhas e *avarias*, também são salvaguardados. Já no planeamento de curto prazo, visto já serem contemplados os tempos de *setup*, as taxas de enchimento a considerar são combinadas com os responsáveis do enchimento, e definidas em função do tamanho do lote a encher e da dificuldade das mudanças a efectuar. Na Figura 25 está presente outra situação a ter em conta. O tempo de paragem associado a uma mudança implica para mudanças de certos produtos, para além dos normais ajustes na linha de enchimento, uma limpeza (CIP) desta.

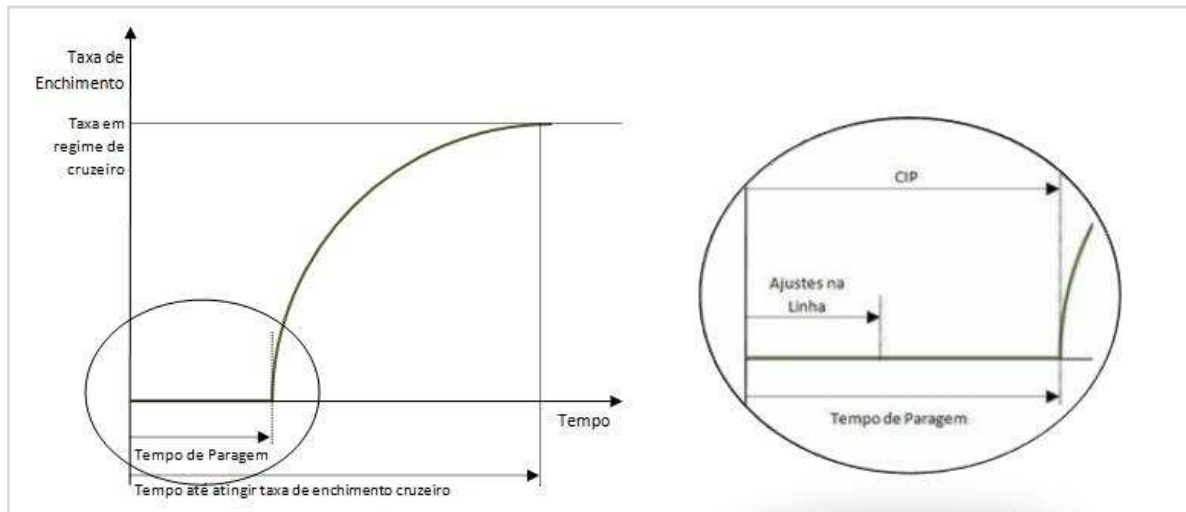


Figura 25: Tempo de mudança

Em todas as semanas é obrigatório a paragem durante um turno para se proceder à limpeza e higienização da linha de enchimento. Esta paragem é normalmente planeada, de forma a coincidir com uma mudança de produto que necessite dessa limpeza.

6.2 Dimensionamento e Escalonamento de Lotes de Produção

No Capítulo 5 apresentaram-se alguns modelos que apenas incluíam decisões de dimensionamento de lotes de produção. As decisões de sequenciamento eram pois deixadas em aberto para uma fase posterior. O modelo original do CLSP, anteriormente exposto não sequencia a produção, que é uma característica comum dos modelos do tipo *big bucket*, onde em cada período vários produtos podem ser preparados e produzidos. A necessidade que surge no planeamento de curto prazo de fornecer, para cada linha de enchimento, um plano que especifique simultaneamente a dimensão e sequenciamento dos lotes a serem produzidos origina mudanças no modelo a considerar.

No planeamento de curto prazo, os modelos designados de *small bucket* desempenham um papel fundamental. Nestes modelos o horizonte de planeamento é usualmente dividido em

períodos de tempo mais pequenos como dias, turnos ou horas. Em cada um dos períodos é possível executar no máximo um *setup* e, dependendo do modelo, produzir um ou no máximo dois produtos. Neste conjunto de modelos inserem-se o *Discrete Lotsizing and Scheduling Problem* (DLSP), o *Continuous Setup Lotsizing Problem* (CSLP) e o *Proportional Lotsizing and Scheduling Problem* (PLSP), analisados de seguida. De forma a formular os modelos, e em adição à formulação apresentada no Capítulo 5 aquando do detalhe do modelo para o planeamento táctico, a seguinte notação irá ser utilizada.

Variáveis de Decisão

$$Z_{it} \quad \begin{cases} 1, & \text{se o produto } i \text{ começa a ser produzido no período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$Y_{it} \quad \begin{cases} 1, & \text{se o produto } i \text{ é produzido no período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

6.2.1 Discrete Lotsizing and Scheduling Problem (DLSP)

O DLSP permite no máximo a produção de um produto por período. Mais este modelo assume o pressuposto ‘*all-or-nothing*’, ou seja, um produto produzido ocupa a totalidade da capacidade do período. Fleischmann [1990] apresenta o DLSP é apresentado.

Este modelo pode ser traduzido matematicamente da forma seguinte:

$$\text{Min} \quad \sum_t \sum_i c_{it} \cdot Z_{it} + \sum_t \sum_i h_i \cdot I_{it} \quad (6.1)$$

$$\text{s. a.:} \quad I_{it} = I_{i(t-1)} + X_{it} - \text{proc}_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6.2)$$

$$p_i \cdot X_{it} = \text{Cap}_t \cdot Y_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6.3)$$

$$\sum_i Y_{it} \leq 1 \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (6.4)$$

$$Z_{it} \geq Y_{it} - Y_{i(t-1)} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6.5)$$

$$(X_{it}, I_{it}, Z_{it}) \geq 0, Y_{it} \in \{0,1\} \quad (6.6)$$

A função objectivo (6.1) procura minimizar os custos de *setup* e *stock*. As restrições de equilíbrio de *stocks* (6.2) são análogas às do CLSP, abordado no capítulo anterior. O pressuposto ‘*all-or-nothing*’ é assegurado pelas equações (6.3) e as restrições (6.4) fazem com que apenas possa ser produzido um produto por período. As expressões (6.5) pretendem identificar existência de *start-up*. Assim, se um determinado produto for produzido durante mais de um período consecutivo apenas um *setup* é contabilizado. No entanto, se durante este período em que a máquina se manteve preparada para esse produto, existir um período de inactividade ($X_{it} = 0, \forall i, t$) o estado de preparação da máquina é perdido. O resultado é que

no próximo período com produção, mesmo que do produto para o qual a máquina estava preparada antes da inatividade ocorrerá sempre a contabilização de um *setup*. Em Salomon et al. [1991] um conjunto de variantes deste problema pode ser consultado.

6.2.2 Continuous Setup Lotsizing Problem (CSLP)

Relaxando o pressuposto ‘*all-or-nothing*’ do DLSP, obtém-se o CSLP. Este pressuposto permite a implementação de eficientes procedimentos de programação matemática, mas é considerado demasiado restritivo, segundo Drexl and Kimms [1997].

O CSLP pode ser traduzido matematicamente pelo seguinte modelo:

$$\text{Min} \quad \sum_t \sum_i c_{it} \cdot Z_{it} + \sum_t \sum_i h_i \cdot I_{it} \quad (6.7)$$

$$\text{s. a.:} \quad I_{it} = I_{i(t-1)} + X_{it} - \text{proc}_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6.8)$$

$$p_i \cdot X_{it} \leq \text{Cap}_t \cdot Y_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6.9)$$

$$\sum_i Y_{it} \leq 1 \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (6.10)$$

$$Z_{it} \geq Y_{it} - Y_{i(t-1)} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6.11)$$

$$(X_{it}, I_{it}, Z_{it}) \geq 0, Y_{it} \in \{0,1\} \quad (6.12)$$

A única diferença face ao DLSP consiste nas restrições (6.9), agora uma desigualdade. Esta diferença faz com que sejam agora possíveis períodos de inatividade sem perda de memória do estado de preparação da máquina já que $Y_{it} = 1$ não implica $X_{it} > 0$ como acontece no DLSP. Uma revisão da literatura relativa a estes modelos pode ser vista em Jans [2002].

6.2.3 Proportional Lotsizing and Scheduling Problem (PSLP)

Proposto por Drexl and Haase [1995], o PLSP permite no mesmo período a produção de dois itens, aproveitando o desperdício de capacidade do CSLP. Na prática ocorre apenas um *setup* por período, iniciando-se o período a produzir um item e terminando com um outro, ou seja o *setup* ocorre a meio do período.

O PLSP pode ser formulado através de:

$$\text{Min} \quad \sum_t \sum_i c_{it} \cdot Z_{it} + \sum_t \sum_i h_i \cdot I_{it} \quad (6.13)$$

$$\text{s. a.:} \quad I_{it} = I_{i(t-1)} + X_{it} - \text{proc}_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6.14)$$

$$p_i \cdot X_{it} \leq \text{Cap}_t \cdot (Y_{it} + Y_{i(t-1)}) \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6.15)$$

$$\sum_i p_i \cdot X_{it} \leq Cap_t \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6.16)$$

$$\sum_i Y_{it} \leq 1 \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (6.17)$$

$$Z_{it} \geq Y_{it} - Y_{i(t-1)} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6.18)$$

$$(X_{it}, I_{it}, Z_{it}) \geq 0, Y_{it} \in \{0,1\} \quad (6.19)$$

Dado que se podem produzir mais do que um produto por período, a variável Y_{it} passa a representar se a máquina está ou não preparada para o produto i no final do período t . tal alteração, permite também perceber a sequência de produção em cada período. Quando dois produtos são produzidos num período, o primeiro a ser produzido é o último do período anterior, ficando a máquina preparada para o segundo no final do período actual. Uma das consequências deste facto é que em dois períodos consecutivos apenas se consegue produzir um máximo de três produtos. As restrições (6.15) e (6.16) são as únicas a sofrer alterações face ao CSLP. (6.15) garantem que um item pode ser produzido se a máquina estiver configurada para o mesmo no final do período anterior, ou no final do actual, e em (6.16) assegura-se o cumprimento das restrições de capacidade. Em Kimms [1999] são estudadas extensões do PLSP. Em Drexel and Haase [1995] extensões como a consideração de tempos de *setup* independentes da sequência e de múltiplas máquinas paralelas são apresentadas.

6.2.4 Comparação entre os modelos

Os três modelos foram apresentados na sua forma mais simples, podendo incorporar a maior parte das características abordadas na Secção 5.2. Exemplificando, Kimms and Drexel [1998] estudam várias extensões do PLSP, em Dastidar and Nagi [2005] uma extensão do CSLP em ambiente multi-máquina com *setups* dependentes da sequência é discutida à luz da indústria de moldes de injeção, e em Jans and Degraeve [2004] propõem-se uma extensão do DLSP contemplando tempos de *start-up*, máquinas paralelas e *backlogging* para o problema de planeamento da produção da indústria de pneus.

Na realidade, o PLSP pode ser visto como uma generalização do CSLP, e este como uma generalização do DLSP. O conjunto de soluções admissíveis do DLSP é um subconjunto das soluções admissíveis do CSLP, que por sua vez também é um subconjunto das soluções admissíveis do PLSP (Figura 26).

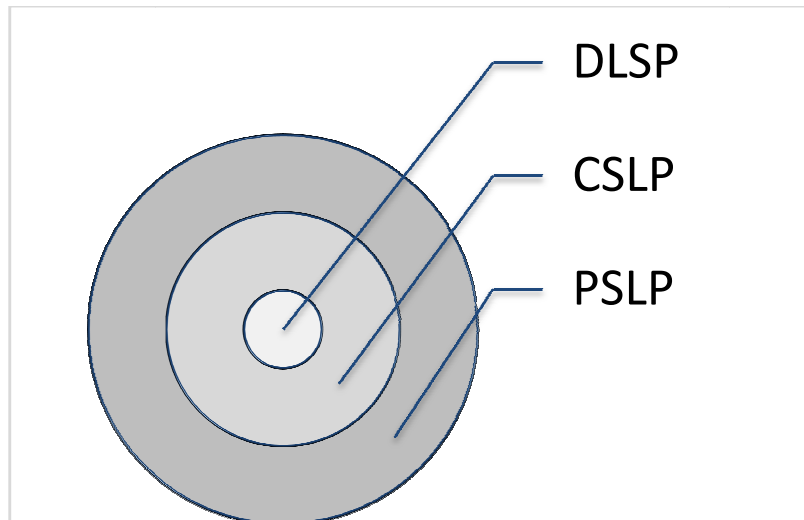


Figura 26: Conjunto de soluções dos modelos *small bucket*

Outra diferença entre o PLSP e os outros dois modelos é a altura em que o *setup* ocorre. Enquanto o PLSP permite que o *setup* se realize em qualquer altura do período, os restantes modelos obrigam a que este ocorra no início. A Figura 27 esquematiza o *output* fornecido por cada um dos modelos para um período.

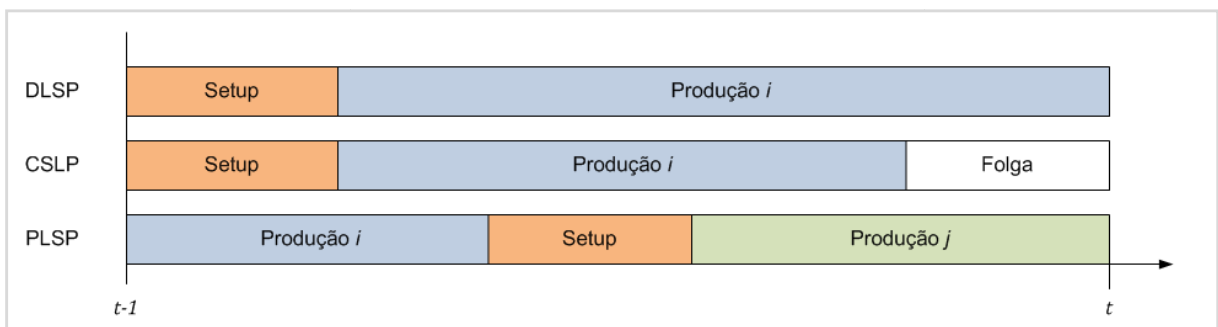


Figura 27: Esquema do *output* dos modelos *small bucket*

6.3 Modelo Idealizado

No sentido de tratar o problema de planeamento de curto prazo desenvolveram-se duas formulações. Uma considera apenas o escalonamento da produção para uma linha e outra contempla a situação do escalonamento da produção de várias linhas. Este facto deveu-se à necessidade de validação do modelo, uma vez que na situação actual o planeamento é realizado linha a linha considerando os inputs do planeamento táctico realizado no SNP. Recorde-se que os objectivos são a satisfação da procura e a optimização da utilização dos recursos disponíveis, neste caso as linhas de enchimento. Tal como sucedia no planeamento táctico, não existem métricas para a avaliação dos planos. Elas foram sugeridas de acordo com o objectivo definido. Assim, os indicadores estabelecidos de *benchmark* foram: o volume produzido expresso em quilolitros (kl) e o tempo de *setup* expresso em minutos (min).

Dos modelos de dimensionamento e escalonamento de lotes estudados, o que se considerou mais interessante para o caso presente foi o PLSP, para um horizonte temporal dividido em

turnos. Esta opção justifica-se pelo facto de na prática se produzir no máximo dois SKUs diferentes em cada turno.

Uma linha

De seguida apresenta-se notação adicional utilizada e a formulação do PSLP para uma linha contemplando tempos de *setup* dependentes da sequência, *backlogging* e lotes mínimos de produção para famílias de produtos. Considere-se F como o número total de famílias de produtos.

Índices

f Família: $f \in 1, \dots, F$

Parâmetros

s_{ij} Tempo de mudança (*setup*) do produto i para o produto j

D_f Conjunto de produtos da família de f

Lm_f Lote Mínimo de produção da família f

Variáveis de Decisão

Z_{it} $\begin{cases} 1, & \text{se a máquina estiver preparada para o produto } i \text{ no final do período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

Q_{ijt} $\begin{cases} 1, & \text{se a mudança do produto } i \text{ para o produto } j \text{ ocorre na máquina no período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$$\text{Max} \quad (\lambda - 1) \cdot \sum_t \sum_i \sum_j s_{ij} \cdot Q_{ijt} + \lambda \cdot \sum_t \sum_i X_{it} + M \cdot \sum_t \sum_i B_{it} \quad (6.20)$$

$$\text{s. a.:} \quad I_{it} + B_{i(t-1)} = I_{i(t-1)} + X_{it} - \text{proc}_{it} + B_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6.21)$$

$$\sum_i p_i \cdot X_{it} + \sum_i \sum_j s_{ij} \cdot Q_{ijt} \leq \text{Cap}_t \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (6.22)$$

$$X_{it} \leq \text{Cap}_t \cdot (Z_{it} + Z_{i(t-1)}) \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6.23)$$

$$\sum_i Z_{it} = 1 \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (6.24)$$

$$Z_{i(t-1)} + Z_{jt} \leq Q_{ijt} + 1 \quad \forall i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, N; \quad (6.25)$$

$$t = 1, \dots, T$$

$$\sum_{s=t}^{t+u} \sum_i X_{is} \geq Lm_f \cdot \left(\sum_{s=t}^{t+u} \sum_{i \in D_f} \sum_{j \notin D_f} Q_{ijs} - \right. \quad \forall f = 1, \dots, F; t = 1, \dots, T; \quad (6.26)$$

$$\left. M \cdot \sum_{s=2-t}^0 \sum_{i \in D_f} Z_{i(t-1)} + \sum_{s=T-u}^0 \sum_{i \in D_f} Z_{i(T+s)} \right) \quad u = 0, \dots, T-t$$

$$(X_{it}, I_{it}, B_{it}, F_{ft}, IF_{it}, Q_{ijt}) \geq 0, Z_{it}^m \in \{0,1\} \quad (6.27)$$

O objectivo da optimização da utilização dos recursos disponíveis é alcançado através da maximização do output da linha e da minimização dos tempos de *setup*, que são os indicadores estabelecidos para a avaliação dos planos (6.20). Tal como no planeamento táctico o parâmetro λ é utilizado para definir a direcção de pesquisa. Em (6.21) estão presentes as equações de balanceamento de *stocks* entre períodos sucessivos, incorporando o *backordering*. O cumprimento das restrições de capacidade é garantido pelas restrições (6.22). As restrições (6.23) derivam directamente da formulação original do PLSP e asseguram que um produto apenas pode ser produzido no período t se a linha estava preparada para o mesmo no final do período $t-1$ ou t . (6.24) impedem que a linha esteja preparada para mais de um produto no final de cada período e as restrições (6.25) controlam a coerência entre *setups* e o estado de preparação da linha. Em (6.27) a existência de lotes mínimos por família de produtos é assegurada. Passa-se a explicar melhor as restrições (6.26). Em cada período t somam-se as quantidades dos períodos seguintes até T , recorrendo à variável u . O lado direito da inequação destina-se à identificação em cada conjunto de períodos do número de lotes existente através da contabilização das trocas entre famílias ($\sum_{s=t}^{t+u} \sum_{i \in D_f} \sum_{j \notin D_f} Q_{ijs}$). Esta restrição deve estar inactiva sempre que um lote já se encontre em produção em períodos anteriores, tal é garantido através do termo $(-M \cdot \sum_{s=2-t}^0 \sum_{i \in D_f} Z_{i(t-1)})$. A identificação do último lote de produção é especial, uma vez que não existe uma mudança posterior. A expressão $(\sum_{s=T-u}^0 \sum_{i \in D_f} Z_{i(T+s)})$ garante, quando os intervalos somados vão até T , que o último lote é contemplado através da identificação do estado de preparação da linha no final do horizonte temporal. As quantidades produzidas entre t e T devem então ser superiores à quantidade mínima por lote multiplicado pelo número de lote de produção identificados.

A definição da variável Z_{it} como binária juntamente com as restrições (6.25) permite a declaração da variável Q_{ijt} como contínua não-negativa.

Múltiplas linhas

Seguidamente apresentam-se a notação adicional e a formulação do modelo considerando o ambiente de múltiplas linhas com tempos de *setup* dependentes da sequência, *backlogging* e lotes mínimos de produção para famílias de produtos.

A contabilização dos lotes mínimos por família obrigou à criação de um segundo nível de produção, correspondendo na prática à Fase I, fase de fabrico. Contudo nem as restrições específicas deste nível nem a sincronização entre os níveis foi abordada, servindo o nível apenas para garantir o cumprimento dos lotes mínimos de produção das famílias de produtos.

Índices

l Família: $l \in 1, \dots, F$

Parâmetros

s_{ij}^m Tempo de mudança (*setup*) do produto i para o produto j na máquina m

Cap_F_t Capacidade de filtração no período t

v Validade da cerveja após a filtração

Variáveis de Decisão

F_{ft} Quantidade filtrada da família f no período t

IF_{ft} *Stock* de cerveja filtrada da família f no final período t

Z_{it}^m $\begin{cases} 1, & \text{se máquina } m \text{ estiver preparada para o produto } i \text{ no final do período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

Y_{ft} $\begin{cases} 1, & \text{se a família } f \text{ é filtrada no período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

Q_{ijt}^m $\begin{cases} 1, & \text{se a mudança do produto } i \text{ para o produto } j \text{ ocorre na máquina } m \text{ no período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

$$\text{Max} \quad \lambda \cdot \sum_m \sum_t \sum_i X_{it}^m + (\lambda - 1) \cdot \sum_m \sum_t \sum_i \sum_j s_{ij}^m \cdot Q_{ijt}^m - M_1 \cdot \sum_t \sum_i B_{it} \quad (6.28)$$

$$\text{s. a.:} \quad I_{it} + B_{i(t-1)} = I_{i(t-1)} + \sum_m X_{it}^m - \text{proc}_{it} + B_{it} \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (6.29)$$

$$IF_{ft} = IF_{f(t-1)} - \sum_m \sum_i X_{it}^m + F_{ft} \quad \begin{aligned} &\forall f = 1, \dots, F; t = 1, \dots, T; \\ &m = 1, \dots, M; i \in D_f \end{aligned} \quad (6.30)$$

$$\sum_i p_i^m \cdot X_{it}^m + \sum_i \sum_j s_{ij}^m \cdot Q_{ijt}^m \leq Cap_t^m \quad \forall t = 1, \dots, T; m = 1, \dots, M \quad (6.31)$$

$$X_{it}^m \leq Cap_t^m \cdot (Z_{it}^m + Z_{i(t-1)}^m) \quad \forall i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T; m = 1, \dots, M \quad (6.32)$$

$$\sum_i Z_{it}^m = 1 \quad \forall t = 1, \dots, T; m = 1, \dots, M \quad (6.33)$$

$$Z_{i(t-1)}^m + Z_{jt}^m \leq Q_{ijt}^m + 1 \quad \forall i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T; m = 1, \dots, M \quad (6.34)$$

$$Z_{it}^m \leq 0 \quad \forall (i, m) \in A; t = 1, \dots, T \quad (6.35)$$

$$F_{ft} \geq Lm_f \cdot Y_{ft} \quad \forall f = 1, \dots, F; t = 1, \dots, T \quad (6.36)$$

$$F_{fs} \leq \sum_{s=t}^{Min(t+v,T)} \sum_m \sum_i X_{is}^m \quad \forall f = 1, \dots, F; t = 1, \dots, T; i \in D_f \quad (6.37)$$

$$\sum_f F_{ft} \leq Cap_{Ft} \quad \forall f = 1, \dots, F; t = 1, \dots, T \quad (6.38)$$

$$F_{ft} \leq M \cdot Y_{ft} \quad \forall f = 1, \dots, F; t = 1, \dots, T \quad (6.39)$$

$$(X_{it}^m, I_{it}, B_{it}, F_{ft}, IF_{it}, Q_{it}^m) \geq 0, (Z_{it}^m, Y_{ft}) \in \{0,1\} \quad (6.40)$$

A função objectivo (6.28) é semelhante à formulada para o problema de uma linha única, assim como as restrições (6.29) de balanceamento de *stocks*, as de capacidade (6.31), as da produção de um item (6.32), as do estado de preparação de uma linha no final de cada período (6.33) e as da coerência entre o estado de preparação e as mudanças (6.34). Novidades no modelo são as equações (6.30), (6.35) - (6.39). Em (6.30) é considerado o equilíbrio de *stocks* de cerveja filtrada de cada família no nível dependente, nível de filtração. Este nível apresenta uma procura dependente da variável X_{it}^m . A questão dos lotes mínimos de produção das famílias de produtos é resolvida em (6.36) com o auxílio da variável binária Y_{ft} . Sempre que ocorra filtração de uma certa família, a quantidade filtrada deve ser superior ao lote mínimo estipulado. (6.39) garantem a coerência entre Y_{ft} e F_{ft} . E (6.38) impede que se ultrapasse a capacidade de filtração em cada período. As restrições (6.37) obrigam ao consumo da cerveja filtrada dentro do prazo de validade. Já as restrições (6.35) impedem a afectação de produtos a determinadas linhas de acordo com as restrições tecnológicas.

6.4 Resultados

A estadia na Unicer e o contacto com as pessoas responsáveis pelo processo de planeamento de curto prazo assegurou a informação necessária para a criação de instâncias reais deste problema. Novamente com o intuito de validação dos modelos apresentados foram feitos

testes consistindo na geração dos planos em paralelo com os sugeridos pelo departamento de planeamento operacional. Estes testes medem a capacidade de resposta dos modelos a situações reais e permitem comparar as soluções obtidas com as soluções reais com base os indicadores de performance definidos anteriormente.

As instâncias resolvidas correspondem a cinco semanas, semana 18 até à 23 com excepção da semana 21, e para as linhas de enchimento V e VI do centro produtor de Leça do Balio. Dois tipos de teste foram realizados: um considerando directamente a afectação vinda do SNP às linhas de enchimento realizando para cada o sequenciamento dos lotes de produção. Chamou-se a esta abordagem ‘Linha Preferencial’. O segundo teste consiste em relaxar a afectação à linha preferencial, permitindo ao modelo tirar partido dessa liberdade: esta alternativa chamou-se de ‘Optimizado’. Para ambos a procura consistiu nos volumes definidos por SKU no SNP.

Os problemas foram resolvidos utilizando métodos exactos no *software* de optimização CPLEX 11.2 da Ilog [2009] impondo um limite de tempo de execução de uma hora. Caso o problema não seja resolvido até à optimalidade o *software* retorna a melhor solução encontrada durante a execução.

Os resultados obtidos para a estratégia de ‘Linha Preferencial’ são apresentados na Figura 28.

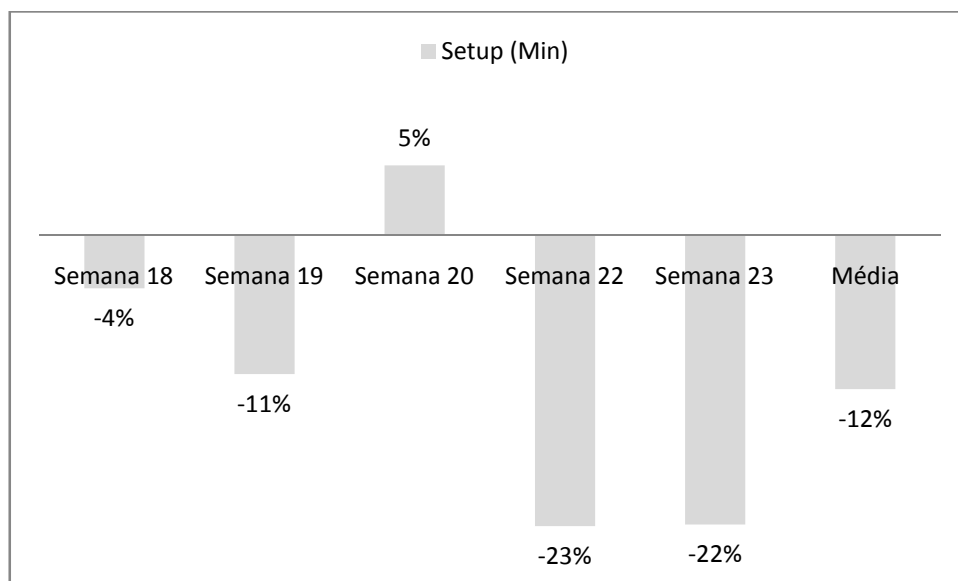


Figura 28: Resumo dos indicadores da estratégia 'Linha Preferencial'

$$\Delta\% = (\text{Modelo} - \text{Unicer}) / \text{Unicer}$$

Estes testes tinham como objectivo a validação do output do modelo, assumindo um cenário de planeamento o mais próximo possível da realidade da Unicer. As soluções sugeridas não só foram validadas como apresentavam uma performance melhor (Figura 28), à excepção da semana 20. Neste momento apenas os tempos de *setup* foram considerados na função objectivo, sendo que os volumes de enchimento eram iguais.

A estratégia designada ‘Optimizado’ originou planos que podem ser resumidos pelos indicadores presentes na Figura 29.

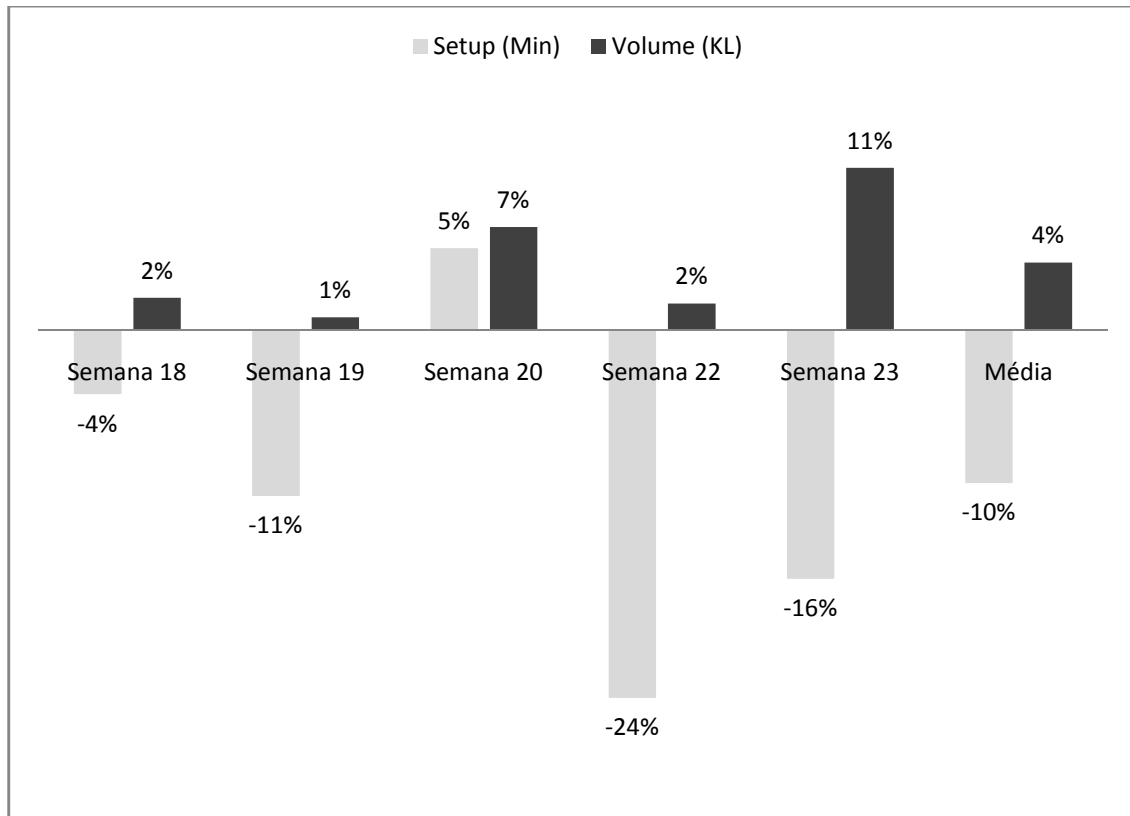


Figura 29: Resumo dos indicadores do da estratégia 'Optimizado'

$$\Delta\% = (\text{Modelo-Unicer}) / \text{Unicer}$$

Analisando os resultados obtidos pode verificar-se que o modelo desenvolvido, à excepção da semana 20, conseguiu encontrar uma melhor afectação da produção às linhas de enchimento proporcionando reduções do tempo total de *setup*. Esta redução permite a libertação de capacidade para o enchimento de um maior volume. O caso específico da semana 20 é um exemplo de um plano real que não ocupava a totalidade da capacidade das linhas, assim, apesar do aumento dos tempos de *setup*, a folga existente no plano permitia o enchimento de volume extra. Esta situação sucede pontualmente em alguns planos e deve-se à dificuldade de replicação dos cenários reais. A replicação tinha como objectivo a criação de um plano base para comparação, de forma a serem considerados tempos de *setup* iguais e taxas de enchimento iguais. Tal facto deve-se aos motivos relatados na Secção 6.1: a taxa de enchimento em regime de cruzeiro combinada com o enchimento, para a qual não existem registos, e o tratamento das trocas de produtos com necessidade de CIP. Esta replicação originou, para alguns planos, inconsistências no cumprimento das restrições de capacidade, originando sub e sobre-utilização dos recursos.

Uma comparação apenas ao nível dos tempos de *setup* foi ainda realizada, de forma a comparar o desempenho das duas estratégias. Essa comparação é exibida na Figura 30.

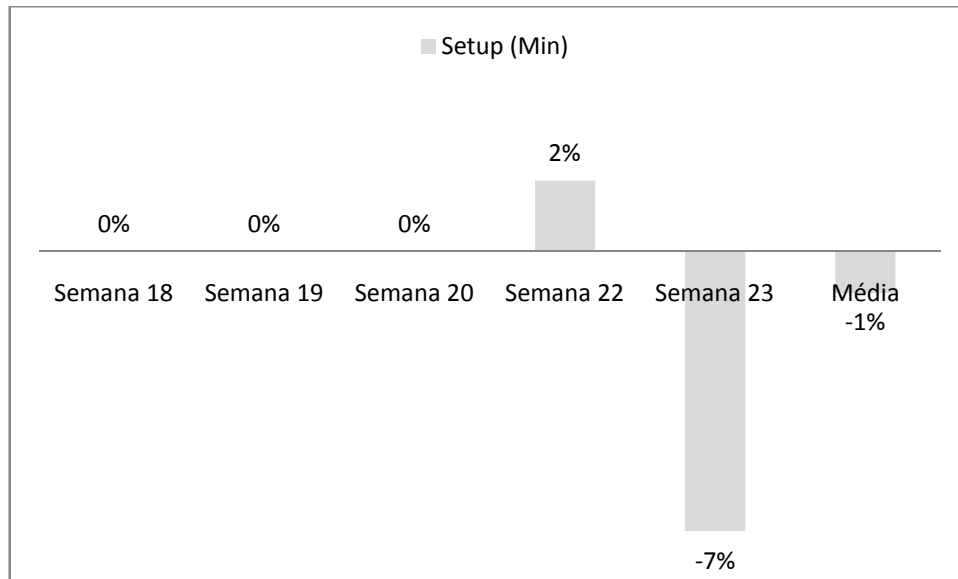


Figura 30: Resumo da comparação entre a estratégia 'Linha Preferencial' e 'Optimizado'
 $\Delta\% = ('Linha\ Preferencial' - 'Optimizado') / 'Optimizado'$

Destaca-se que ao nível do tempo de *setup* as duas estratégias apresentam performances muito semelhantes. Aliás, para as três primeiras semanas do teste o seu desempenho foi igual, isto resulta de uma afectação às linhas de enchimento da estratégia contemplando múltiplas máquinas igual à sugerida pela Unicer. Este facto vem atestar a validade desta formulação. Em virtude de ser mais complexo e incorporar na função objectivo um segundo objectivo, por vezes o modelo multi-máquina não responde tão bem no intervalo de tempo estipulado, como é o caso da semana 23.

No anexo C podem ser consultados os planos de enchimento sugeridos pelas diferentes estratégias e a sua comparação com o plano real.

6.5 SAP APO – *Production Planning/ Detailed Scheduling (PP/DS)*

O planeamento de curto prazo da Unicer é destinado ao escalonamento dos lotes de produção. O módulo PP/DS, cuja integração no APO é apresentada na Figura 31, fornece um conjunto de métodos de solução para este problema.

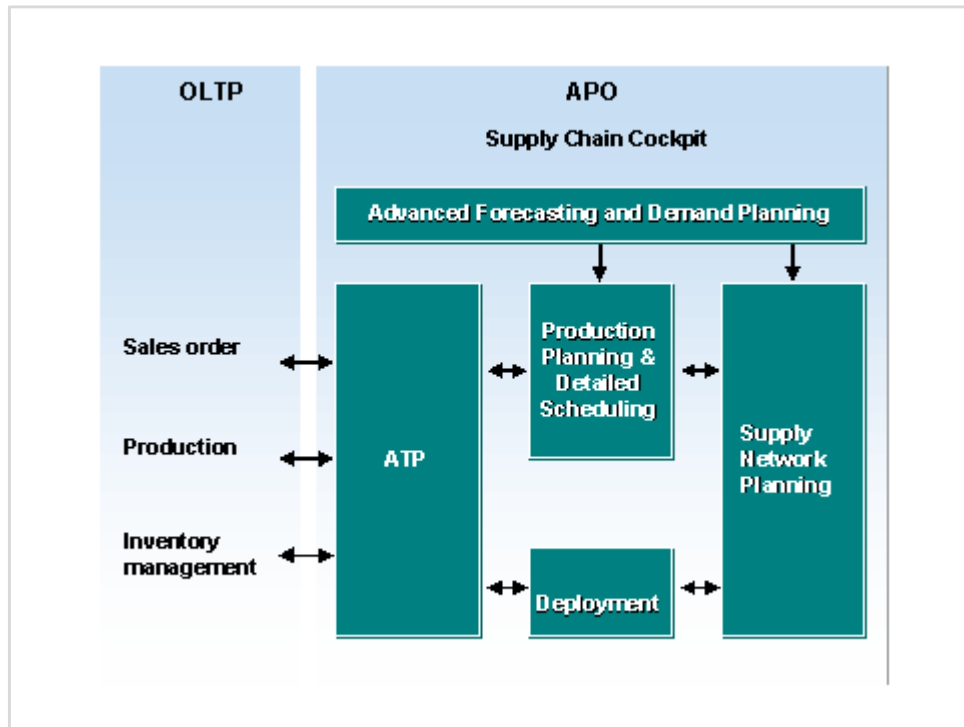


Figura 31: Integração do módulo PP/DS no SAP APO

Fonte: SAP [2009]

Uma das propostas é a utilização de métodos de otimização. O modelo consiste numa função objectivo composta pela ponderação dos seguintes critérios: *lead time* total, soma dos tempos de *setup*, soma dos custos de *setup*, soma dos custos de atraso e soma dos custos de produção. O utilizador opta por diferentes objectivos definindo pesos diferentes para a ponderação destes critérios.

No que diz respeito aos tempos e custos de *setup*, assumidos dependentes da sequência, duas matrizes de *setup* diferentes têm de ser mantidas. Os custos de atraso são obtidos mediante a parametrização de penalizações incumprimentos relacionados com datas de entregas de encomendas, que pode ser gerida tendo como base a encomenda, o produto ou ambos. Podendo ser calculados a partir da soma dos atrasos ou do atraso máximo. Os custos de produção reflectem a possibilidade de afectação das ordens a mais de um recurso. Estabelecendo a duração das tarefas em cada um deles e o consumo de capacidade, os custos associados representam a priorização dos recursos. Por exemplo, uma unidade produtora dispõe de duas máquinas para satisfazer encomendas, uma mais recente e outra mais antiga. Pode ser pretendido esgotar a capacidade da primeira e só depois avançar para a segunda, isto é conseguido através da definição de uma parametrização adequada.

A função objectivo analisa então datas, alocação a recursos e sequência das actividades, podendo consoante a escolha do utilizador focar-se apenas em alguma destas componentes. O modelo de optimização leva em consideração restrições de capacidade dos recursos, início e fim de uma actividade e interdependência entre estágios de produção.

O cenário do problema de escalonamento condiciona a proposta de técnicas de solução. Para problemas onde é difícil de obter uma solução admissível a SAP propõe a técnica do *constraint propagation*, e para problemas mais focados na qualidade da solução são sugeridos algoritmos genéticos.

Outra abordagem possível é a utilização de procedimentos heurísticos para o escalonamento da produção. Esta consiste na fixação no tempo de um conjunto de ordens de produção, sequenciando o algoritmo as ordens seguintes, de forma a obter o menor *lead time* possível. A criação de sequências óptimas é outras das opções. O utilizador define a sequência ideal e o algoritmo escalona a produção de acordo com esta.

As funcionalidades descritas são apenas parte das possibilidades presentes no módulo PP/DS. Estas foram apresentadas porque se consideram ser as mais interessantes para a resolução do problema abordado nesta secção.

6.6 Considerações Finais

O estudo desenvolvido no planeamento de curto prazo permitiu a identificação das principais características do processo possibilitando o seu modelamento matemático. Os modelos propostos traduzem a realidade do cenário de planeamento tendo em conta as principais restrições deste processo. Os testes conduzidos validaram os planos resultantes, atestando a capacidade de geração de planos em situação real.

Mais importante do que discutir ao pormenor a performance do modelo é a vantagem resultante de possuir uma ferramenta que consiga, em tempo razoável, a criação de planos de enchimento. Libertando os gestores desta tarefa, esta abordagem permite um maior tempo disponível para a análise de cenários. Esta sistematização do processo permite ainda que alterações de última hora possam facilmente ser incorporadas na solução.

Do trabalho desenvolvido surgiram ainda sugestões para a melhoria dos processos. A introdução de métricas para a avaliação dos planos gerados é fundamental para a geração automática dos planos e indicador da performance do planeamento. Outra das sugestões ainda não referida é a introdução de um horizonte de planeamento rolante. Este baseia-se na introdução de um novo ponto de planeamento entre duas iterações sucessivas. Combatendo assim a incerteza e volatilidade do planeamento, introduzindo nos planos nova informação à medida que esta vai estando disponível. Uma mudança no horizonte de planeamento também seria interessante no sentido de aumentar a robustez dos planos. Assim, em lugar de planear apenas a próxima semana, de uma forma discreta, seriam alvo de planeamento a próxima semana mais alguns dias da semana seguinte. Na prática estas melhorias apresentam algum paralelismo com procedimentos feitos actualmente, como a revisão periódica dos planos. Ao mesmo tempo, na elaboração dos planos de curto prazo a informação relativa ao plano táctico está presente, almejando a tal robustez pretendida. As sugestões realizadas são mais no sentido de as formalizar no processo tendo em vista a sua sistematização

A utilização do módulo PP/DS do SAP APO traria a vantagem de integração da informação numa única ferramenta, tirando também partido de toda a interface e funcionalidades desenvolvidas. As técnicas sugeridas pela SAP poderiam ser comparadas com as aqui apresentadas. Uma vez que existe a possibilidade de criar métodos de solução definidos pelo utilizador, as propostas aqui apresentadas poderiam também ser implementadas caso se revelassem superiores.

7 Conclusões e Trabalhos Futuros

Num mercado cada vez mais feroz, onde as empresas lutam por quotas de mercado difíceis de obter, a busca pela eficiência operacional como vantagem competitiva é uma realidade. A crescente volatilidade dos mercados faz com que o planeamento e re-planeamento sejam uma constante, de forma a agradar a clientes cada vez mais exigentes, mas também indecisos. A busca pela optimização dos processos como forma de garantir resultados melhores leva a que a cadeia de abastecimento seja hoje um grande foco de atenção.

O objectivo principal deste trabalho prendeu-se com o desenvolvimento de métodos quantitativos que ajudassem os gestores nas suas decisões, ajudando-os a lidar com a complexidade da cadeia de abastecimento. Este objectivo foi cumprido com o desenvolvimento de um sistema hierárquico de produção, auxiliando a tomada de decisão nos planos tático e operacional.

O envolvimento no projecto Terra contribuiu para a melhoria de um dos inputs fundamentais para o planeamento da produção. O desenvolvimento e implementação de uma ferramenta informática para a realização das previsões de vendas, constituiu uma boa ajuda para o dia-a-dia dos utilizadores, que possuem agora um sistema mais automático, fiável e preciso, poupando-lhes tempo valioso. Além disso, a nova ferramenta incorpora novas informações que certamente irão resultar numa melhoria da qualidade das previsões. A ferramenta F-2010, tal como foi designada, está já num estado bastante avançado, tendo já resistido à fase de implementação. Contudo, fruto da experiência de utilização durante este período, algumas possibilidades de melhoria foram detectadas, havendo espaço para melhorias adicionais. Ainda relativo a esta ferramenta é fundamental aumentar a sua robustez, ao que não pode ser dissociado um melhor tratamento dos erros que ocorram durante a execução da aplicação.

O trabalho desenvolvido no sistema hierárquico de produção estabeleceu a base para a automatização dos processos, fazendo com que a geração quer dos planos de curto prazo (programas de enchimento) quer dos planos táticos (planos de enchimento) seja mais fácil. Isto permite que os gestores dediquem mais tempo à análise dos planos, libertando-os do trabalho de encontrar soluções admissíveis para o problema do planeamento da produção. Adicionalmente, eventuais alterações de última hora, ou mudanças ao nível dos pressupostos são imediatamente traduzidas em novos planos, evitando assim a revisão contínua por parte dos planeadores.

Outro aspecto a salientar é o contributo para a melhoria do processo de planeamento com a introdução das métricas de avaliação dos planos. Estas são essenciais para a automatização do processo, mas igualmente importantes na medição da performance do planeamento na situação actual. Também a sugestão da introdução de um plano rolante no planeamento de curto prazo, tornará os planos mais robustos. Este ponto é analogamente importante para a automatização do processo.

Apesar dos modelos terem já passado por uma fase de validação, a sua hipotética implementação pode levantar ainda mais desafios. Não sendo de descartar a hipótese do desenvolvimento de algoritmos específicos para a solução dos problemas, mediante a

disponibilidade de *software* de optimização, ou para a resolução dos mesmos em ambiente SAP APO.

A solução de instâncias reais dos modelos desenvolvidos para o planeamento tático e planeamento de curto prazo, foi realizada recorrendo a métodos exactos no *software* de optimização CPLEX 11.2 (Ilog). O modelo de curto prazo incorpora simultaneamente decisões de dimensionamento e sequenciamento, tornando-o ainda mais complexo. Os testes realizados mostraram a necessidade de se desenvolverem heurísticas e meta-heurísticas para a resolução destes problemas com instâncias reais, uma vez que a solução óptima nunca foi obtida no tempo limite estabelecido (uma hora).

As formulações desenvolvidas para os dois problemas de planeamento da produção consideraram que o *bottleneck* do processo se situava sempre na Fase II, fase de enchimento. Porém esta abordagem carece de validação, pois planos da Fase II podem revelar-se inadmissíveis para a Fase I, fase de fabrico. Uma das possíveis melhorias para o sistema de planeamento da produção desenvolvido é a incorporação da Fase I nos modelos, permitindo assim a variação do *bottleneck* entre as duas fases. Outra vantagem importante desta abordagem seria a possibilidade de sincronização entre as duas fases, procurado assim otimizar todo o processo e não apenas parte.

Tradicionalmente as decisões de dimensionamento de lotes são tomadas separadamente das decisões de escalonamento. Porém, na indústria de bebidas, no caso indústria cervejeira, os tempos de *setup* incorridos na mudança entre produtos levam a que estas decisões sejam tomadas simultaneamente. Assim, seria interessante a introdução das decisões de sequenciamento no planeamento tático.

As melhorias discutidas irão, certamente, tornar a necessidade de métodos de solução ainda mais premente.

De destacar ainda o grande enriquecimento quer a nível de conhecimentos, quer a nível pessoal do autor da tese durante a realização do projecto de dissertação na Unicer.

8 Referências

- A. Drexel and A. Kimms. Lot sizing and scheduling – Survey and Extensions. *European Journal of Operational Research*, 99(2): 221-235, 1997.
- A. Drexel and K. Haase. Proportional Lotsizing and Scheduling. *International Journal of Operational Research*, 148(1): 221-228, 1995.
- A. Drexel, B. Fleischmann, H. O. Günther, H. Stadler and H. Tempelmeier [1994] A basic structure of capacity-oriented PPC systems. *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 46(1994) 1022-1045, 1994.
- A. Kimms. A genetic algorithm for multi-level, multi-machine lot sizing and scheduling (with initial inventory). *Computers & Operations Research*, 26(8): 829-848, 1999.
- A. Kimms and A. Drexel. Proportional lot sizing and scheduling: Some extensions. *Networks*, 32(2): 85-101, 1998.
- A. P. Guedes. Introdução à Logística. [projecção visual], Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2000.
- B. Almada-Lobo, D. Klabjan, M. A. Carravilla, and J. F. Oliveira. Single machine multi-product capacitated lot sizing with sequence-dependent setups, *International Journal of Production Research*, 45:20, 4873-4894, 2007.
- B. Almada-Lobo. Planeamento e escalonamento de produção: Visão global e caso de estudo. Technical report, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2002.
- B. Fleischmann. The Discrete Lotsizing and Scheduling Problem. *European Journal of Operational Research*, 44(3): 337-348, 1990.
- B. Fleischmann e H. Meyr. Planning Hierarchy, Modelling and Advanced Planning Systems, *Handbooks in OR & MS*, 11(9):457-523, 2003.
- C.C. Holt. Forecasting seasonal and trends by exponentially weighted moving averages, Office of Naval Research, Research Memorandum No. 52, 1957.
- D. Quadt, and H. Kuhn. Capacitated lot-sizing with extensions: a review. Springer, Berlin, 2007.
- E.S. Gardner. Exponential smoothing: the state of the art, *Journal of Forecasting*, 4, 1-28, 1985.
- F. W. Harris. How many parts to make at once. *Operations Research*, 38(6): 947-950.
- G. Belvaux and L.A. Wolsey. A specialized Branch and Cut system for lot-sizing Problem, *Management Science*, 46(5), 724-738, 2000.
- G. R. Bitran, E. A. Haas, and A. C. Hax. Hierarchical production planning – a 2-stage system. *Operations Research*, 30(2):232-251, 1982.
- H. Tempelmeier. Supply Chain Planning with Advanced Planning Systems, Paper presented at the 3rd Aegean International Conference on "Design and Analysis of Manufacturing Systems". Tinos Island Greece, 2001.

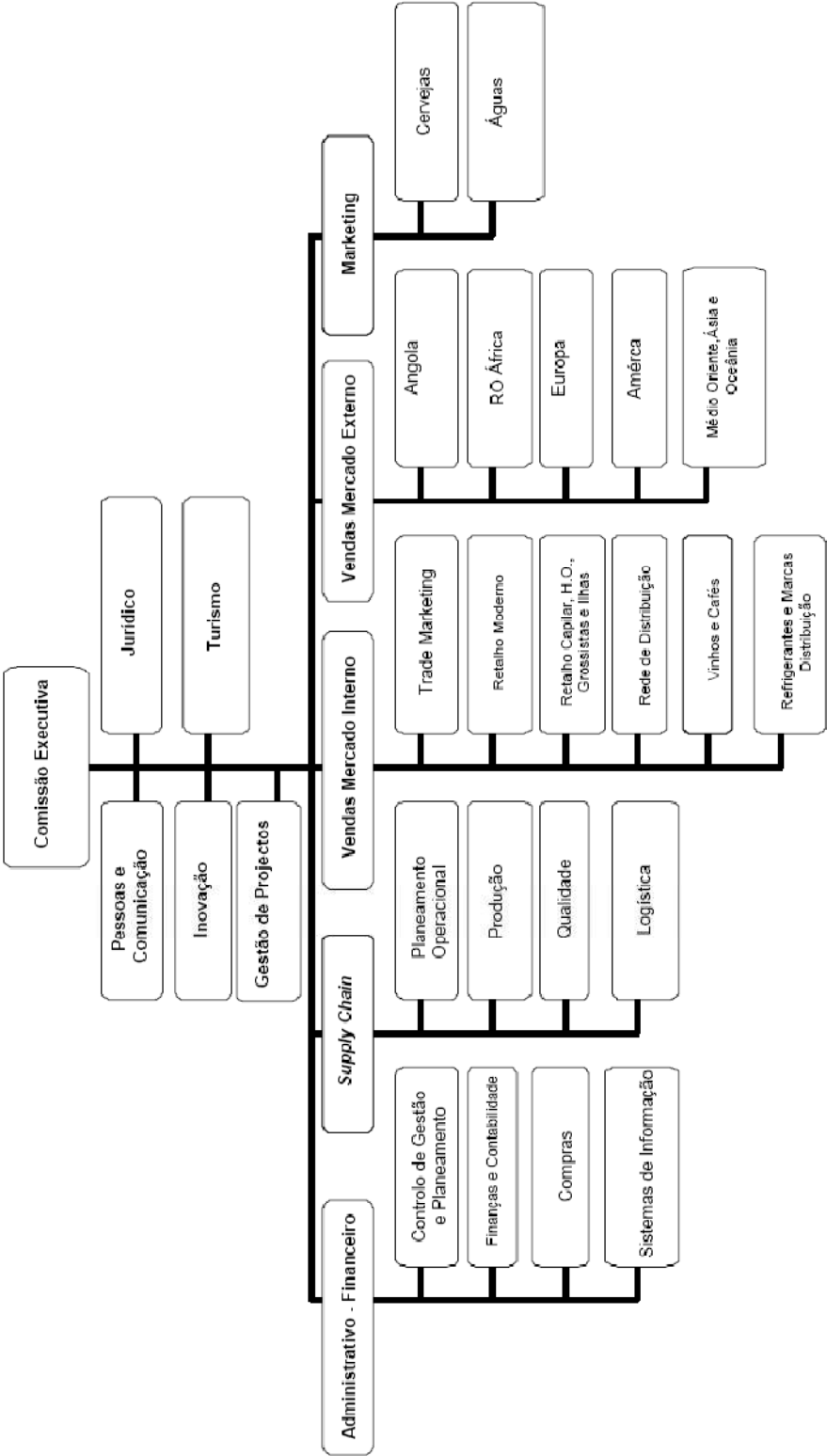
- H. Theil. Applied economic forecasting, Amsterdam: North-Holland, 26-32, 1966.
- Ilog. URL <http://forums.ilog.com/>, acedido em 13 de Março de 2009.
- J. Bermudez. The Report on Supply Chain Management. *Advanced Manufacturing Research*, 1998.
- J. D. Croston. Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands. *Operational Research Quarterly*, 23, 289-303, 1972.
- J. Maes, J. O. McCalain, and L. N. Vanwassenhove. Multilevel capacitated lotsizing complexity and lp-based heuristics. *European Journal of Operational Research*, 53(2):131-148, 1991.
- K. Haase. Lotsizing and scheduling for production planning. Springer, Berlin, 1994.
- M. Salomon, L. G. Kroon, R. Kuik, and L. N. Vanwassenhove [1991] Some extensions of the discrete lotsizing and scheduling problem. *Management Science*, 37 (7):801-812, 1991.
- P. Jonsson, L. Kjellsdotter and M. Rudberg. Applying advanced planning systems for supply chain planning: three case studies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(10), 816 – 834, 2007.
- R. Jans. Capacitated lot sizing problems: new applications, formulations and algorithms. Leuven, Katholieke Universiteit Leuven: 190, 2002.
- SAP. URL http://help.sap.com/saphelp_apo/helpdata/en/7e/63fc37004d0a1ee100000009b38f8cf/frameset.htm, acedido em 2 de Junho de 2009.
- S. G. Dastidar and R. Nagi. Scheduling injection molding operations with multiple resource constrains and sequence dependent setup times and costs. *Computers & Operations Research*, 32(11): 2987-3005, 2005.
- S. G Makridakis, S. C. Wheelwright, R. J. Hyndman. Forecasting: methods and applications. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- Unicer. Relatório de Sustentabilidade 2007, Unicer, 2008.
- Unicer. URL <http://www.unicer.pt>, acedido em 20 de Junho de 2009.

ANEXO A Lista de Abreviaturas

AES	Amortecimento Exponencial Simples
APO	<i>Advanced Planner and Optimizer</i>
APS	<i>Advanced Planning Systems</i>
ATP	<i>Available to Promise</i>
CLSP	<i>Capacitated Lot Sizing Problem</i>
CSLP	<i>Continuous Setup Lotsizing Problem</i>
CTM	<i>Capable to Match</i>
CUFP	Companhia União Fabril Portuense das Fábricas de Cerveja e Bebidas Refrigerantes
DLSP	<i>Discrete Lotsizing and Scheduling Problem</i>
DP	<i>Demand Planning</i>
EAM	Erro Absoluto Médio
EM	Erro Médio
EOQ	<i>Economic Order Quantity</i>
EPAM	Erro Percentual Absoluto Médio
EPM	Erro Percentual Médio
EQM	Erro Quadrático Médio
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ET	Erro Total
MP	<i>Manufacturing Planning</i>
MRP	<i>Material Requirement Planning</i>
PET	Politereftalato de Etileno
PIM	Programação Inteira Mista

PLSP	<i>Proportional Lotsizing and Scheduling Problem</i>
PP/DS	<i>Production Planning/ Detailed Scheduling</i>
PS	<i>Production Scheduling</i>
PVPP	Polivinil-polipirrolidona
REQM	Raiz quadrada do Erro Quadrático Médio
S. A.	Sociedade Anónima
SAP	<i>Systems, Applications and Products in Data Processing, SAP AG</i>
SAP BW	<i>SAP Business Warehouse</i>
SCP	<i>Supply Chain Planning</i>
SFA	<i>Sales Forecast Accuracy</i>
SKU	<i>Stock Keeping Unit</i>
SNP	<i>Supply Network Planning</i>
SOP	<i>Sales and Operations Planning</i>
TP	Tara Perdida
TR	Tara Retornável
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>
VMPS	Vidago, Melgaço & Pedras Salgadas

ANEXO B: Organograma da Unicer



ANEXO C: Solução Semana 22

C.1 Plano Unicer

Semana 22 Unicer									
Dias	T	LINHA 5 Unicer				LINHA 6 Unicer			
		Produto	Código	Quant UV	Quant Litros	Produto	Código	Quant UV	Quant Litros
2 ^a F 01-Jun L2 145	1º	SUPER BOCK 5,4 TP 0,25 a)	105134025	45.000	270.000	SUPER BOCK 5,2 TP 6 0,25 EXPORT	105004625	38.500	231.000
	2º								
	3º								
3 ^a F 02-Jun L2 146	1º								
	2º	SUPER BOCK TP 0,33 GN NEW	100604033	20.000	158 400	SUPER BOCK 5,2 TP 0,25 EXPORT	105604025	30.000	180 000
	3º	SUPER BOCK 5,2 TP 0,33 EXPORT	105104033	20.000	158 400				
4 ^a F 03-Jun L2 147	1º	b)							
	2º	SUPER BOCK 5,4 TP 0,33	100104033	50.000	396 000	SUPER BOCK TP 0,25 SUPER ECONÓMICA	100734025	8.000	48 000
	3º					SUPER BOCK 5,4 TP 0,25	105134025	72.000	432 000
5 ^a F 04-Jun L2 148	1º								
	2º	CRISTAL TP 0,33 EXPORT	115004033	185.000	1465 200				
	3º								
6 ^a F 05-Jun L2 149	1º								
	2º								
	3º								
Sáb. 06-Jun L2 150	1º					SUPER BOCK TP 6 0,33 UK	105894633	8.000	63 360
	2º					SUPER BOCK TP 6 0,33 GN	100104633	40.000	316 800
	3º								
Dom. 07-Jun L2 151	1º								
	2º					SB SEM ALCOOL PÊSSEGO TP 6 0,33 GN	350104633	8.200	64 944
	3º					Limpeza			
Totais (emb)				320 000	2 448 000			204.700	1 336 104

As letras a vermelho simbolizam os lotes para os quais a capacidade era insuficiente.

C.2 Plano 'Linha Preferencial'

Semana 22 Linha Preferencial									
		LINHA 5 Modelo				LINHA 6 Modelo			
Dias	T	Produto	Código	Quant UV	Quant Litros	Produto	Código	Quant UV	Quant Litros
2 º F 01-Jun L2 145	1º	SUPER BOCK TP 0,33 GN NEW	100604033	20.000	158.400	SUPER BOCK 5,2 TP 6 0,25 EXPORT	105004625	33.528	201.170
	2º	SUPER BOCK 5,2 TP 0,33 EXPORT	105104033	20.000	158.400				
	3º	SUPER BOCK 5,4 TP 0,33	100104033	50.000	395.999				
3 º F 02-Jun L2 146	1º					SUPER BOCK TP 0,25 SUPER ECONÓMICA	100734025	8.000	48.000
	2º					SUPER BOCK 5,2 TP 0,25 EXPORT	105604025	30.000	179.999
	3º								
4 º F 03-Jun L2 147	1º	CRISTAL TP 0,33 EXPORT	115004033	185.000	1465.196				
	2º					SUPER BOCK 5,4 TP 0,25	105134025	72.000	431.998
	3º								
5 º F 04-Jun L2 148	1º								
	2º								
	3º								
6 º F 05-Jun L2 149	1º								
	2º								
	3º					SUPER BOCK TP 6 0,33 UK	105894633	8.000	63.360
Sáb. 06-Jun L2 150	1º					SUPER BOCK TP 6 0,33 GN	100104633	39.066	309.406
	2º								
	3º	SUPER BOCK 5,4 TP 0,25	105134025	45.000	270.000				
Dom. 07-Jun L2 151	1º								
	2º					SB SEM ALCOOL PÊSSEGO TP 6 0,33 GN	350104633	8.207	65.000
	3º					Limpeza			
Totais (emb)				319.999	2.447.995			198.801	1.298.933

C.3 Plano 'Optimizado'

Semana 22 Optimizado									
		LINHA 5 Modelo				LINHA 6 Modelo			
Dias	T	Produto	Código	Quant UV	Quant Litros	Produto	Código	Quant UV	Quant Litros
2 º F 01-Jun L2 145	1º	SUPER BOCK TP 0,33 GN NEW	100604033	20.000	158.400	SUPER BOCK 5,2 TP 6 0,25 EXPORT	105004625	38.500	231.000
	2º	SUPER BOCK 5,2 TP 0,33 EXPORT	105104033	20.791	164.665				
	3º	SUPER BOCK 5,4 TP 0,33	100104033	50.000	396.000				
3 º F 02-Jun L2 146	1º					SUPER BOCK 5,4 TP 0,25	105134025	72.000	617.794
	2º								
	3º	CRISTAL TP 0,33 EXPORT	115004033	185.000	1465.196				
4 º F 03-Jun L2 147	1º								
	2º								
	3º								
5 º F 04-Jun L2 148	1º								
	2º								
	3º								
6 º F 05-Jun L2 149	1º								
	2º					SUPER BOCK TP 6 0,33 UK	105894633	8.000	68.605
	3º					SUPER BOCK TP 6 0,33 GN	100104633	40.000	323.763
Sáb. 06-Jun L2 150	1º								
	2º	SUPER BOCK 5,2 TP 0,25 EXPORT	105604025	30.000	180.000				
	3º								
Dom. 07-Jun L2 151	1º								
	2º	SUPER BOCK 5,4 TP 0,25	105134025	14.034	84.203	SB SEM ALCOOL PÊSSEGO TP 6 0,33 GN	350104633	8.200	65.000
	3º	SUPER BOCK TP 0,25 SUPER ECONÓMICA	100734025	8.000	48.000	Limpeza			
Totais (emb)					327.824	2.496.464		166.700	1.306.162