

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**LUCAS VIEIRA ADAMATTI**

**MÉTODO DE ELABORAÇÃO DE PLANOS  
AGREGADOS DE PRODUÇÃO BASEADO  
NA TEORIA DAS RESTRIÇÕES**

Porto Alegre

2021

**LUCAS VIEIRA ADAMATTI**

**MÉTODO DE ELABORAÇÃO DE PLANOS AGREGADOS DE PRODUÇÃO  
BASEADO NA TEORIA DAS RESTRIÇÕES**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Profissional, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel

Porto Alegre

2021

**LUCAS VIEIRA ADAMATTI**

**MÉTODO DE ELEBORAÇÃO DE PLANOS AGREGADOS DE PRODUÇÃO  
BASEADO NA TEORIA DAS RESTRIÇÕES**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Profissional e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

**Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel**

Orientador PMPEP/UFRGS

---

**Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel**

Coordenador PMPEP/UFRGS

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Antônio Márcio Tavares Thomé (DEI/PUC-RIO)

Prof. Dr. Cláudio José Müller (PPGEP/UFRGS)

Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda (PPGEPS/UNISINOS)

*“Em uma empresa, a meta não é economizar  
dinheiro, mas sim ganhar dinheiro.”*

(Eliyahu Goldratt)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha esposa Gabrielle pelo apoio sempre incondicional nesta empreitada e pelas preciosas observações e comentários, pois apesar de atuarmos em áreas distintas, partilhamos do entusiasmo pelo conhecimento científico.

Agradeço ao Prof. Cassel pela paciência e ensinamentos, e por ter contribuído não só para a elaboração deste trabalho, mas também para o meu desenvolvimento profissional.

Por fim, agradeço a todos os colegas de trabalho que contribuíram de forma direta ou indireta para este trabalho. O seu apoio foi fundamental.

## RESUMO

A elaboração de planos agregados de produção tem sido tratada através de dois enfoques: um enfoque qualitativo onde ele é parte constituinte do processo *S&OP* (Planejamento de Vendas e Operações – *Sales and Operations Planning*), e um enfoque quantitativo onde se procura modelar e resolver o problema através de uma abordagem numérica. Na prática ambos os enfoques não têm sido adotados pelas empresas, seja pela falta de um passo-a-passo estruturado (enfoque qualitativo), seja pelo custo da solução (enfoque quantitativo). Neste contexto, neste trabalho um método alternativo para elaboração de planos agregados de produção é apresentado. Este método foi desenvolvido através da *Design Science Research (DSR)*, baseado na aplicação da Teoria das Restrições (*TOC – Theory of Constraints*), visando garantir sua integração com o processo de *S&OP*. O método desenvolvido foi aplicado de forma bem-sucedida em um caso real, onde foram evidenciadas melhoras na compatibilização entre demanda e capacidade.

Palavras-chave: Planejamento Agregado de Produção. Planejamento de Vendas e Operações. Teoria das Restrições.

## **ABSTRACT**

Aggregate Production Planning has been treated with two different approaches: a qualitative approach where it belongs to S&OP (Sales and Operations Planning), and a quantitative approach where the objective is to model and solve the problem through a numerical method. Actually, both approaches haven't been adopted by the companies, due to a lack of a step-by-step procedure (qualitative approach), or due to the high cost associated to the solution (quantitative approach). In this context, an alternative method for developing aggregate production plans is presented in this research. This method was developed through Design Science Research (DSR), based on the use of Theory of Constraints (TOC), aiming to guarantee its integration with the S&OP process. The method was successfully applied on a real situation, where improvements could be verified in the compatibility between demand and capacity.

**Key words:** Aggregate Production Planning. Sales and Operations Planning. S&OP. Theory of Constraints.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do método de condução de pesquisa em DSR.....	26
Figura 2 - Método de trabalho utilizado para conduzir a pesquisa.....	29
Figura 3 - Representação simplificada de um sistema de PCP.....	33
Figura 4 - Diferenças entre tempo de entrega (E) e tempo de produção total (P). ....	36
Figura 5 - Definições de utilização e eficiência .....	39
Figura 6 - Constituição do indicador de OEE.....	40
Figura 7 - Visão clássica e visão moderna do planejamento de capacidade. ....	41
Figura 8 - Mecanismos de coordenação do S&OP.....	49
Figura 9 - Representação do processo de S&OP.....	51
Figura 10 - Dimensões e variáveis de decisão envolvidas no processo de S&OP.....	53
Figura 11 - Framework de medições de desempenho no processo de S&OP. ....	55
Figura 12 - Relação do plano agregado de produção com o processo S&OP.....	61
Figura 13 - Estratégias utilizadas no planejamento agregado de produção.....	62
Figura 14 - Estruturas possíveis de modelos de plano de agregado de produção. ....	64
Figura 15 - Representação do método DBR.....	72
Figura 16 - Representação de um PFD.....	73
Figura 17 - Esforço para manter o fluxo X tamanho do pulmão de tempo. ....	75
Figura 18 - Relações entre throughput, tempo de atravessamento e estoque em processo. ....	85
Figura 19 - Representação da proposta de plano agregado. ....	103
Figura 20 - Representação dos roteiros de produção.....	109
Figura 21 - Representação do plano agregado de produção.....	115



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais aspectos dos principais tipos de processo de produção.....	37
Quadro 2 - Alternativas para ajustar a capacidade em diferentes horizontes de tempo. ....	38
Quadro 3 - Relações entre variáveis de contexto e a estrutura do S&OP. ....	46
Quadro 4 - Resumo dos modelos de avaliação de maturidade de S&OP.....	59
Quadro 5 - Estratégias específicas utilizadas na elaboração do plano agregado.....	63
Quadro 6 - Tarefas básicas do método de elaboração de planos agregados.....	88
Quadro 7 - Resumo da análise dos artefatos.....	95
Quadro 8 - Representação da aplicação da Etapa 2 do método.....	99
Quadro 9 - Descrição do método de elaboração de planos agregados. ....	106
Quadro 10 - Fatos relevantes observados durante aplicação do método. ....	116
Quadro 11 - Método de elaboração de planos agregados de produção revisado.....	120

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.3 JUSTIFICATIVA.....	18
1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	20
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
2. METODOLOGIA.....	22
2.1 DESIGN SCIENCE.....	22
2.2 DESIGN SCIENCE RESEARCH.....	24
2.3 MÉTODO DE TRABALHO EMPREGADO.....	28
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	32
3.1 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO.....	32
3.1.1 TIPOS DE PROCESSOS E ESTRATÉGIAS GENÉRICAS DE PRODUÇÃO.....	35
3.1.2 PLANEJAMENTO DE CAPACIDADE.....	38
3.2 PLANEJAMENTO DE VENDAS E OPERAÇÕES ( <i>S&amp;OP</i> ).....	41
3.2.1 A INFLUÊNCIA DO CONTEXO NO PROCESSO <i>S&amp;OP</i> .....	43
3.2.2 PARÂMETROS DE ENTRADA.....	46
3.2.3 ESTRUTURA DO PROCESSO <i>S&amp;OP</i> .....	47
3.2.4 <i>OUTPUTS</i> DO PROCESSO.....	56
3.2.5 NÍVEIS DE MATURIDADE DO <i>S&amp;OP</i> .....	57
3.3 ABORDAGENS PARA ELABORAÇÃO DE PLANOS AGREGADOS DE PRODUÇÃO	
60	
3.4 TEORIA DAS RESTRIÇÕES.....	67

3.4.1 <i>DBR</i> .....	70
3.4.1.1 TAMBOR .....	72
3.4.1.2 PULMÃO .....	73
3.4.1.3 CORDA .....	76
3.4.1.4 GERENCIAMENTO DE PULMÕES .....	77
3.4.1.5 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS SOBRE O MÉTODO <i>DBR</i> .....	79
3.4.2 TRABALHOS RECENTES RELACIONADOS À <i>TOC</i> .....	80
4. ANÁLISE DOS ARTEFATOS EXISTENTES .....	82
4.1 APLICAÇÃO DA <i>TOC</i> NO PLANEJAMENTO AGREGADO DE PRODUÇÃO .....	82
4.2 ANÁLISE DOS DEMAIS ARTEFATOS .....	89
5. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO .....	96
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O MÉTODO .....	105
6. APLICAÇÃO DO MÉTODO EM UM CASO REAL .....	107
6.1 DESCRIÇÃO DA ORGANIZAÇÃO .....	107
6.2 PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO .....	108
7. CONSIDERAÇÕES SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO E REVISÃO DO MÉTODO .....	117
7.1 REVISÃO DO MÉTODO .....	118
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	121
REFERÊNCIAS .....	123

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas se tem observado um acirramento exponencial da competição entre as organizações em praticamente todos os segmentos de mercado devido à diminuição de barreiras comerciais e ao crescimento vertiginoso de novas tecnologias. Neste cenário, as empresas precisam constantemente encontrar estratégias que garantam vantagens competitivas em seus locais de atuação, sob pena de terem sua sobrevivência ameaçada pelos concorrentes.

De uma maneira geral, os objetivos estratégicos das organizações desdobram-se em três aspectos conceituais: diferenciação (capacidade da organização em ser única, criando um valor único para o cliente), baixo custo (eficiência operacional) e capacidade de resposta (flexibilidade, confiabilidade nas entregas e velocidade). Um dos fatores críticos de sucesso para que se atinja estes objetivos estratégicos, levando em consideração estes três aspectos, é o alinhamento do sistema de gestão de operações com estes propósitos (HEIZER, RENDER e MUNSON, 2017).

Desenhar e operar um sistema de gestão de operações capaz de consistentemente oferecer diferenciação, baixo custo e capacidade de resposta é um desafio permanente devido à incerteza e à complexidade internas e externas que envolvem as organizações. A principal fonte de incerteza externa refere-se à variabilidade inerente da demanda por produtos e serviços. Já no que se refere à incerteza interna, suas principais origens são a variabilidade inerente dos processos de produção (criada por tempos de *setup*, problemas de qualidade e falhas nos equipamentos, por exemplo), e a variabilidade nos fluxos que é criada pela forma com que as atividades são liberadas e movimentadas entre as diferentes etapas dos processos produtivos (HOPP e SPEARMAN, 2000).

A abordagem tradicionalmente recomendada nos estudos na área de gestão de operações para lidar com o problema de compatibilizar a demanda com a capacidade disponível, levando em consideração as incertezas existentes, inclui um processo denominado Planejamento de Vendas e Operações (*S&OP – Sales and Operations Planning*). De acordo com Corrêa, Gianesi e Caon (2019), o processo *S&OP* possui o papel fundamental de integrar

a organização verticalmente e horizontalmente, ou seja, através deste processo é possível ligar os objetivos estratégicos da alta direção e suas perspectivas de longo prazo com às decisões operacionais do dia a dia (integração vertical), bem como ligar e conciliar as decisões das diferentes áreas da empresa, como *marketing*, finanças, logística e produção (integração horizontal).

Em algumas organizações, nos últimos anos, o processo *S&OP* evoluiu para um processo denominado de Planejamento Integrado do Negócio (*IBP – Integrated Business Planning*). No entanto, na definição apresentada por Schlegel, Birkel e Hartmann (2021), *IBP* é até o momento um fenômeno de natureza predominantemente prática, de forma que não existe uma definição acadêmica formal para o processo, e a maior parte dos estudos existentes sobre o tema se concentram em artigos de revistas de caráter eminentemente prático e relatórios de consultorias. Mesmo assim, os autores definem *IBP* como sendo o estágio final de maturidade do *S&OP*, sendo um processo de planejamento de negócio multifuncional que resulta em um grupo de objetivos táticos e estratégicos para otimização de lucros com o envolvimento de clientes e fornecedores. Nesta definição, a principal diferença entre *IBP* em comparação com formas menos evoluídas de *S&OP* é fato de que ele apresenta uma completa integração dentro da organização (vertical e horizontal) e uma completa integração fora da organização incluindo clientes e fornecedores no processo de planejamento.

Independente do grau de maturidade do *S&OP*, um de seus principais *outputs* é o plano agregado de produção, que aglutina os produtos em determinados grandes grupos e com isso busca amortecer os efeitos das variações da demanda e da capacidade para fins de simplificar o planejamento (CHAPMAN, 2006). Este plano serve de base para as demais etapas do planejamento da produção.

No que tange ao método de elaboração do plano agregado de produção, existe um grupo de trabalhos que tratam da sua elaboração de maneira implícita dentro do planejamento de capacidade do *S&OP* (THOME *et al.*, 2012; TUOMIKANGAS e KAIPIA, 2014; KRISTENSEN e JONSSON, 2018). Nestes estudos, discutem-se parâmetros que afetam a elaboração do plano agregado de produção, como por exemplo o contexto da organização, o horizonte de planejamento e o tipo de políticas utilizadas para definir as famílias de produto. No entanto, nestes trabalhos não existe uma indicação clara sobre que critérios devem ser

adotados para elaboração do plano agregado de produção de forma a maximizar o resultado da empresa.

Por outro lado, existe uma outra linha de pesquisas que se utilizam de métodos analíticos e numéricos para construção do plano agregado de produção, com o objetivo de encontrar a solução ótima em termos de produção, estoques e emprego de mão-de-obra, que atenda à demanda de todos os pedidos que concorrem pelos mesmos recursos limitados, em um horizonte finito de planejamento (CHERAGHALIKHANI, KHOSHALHAN e MOKHTARI, 2019). Os autores explicam que estes modelos vêm sendo alvo de pesquisa há mais de trinta anos, e por conta disso atualmente existem modelos bastante sofisticados já desenvolvidos, que levam em conta uma infinidade de aspectos e restrições com as quais as organizações precisam lidar.

Apesar de indicarem uma solução otimizada, o contraponto destes modelos é a grande quantidade de dados que são necessárias para que funcionem (BUXEY, 2005). Dentre as informações que precisam ser inseridas no modelo incluem-se custos de se manter estoques, custos de vendas perdidas, custos de obsolescência, custos de horas extras, custos de *setups*, entre outros. Esta outra linha de pesquisa é, portanto, orientada a resolver o problema de elaboração do plano agregado de produção, ao estabelecer um modelo de suporte à tomada de decisão dos gestores. No entanto, seu “custo” associado à infinidade de dados requisitados acaba muitas vezes inviabilizando sua utilização na prática.

Isto posto, este trabalho propõe um método alternativo que se situe entre estas linhas de trabalhos que tratam da elaboração de planos agregados de produção, ou seja, um modelo que seja objetivo e sirva de suporte à tomada de decisão, mas que ao mesmo tempo seja “barato” no que se refere ao custo da aquisição de informações e dados necessários para solução do problema. Para elaboração deste método, foram utilizados princípios da Teoria das Restrições (*TOC – Theory of Constraints*).

A *TOC*, surgida no ambiente de gestão de operações industriais, vem sendo desenvolvida como uma alternativa para diversos problemas enfrentados pelas organizações. Inicialmente concebida como uma abordagem alternativa para os problemas de sincronização da produção, ao estabelecer o conceito de restrição como sendo tudo aquilo que impede uma

organização de atingir a sua meta, acabou sendo generalizada e expandida para outras aplicações, como por exemplo contabilidade gerencial, gestão de projetos e cadeias de suprimento (GOLDRATT, 2010).

Em sua aplicação no problema de sincronização da produção, a Teoria das Restrições enfatiza a necessidade de a empresa definir e gerenciar as suas restrições de capacidade de produção, as quais são chamadas de gargalos. A teoria apresenta uma metodologia robusta e capaz de lidar com a complexidade inerente das organizações para se gerenciar adequadamente estas restrições de capacidade. A força da metodologia reside principalmente no fato de que ela apresenta formas de lidar adequadamente com a incerteza inerente dos ambientes industriais, pois ela fornece soluções satisfatórias ao invés de soluções otimizadas.

A relevância deste aspecto consta no trabalho de Srikanth (2010), que explica que a maior parte dos ambientes produtivos está sujeita a um grau elevado de flutuações aleatórias. Como consequência, sempre ocorrerão alterações entre o que foi planejado e o que realmente será executado, ou seja, quanto mais complexo for o sistema, menor será a utilidade de um planejamento que busque por uma solução ótima ao invés de uma solução satisfatória, dado que invariavelmente as condições de contorno consideradas irão se alterar durante a fase de execução do plano.

## **1.1 PROBLEMA DE PESQUISA**

Elaborar um plano agregado de produção em um ambiente real dentro de uma organização não é uma tarefa fácil. Além de todas as dificuldades ocasionadas pelos interesses conflitantes existentes entre a área de vendas e a área operacional (AMBROSE, MATTHEWS e RUTHERFORD, 2018), existem também barreiras à implementação do *S&OP*, que é um processo crítico para uma boa coordenação entre a demanda e a capacidade, considerando que essa coordenação é uma condição necessária para elaboração de planos agregados de produção exequíveis. Além disso, existem também lacunas entre as soluções apresentadas na literatura e as necessidades das empresas em suas tomadas de decisão.

Entre as barreiras para a implementação do *S&OP*, Stentoft *et al.* (2020) identificaram três causas principais:

- Falta de conhecimento sobre *S&OP*, que ocorre quando a organização como um todo ou a alta gestão não possui conhecimento acerca do processo;
- Não vislumbrar ganhos através da sua implementação, ou em alguns casos, avaliar que os ganhos não superam os custos da implementação do processo;
- Falta de habilidades ou recursos necessários para a implementação.

Swain *et al.* (2016) olharam a questão sobre uma outra perspectiva, identificando os requisitos necessários para que *S&OP* entregue resultados efetivos. Estes requisitos chaves são a integração organizacional, um processo padronizado de *S&OP*, priorização do processo *S&OP* frente aos demais processos da empresa, e engajamento organizacional.

Com relação às lacunas entre os trabalhos existentes e às necessidades práticas das organizações, a maior parte dos estudos sobre *S&OP* consideram o plano agregado de produção de forma secundária. O foco na maior parte das vezes está na estrutura do processo, nas variáveis de contexto organizacional e nos pré-requisitos para o bom funcionamento do processo, de forma que o plano agregado de produção que servirá de orientação para elaboração dos planos mestres de produção e demais atividades de planejamento não recebe um tratamento especial (TUOMIKANGAS e KAIPIA, 2014).

Os trabalhos falam sobre a necessidade de definir-se um horizonte de planejamento e de definir-se famílias de agregação de produtos, considerando que estes parâmetros estão intimamente ligados à realidade da organização, e que por isso não seria possível generalizar regras e orientações para a elaboração destes planos. Além disso, em alguns trabalhos que descrevem estudos de caso de organizações utilizando ou implementando este processo, não é dada atenção à elaboração destes planos.

Uma outra lacuna existente refere-se ao uso de métodos analíticos e/ou numéricos como suporte para a tomada de decisão. Gansterer (2015) destaca que as principais dificuldades encontradas pelas organizações neste tema são a elevada incerteza dos métodos utilizados para



a previsão de demanda, inexistência das informações detalhadas a respeito dos custos de produção requisitadas pelo método (custos de se manter estoques e custos relacionados à contratação e à dispensa de mão-de-obra, por exemplo), baixa robustez das soluções apresentadas pelo método dado que em geral a solução é bastante sensível a imprecisões e variações nos parâmetros utilizados na sua modelagem, e elevada quantidade de informações numéricas necessárias para que o método seja utilizado. Frente a estes pontos, na maior parte das vezes se torna inviável a utilização deste tipo de método como suporte para a tomada de decisão.

Por causa destas dificuldades, na prática a maior parte das empresas acaba não elaborando um plano agregado de produção, ou quando o fazem, não utilizam uma abordagem estruturada e baseiam-se em “regras práticas” provenientes da experiência prévia dos tomadores de decisão (BUXEY, 2005). A elaboração de um plano agregado de produção acaba sendo vista como uma atividade penosa, que leva os tomadores de decisão a desprezarem sua utilização.

Esta lacuna nos sistemas de planejamento e controle da produção representa uma oportunidade para que as empresas se tornem mais competitivas, uma vez que incompatibilidades entre demanda e a capacidade afetam diretamente o nível de serviço entregue aos clientes. A criação de um *framework* genérico que oriente as organizações na elaboração dos planos agregados de produção dentro do processo *S&OP* e dependa apenas de dados e informações simples seria de extremo valor para os gestores e tomadores de decisão.

Neste contexto, ao possuir uma abordagem sólida e simples para lidar com a incerteza e com a complexidade, a Teoria das Restrições apresenta aspectos que vão ao encontro dos principais entraves enfrentados pelas organizações na elaboração de planos agregados de produção. Desta forma, define-se a questão de pesquisa norteadora deste trabalho: **como melhorar a forma com que os planos agregados de produção são desenvolvidos pelas empresas através de um método de elaboração apoiado na Teoria das Restrições que possa ser utilizado de forma integrada com o processo *S&OP*?**

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é **propor um método de elaboração de planos agregados de produção integrado ao processo *S&OP* que utilize a Teoria das Restrições.**

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Identificar os principais artefatos (métodos, modelos e constructos) existentes utilizados para realizar a integração entre vendas e operações;
- Aplicar conceitualmente a Teoria das Restrições no processo *S&OP*;
- Validar o método desenvolvido através de sua aplicação em um caso real, de forma a identificar sua aplicabilidade e suas limitações, bem como alterações e ajustes necessários.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O emprego adequado do processo *S&OP* é reconhecido por praticantes e pesquisadores como um método capaz de aprimorar resultados operacionais ao promover um melhor alinhamento na organização. Os principais ganhos reportados são melhora nos níveis de serviço, maior eficácia das previsões de demanda, redução de estoques e maior utilização da capacidade disponível (KRISTENSEN e JONSSON, 2018). Wagner, Ulrich e Transchel (2014) enfatizam ainda outros benefícios, como a melhora na visibilidade da cadeia de suprimentos, redução nos pedidos de última hora, redução de perdas com obsolescência de estoques, e menores custos com estoques de segurança. No final das contas, todos estes benefícios somados se traduzem em um melhor resultado financeiro.

Considerando que um plano agregado de produção é um dos principais *outputs* do processo de *S&OP*, estes benefícios estão de acordo com as conclusões encontradas do trabalho de Gansterer (2015). A autora evidenciou melhora no nível de serviço e nos níveis de estoque em um caso real através do uso de planos agregados de produção através de simulação computacional. No entanto, ao mesmo tempo em que Gansterer (2015) reporta resultados

positivos relacionados ao uso de planos agregados de produção, seu trabalho também afirma que a utilização destes planos ainda é baixa pelas empresas.

Apesar de ser uma ferramenta já bastante estudada, não foram encontrados trabalhos que buscassem fechar estas lacunas referentes a métodos de elaboração de planos agregados de produção. Nos estudos acerca de *S&OP* como um processo de integração entre as áreas, o enfoque tem estado na influência das variáveis de contexto (NOROOZI e WIKNER, 2016; GOH e ELDRIDGE, 2019; HUTHLÉN, NÄSLUND e NORRMAN, 2016; IVERT *et al.*, 2015; KAIPIA *et al.*, 2017). Por outro lado, nos trabalhos com uma abordagem otimizante para o problema de elaboração do plano agregado de produção também não se encontram estudos que tentam simplificar sua aplicação, conforme consta nos estudos de revisão sistemática da literatura mais recentes (CHERAGHALIKHANI, KHOSHALHAN e MOKHTARI, 2019; PEREIRA, OLIVEIRA e CARRAVILLA, 2020).

Desta forma, o preenchimento desta lacuna é um aspecto que torna este trabalho relevante, pois ao estabelecer um passo-a-passo generalizável para elaboração de planos agregado de produção esta pesquisa contribuirá para o enriquecimento desta área de conhecimento, além de fornecer uma alternativa para que as organizações atinjam um melhor alinhamento vertical.

Um segundo aspecto de relevância deste trabalho diz respeito a aplicação da Teoria das Restrições em uma área onde ela foi pouco explorada. A maior parte dos estudos sobre o tema exploram sua aplicação no problema de sincronização da produção, como nos trabalhos de Bell e Weheba (2018), Alghamdi, Abdulaziz e Weheba (2015) e Golmohammadi (2015), ou aplicações e seus impactos nas cadeias de suprimentos como um todo, como nos trabalhos de Costas *et al.* (2015) e Ponte *et al.* (2016). Não foram encontrados trabalhos relacionando a Teoria das Restrições com o processo *S&OP* ou com planos agregados de produção.

## 1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho se propõe a desenvolver um método genérico prescritivo acerca da elaboração de planos agregados de produção. Conceitos chave da Teoria das Restrições são utilizados no desenvolvimento deste artefato. Além disso, neste trabalho o plano agregado de produção é tratado de forma integrada com o processo de *S&OP*, e por consequência disso o método desenvolvido considera as peculiaridades deste processo.

Apesar de Corrêa, Gianesi e Caon (2019) explicarem que o produto do processo *S&OP* inclui diversos planos funcionais de diversas áreas da empresa (vendas, engenharia, suprimentos e financeiro, por exemplo), estes outros planos não serão abordados neste trabalho. Desta forma, uma primeira delimitação do estudo diz respeito aplicação da Teoria das Restrições especificamente na elaboração de planos agregados de produção, desconsiderando os demais planos.

Um segundo aspecto a ser considerado diz respeito ao contexto em que o método proposto é válido. Conceitualmente, ele se propõe a ter validade independente do ambiente de produção, seja ele de produção contínua ou de processo tipo *Job Shop* (CHAPMAN, 2006), e independe da estratégia de produção empregada (*Make to Stock* ou *Make to Order*). No entanto, a existência de um processo *S&OP* é uma condição necessária para o método ter validade, mesmo que em nível baixo de maturidade.

Por fim, é preciso levar em conta a metodologia de pesquisa empregada no trabalho, que está baseada no paradigma da *Design Science*. A principal consequência deste fato, em termos de delimitação do trabalho, é o fato de que este estudo não busca explorar ou descrever os fenômenos estudados em termos de relações de causas e efeitos, ou em termos de princípios gerais que regem os efeitos observados (DRESCH, LACERDA e ANTUNES, 2015). Ao contrário disto, o objetivo geral é estudar os artefatos em termos de seus mecanismos de funcionamento e de sua eficácia na solução de um problema real.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este estudo está apresentado em oito capítulos. No presente capítulo o tema da pesquisa é apresentado, incluindo os objetivos norteadores do trabalho. No segundo capítulo a metodologia de pesquisa empregada é explicada. Como o método utilizado é a *Design Science Research*, apresentam-se as principais etapas realizadas, as quais incluem a identificação e análise dos artefatos envolvidos no problema em questão, o uso do método abduutivo para proposição de um novo modelo, a validação do modelo proposto em um caso real, a revisão do método com base nas aprendizagens obtidas através de sua aplicação em um caso real, e sua generalização para uma determinada classe de problemas.

No capítulo três apresenta-se o referencial teórico utilizado como base. Os temas explorados são planejamento e controle da produção (visão geral), o processo de planejamento de vendas e operações (*S&OP*), abordagens para elaboração de planos agregados de produção e a Teoria das Restrições.

No capítulo quatro a caracterização e análise dos artefatos é apresentada, com o objetivo de identificar pontos chave que o método proposto deverá contemplar, e no capítulo cinco o desenvolvimento do método é apresentado. No sexto capítulo a validação do método através de sua aplicação em um caso real é apresentada, e no capítulo sete são apresentadas as aprendizagens extraídas desta aplicação, bem como suas consequências para o método inicialmente proposto. Por fim, no capítulo oito constam as conclusões deste estudo e sugestões para trabalhos futuros.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia empregada neste estudo busca responder à pergunta central do problema de pesquisa, que consiste em explorar melhores formas de elaboração de planos agregados de produção que funcionem dentro da lógica do processo *S&OP*, utilizando princípios da Teoria das Restrições. O método de pesquisa escolhido para condução do estudo é a *Design Science Research (DSR)*.

Tradicionalmente nas ciências factuais, que incluem as ciências naturais e as ciências sociais, os tipos de pesquisas executadas podem ser classificados em pesquisas exploratórias, descritivas ou explicativas Gil (2002). Há, no entanto, de acordo com Dresch, Lacerda e Antunes (2015), um outro tipo de pesquisa que são os estudos prescritivos, que procuram prescrever soluções para determinados problemas encontrados na realidade. Este tipo de pesquisa é encontrado no paradigma da *Design Science* (Ciência do Artificial), onde o objetivo é o estudo das soluções de problemas reais, e não a busca por relações de causa e efeito que expliquem os fenômenos estudados. A utilização de diversos métodos de pesquisa dentro da *Design Science* é possível, como estudos de caso e pesquisas-ação, por exemplo. No entanto, o método de pesquisa utilizado para propor e validar novos artefatos que solucionem problemas reais é a *Design Science Research (DSR)*.

Em face do exposto acima, justifica-se o uso da *DSR* como método de pesquisa deste trabalho pelo fato de que o objetivo geral é a prescrição de um método para solução de um problema real: a dificuldade existente na elaboração de planos agregados de produção.

### 2.1 DESIGN SCIENCE

De acordo com Simon (1996), a *Design Science* (ciência do artificial) é um paradigma epistemológico que se ocupa das pesquisas orientadas à solução de problemas através do projeto, criação ou construção de artefatos, onde artificial se refere a sistemas e objetos criados e manipulados pelo homem (como por exemplo organizações, máquinas, economia). O autor

justifica a utilidade da *Design Science* alegando que os paradigmas das ciências tradicionais não são satisfatórios para situações em que se deseja desenvolver uma solução para um problema real, já que seu enfoque está em identificar e explicitar leis e princípios que regem os fenômenos, e que apenas o conhecimento destas leis e princípios não é suficiente para resolver estes problemas. Isto explicaria em parte o porquê da baixa utilização dos resultados de pesquisas acadêmicas por profissionais de suas respectivas áreas.

A estrutura da *Design Science* pode ser explicada com base em seus conceitos fundamentais (DRESH, LACERDA e ANTUNES, 2015):

- Artefatos - Objetos artificiais construídos pelo homem que são caracterizados em termos de seus objetivos, funções e adaptações. Dito de outra forma, um artefato é a organização de componentes do ambiente interno com vistas a atingir certos objetivos em determinado ambiente externo. Artefatos podem ter a forma de constructos (elementos conceituais), modelos (representações da realidade), métodos, instanciações (execução do artefato no seu ambiente real) e *design propositions* (*template* genérico utilizado para desenvolver soluções para uma determinada classe de problemas);
- Solução satisfatória - Ao contrário de uma solução ótima, que é geralmente baseada em um modelo simplificado impraticável em um contexto real, uma solução satisfatória é uma solução suficientemente boa que pode ser aplicada na realidade. Como a *Design Science* possui uma natureza pragmática, orientada à solução de problemas, busca-se por soluções satisfatórias;
- Classes de problemas - Apesar de os problemas encontrados nas organizações geralmente serem bastante específicos, as soluções propostas devem ser generalizáveis para determinadas classes de problemas, que permitam seu uso e avaliação por outros pesquisadores em outras situações, contribuindo assim para o avanço da ciência. Consistem na organização de um conjunto de problemas que contenham artefatos úteis para ação nas organizações;
- Validade pragmática - Este conceito se refere a utilidade das soluções da *Design Science*, ou seja, elas devem de fato funcionar e serem viáveis, considerando custo-benefício, particularidades e necessidades dos interessados na solução.

Com relação a métodos científicos, Marconi e Lakatos (2003) explicam que tradicionalmente três abordagens são utilizadas. O método indutivo consiste em concluir que um determinado fenômeno é válido após ele ter sido observado por repetidas vezes. O método dedutivo baseia-se na dedução lógica, onde determinada lei ou princípio já estava implícito nas observações dos pesquisadores, que são explicitados através do uso da lógica dedutiva. O terceiro método é o hipotético-dedutivo, onde formulam-se hipóteses, deduzem-se consequências destas hipóteses, e busca-se por sua confirmação através da observação dos fenômenos.

Além dos métodos descritos acima, dentro do *Design Science* há também o emprego do método abdução (DRESH, LACERDA e ANTUNES, 2015). Este método consiste em estudar fatos e propor uma teoria para explicá-los, ou seja, é um processo criativo onde novas ideias são propostas. A abdução sugere o que pode ser, enquanto a indução afirma a partir do que é, e a dedução afirma o que deve ser.

Por fim, é importante ressaltar que, apesar da *Design Science* não objetivar entender a natureza dos fenômenos, os artefatos estudados estão sujeitos as leis e princípios naturais que os regem (SIMON, 1996). Apesar de sua base de conhecimento estar baseada em artefatos, as conclusões e resultados relacionados aos artefatos nunca podem violar princípios e leis fundamentais estudadas através de outros paradigmas.

## **2.2 DESIGN SCIENCE RESEARCH**

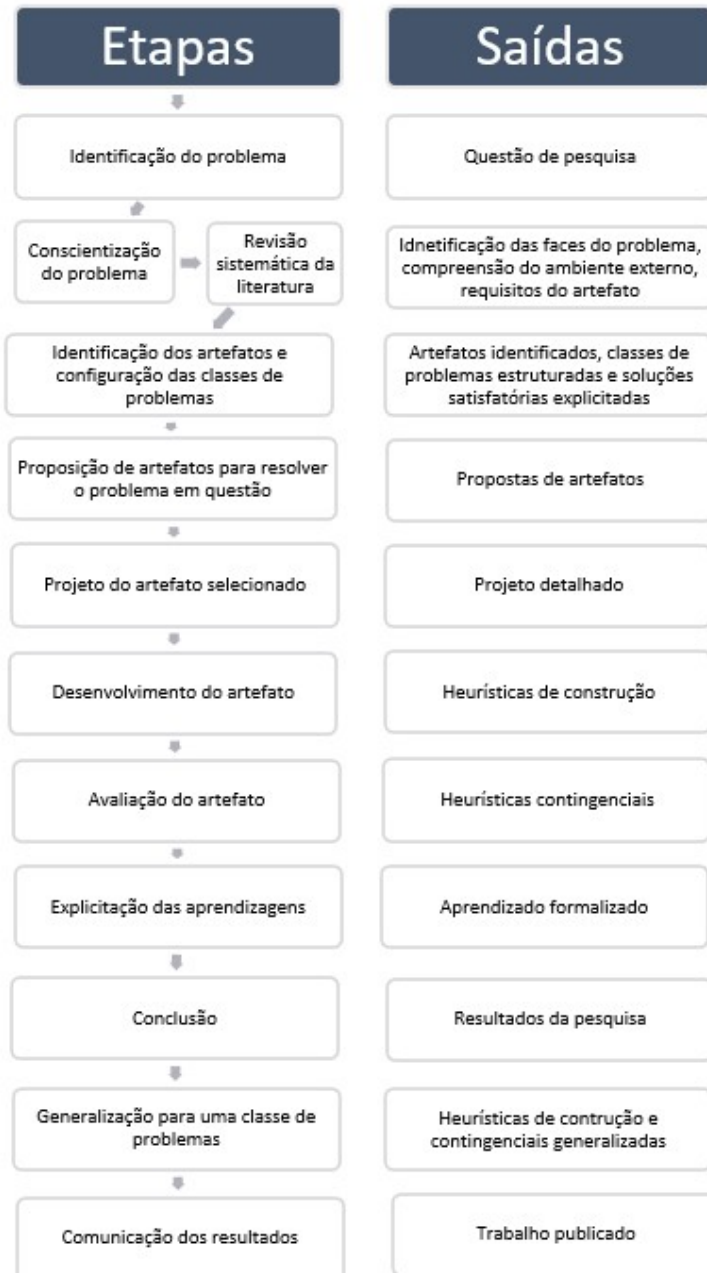
De acordo com Dresch, Lacerda e Antunes (2015), a *DSR* é a pesquisa realizada sob o paradigma da *Design Science*, onde se objetiva projetar um artefato e/ou prescrever uma solução, transformando determinadas situações em direção a estados melhores ou desejáveis. Além disso, Hevner *et al.* (2004) definem sete critérios fundamentais que devem ser considerados pelos pesquisadores: as pesquisas devem produzir artefatos viáveis; o objetivo é desenvolver soluções para problemas importantes e relevantes para as organizações; a utilidade, a qualidade e a eficácia do artefato devem ser demonstradas por métodos de avaliação criteriosos; as pesquisas devem fornecer contribuições claras e verificáveis dentro da área de



conhecimento em que o artefato se insere; o estudo deve estar baseado na aplicação de métodos rigorosos; a busca por um artefato viável deve utilizar todos os meios que estiverem disponíveis para que este objetivo se concretize respeitando a conformidade com as leis e princípios que regem o ambiente em que o problema está sendo avaliado; as pesquisas devem ser apresentadas tanto para um público mais orientado para a tecnologia quanto para um público mais orientado para a gestão.

Para conduzir a *DSR*, diversos autores propõem diferentes métodos, vide Manson (2006), Peffers *et al.* (2007), Gregor e Jones (2007). Baseando-se não só nestes trabalhos mais recentes, mas também em outros estudos mais antigos que também foram realizados sob o paradigma da *Design Science*, Dresch, Lacerda e Antunes (2015) elaboraram um método de condução de pesquisa em *DSR* composto por doze etapas distintas. Estas etapas, bem como seus principais *outputs* estão representados na Figura 1.

Figura 1 - Representação do método de condução de pesquisa em DSR



Fonte: Adaptado de Dresch, Lacerda e Antunes (2015).

O problema a ser investigado através da *DSR* surge geralmente do interesse do pesquisador em estudar uma nova informação, encontrar resposta para uma questão importante ou resolver um problema prático ou para uma classe de problemas. Nesta etapa, o problema de

pesquisa deve ser formulado de forma clara, e deve também ser justificado em termos de relevância e importância.

A segunda etapa do método é a conscientização do problema, onde o pesquisador deve procurar pelo máximo de informações possíveis para compreender todas as facetas do problema, suas causas e seu contexto, além de considerar também as funcionalidades do artefato. A etapa consecutiva é a revisão sistemática da literatura, que deve englobar não somente nos trabalhos executados na perspectiva da *Design Science*, e sim todos os trabalhos que forem relevantes para o problema de pesquisa. Em conjunto, as três primeiras etapas constituem uma macro etapa denominada de definição do problema.

A quarta etapa consiste em, com base na revisão sistemática da literatura executada previamente, explicitar as classes de problemas e os artefatos (caso existam) relacionados ao problema em questão, pois isso permitirá ao pesquisador encaixar seu trabalho de forma adequada no conhecimento já existente. A quinta etapa é a aplicação do método abduutivo para proposição de soluções para o problema de pesquisa, na forma de artefatos viáveis e que levem em consideração o contexto da pesquisa.

A sexta etapa é o projeto do artefato. Deve-se escolher uma das propostas de solução da etapa anterior, e então descrever seus componentes, suas relações internas de funcionamento, limites, relações com o ambiente interno e externo e o desempenho esperado. Os procedimentos que serão utilizados para construção e avaliação do artefato devem também ser estabelecidos nesta etapa. A etapa subsequente é o desenvolvimento do artefato, que pode ser realizado através de diferentes abordagens, como por exemplo algoritmos computacionais, representações gráficas, protótipos e maquetes. Ao fim desta etapa, além de ter o artefato em seu estado funcional, um segundo *output* são as heurísticas de construção.

Heurística de construção é um conceito da *Design Science* que se refere aos requisitos necessários para o ambiente interno do artefato, tendo em vista o ambiente externo. Elas constituem-se de mecanismos internos do artefato e de sua organização. Ao serem explicitadas, elas passam a fazer parte da base de conhecimento da classe de problemas em questão, podendo ser utilizadas para o projeto de novos artefatos ou para propor melhorias no artefato construído.

A oitava etapa é a avaliação do artefato, onde o pesquisador irá avaliar o seu desempenho na solução do problema. O grau de aderência aos resultados esperados, definidos nas etapas anteriores, deve ser mensurado. Caso os resultados esperados não tenham sido atingidos, o pesquisador deverá identificar em qual das etapas anteriores ocorreu a falha e retornar o trabalho para este passo. Diferentes formas de avaliação do artefato podem ser empregadas: observacional (semelhante a um estudo de caso, avaliando o comportamento do artefato no ambiente real), analítica, experimental (experimentos controlados ou simulações), teste, descritiva (uso de argumentos existentes na literatura e elaboração de cenários) e grupos focais.

Um dos *outputs* da etapa de avaliação do artefato são as heurísticas contingenciais, que ao serem explicitadas passarão a fazer parte da base de conhecimento da *Design Science*. Elas tratam dos limites do artefato, suas condições de utilização e em que situações ele será útil, caracterizando, portanto, o ambiente externo.

A nona etapa tem por objetivo assegurar que a pesquisa realizada possa ser utilizada como subsídio para geração de conhecimento prático e teórico, e na décima etapa as conclusões do trabalho são descritas, bem como as decisões tomadas, delimitações e sugestões para trabalhos futuros. As últimas duas etapas englobam a generalização dos resultados para uma determinada classe de problemas, contribuindo para o avanço do conhecimento em *Design Science*, e a comunicação e publicação adequada dos resultados, contribuindo para a disseminação do conhecimento e facilitando seu acesso pelas partes interessadas.

### **2.3 MÉTODO DE TRABALHO EMPREGADO**

O método de trabalho empregado nesta pesquisa foi adaptado do passo-a-passo proposto por Dresch, Lacerda e Antunes (2015), constituindo-se em sete etapas, de forma a melhor representar os objetivos deste estudo. Na Figura 2 consta uma representação esquemática destas etapas.

Figura 2 - Método de trabalho utilizado para conduzir a pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira etapa do método de trabalho é a elaboração do problema de pesquisa, explicitando os objetivos do estudo, sua relevância e suas delimitações. Nesta etapa, foi identificada através de observação e experiência prática do autor a existência de falta de coordenação entre os planos decorrentes do processo *S&OP* e seu desdobramento para as etapas subsequentes do processo de planejamento e controle de produção. Um dos principais efeitos observados foi que as restrições de capacidade nem sempre estavam claras enquanto se avaliava a capacidade e a demanda agregada. Isto despertou o interesse para aplicação da Teoria das Restrições nesta fase do planejamento.

A segunda etapa do trabalho foi uma revisão da literatura, que contribuiu para uma melhor conscientização acerca do problema. Ela foi dividida em quatro partes. A primeira parte

trata de Planejamento e Controle da Produção, onde inicialmente foi efetuada uma busca em livros e artigos de referência de autores consagrados sobre o tema (HOPP e SPEARMAN, 2000; CHAPMAN, 2006; SLACK, CHAMBERS e JOHNSTONS, 2010; JACOBS *et al.*, 2011; OLHAGER, 2013; HEIZER, RENDER e MUNSON, 2017; CORRÊA, GIANESI e CAON, 2019). As demais partes da revisão da literatura tratam dos temas específicos abordados na pesquisa, que são *S&OP*, planos agregados de produção e *TOC*. Para *S&OP*, além dos conceitos abordados nos trabalhos de referência sobre Planejamento e Controle de Produção, foi efetuada uma pesquisa na base dados da CAPES utilizando as seguintes palavras-chave: *S&OP* e *Sales and Operations Planning*. Foram descartados artigos com mais de quinze anos de publicação e artigos que não fossem revisados por pares. Esta mesma metodologia de busca foi utilizada para planos agregados de produção, onde a palavra-chave utilizada foi *Aggregate Production Planning*. Para a revisão sobre *TOC*, inicialmente foram consultados livros e artigos de referência sobre o tema (GOLDRATT, 2009; BLACKSTONE, 2010; GOLDRATT, 2010; MABIN e DAVIES, 2010; SCHRAGENREIM, 2010; SRIKANTH, 2010), e por fim executou-se uma pesquisa na base de dados da CAPES utilizando-se as seguintes palavras-chave: *TOC* e *Theory of Constraints*, descartando-se pesquisas com mais de dez anos de publicação e que não fossem revisadas por pares.

A etapa subsequente baseia-se na quarta etapa do método proposto por Dresch, Lacerda e Antunes (2015), que consiste na identificação das classes de problemas e artefatos relacionados ao problema de pesquisa. Esta parte do trabalho foi realizada em duas etapas. Na primeira etapa, executou-se uma análise da aplicação da *TOC* no planejamento agregado da produção. Na segunda parte, avaliou-se aspectos relevantes dos demais artefatos encontrados na revisão da literatura que poderiam ser utilizados para elaboração do método desenvolvido neste trabalho.

Na quarta etapa do trabalho ocorreu a proposição de um novo método para elaboração de planos agregados de produção, utilizando o método abduutivo. Isto ocorreu com base nas análises executadas na etapa anterior.

A quinta etapa consiste na avaliação do método proposto para elaboração de planos agregados de produção, através de sua aplicação em um caso real. Foi empregada uma avaliação observacional do artefato no ambiente real de aplicação. As técnicas de coleta de dados

empregadas nesta fase da pesquisa foram a técnica documental e a observação direta. Para a técnica documental foram consultadas planilhas eletrônicas, além de atas e apresentações utilizadas em reuniões presentes na *intranet* da empresa onde a aplicação do artefato foi realizada.

A sexta etapa consiste na explicitação das aprendizagens decorrentes da avaliação do artefato. Através destas aprendizagens foi possível executar ajustes no artefato proposto, bem como entender suas limitações, desenvolvendo sua versão revisada. A sétima etapa é a escrita das conclusões decorrentes da pesquisa e a generalização dos achados para uma classe de problemas, bem como sugestões para trabalhos futuros.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste trabalho está dividido em quatro seções, representando os principais temas que embasam o trabalho. Na primeira seção apresentam-se aspectos fundamentais de Planejamento e Controle da Produção (PCP), dado que os demais temas abordados neste estudo fazem parte desta área do conhecimento. Como o foco do trabalho são os planos agregados de produção, apresentam-se os principais conceitos que de alguma forma influenciam na elaboração destes planos e que serão necessários para a condução do estudo: uma breve descrição sobre PCP, principais tipos de processo de produção, principais estratégias genéricas de produção e uma revisão sobre planejamento de capacidade.

A segunda seção aborda o processo de *S&OP*. Por se tratar de um processo gerencial, é possível analisá-lo em função das variáveis que definem o contexto em que a organização se insere, parâmetros de entrada (*inputs*), sua estrutura de processo e os *outputs* do processo (Ivert *et al.*, 2015). É desta forma que estes conceitos são apresentados, adicionando uma última subseção onde os diferentes níveis de maturidades de *S&OP* são discutidos, devido a importância deste aspecto na estrutura deste processo (GRIMSON e PYKE, 2007).

Na terceira seção são apresentadas as principais abordagens encontradas na literatura para elaboração de planos agregados de produção. Apresentam-se conceitos gerais que geralmente são utilizados na elaboração destes planos, incluindo conceitos presentes nos métodos com foco no suporte à tomada de decisão que buscam por soluções ótimas. Por fim, na quarta seção são apresentados os principais aspectos de *TOC* relevantes para este estudo: os cinco passos de focalização e o método *DBR*.

#### 3.1 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Um sistema de planejamento e controle da produção tem como principal função gerenciar de forma eficiente o uso de recursos internos e externos da empresa tendo em vista o objetivo de atender às demandas de seus clientes da melhor forma possível. Dentre os recursos

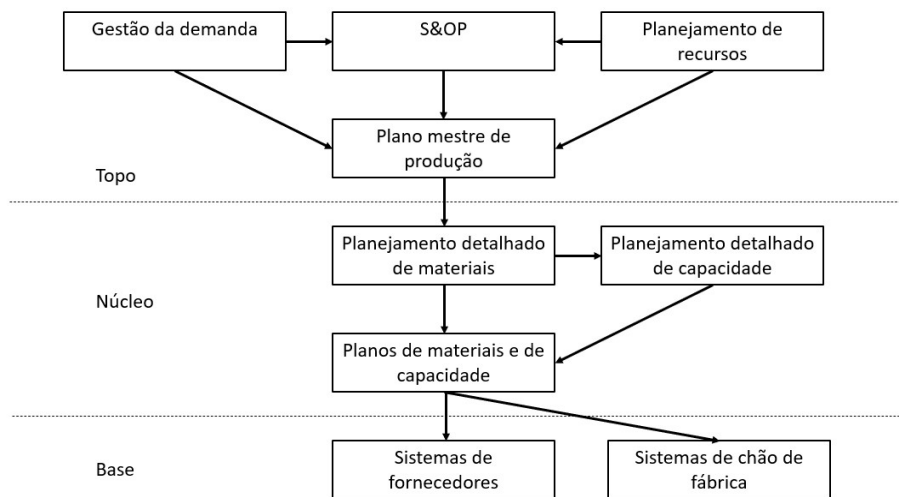


gerenciados estão o fluxo de materiais, recursos humanos, máquinas, equipamentos, sistemas de fornecimento de informações relevantes para os clientes (prazos de entrega e estados dos pedidos, por exemplo), entre outros. Ressalta-se ainda que, neste sistema, a tomada de decisão continua sendo de responsabilidade das pessoas responsáveis por sua operação e gestão, dado que o mesmo consiste em um apanhado de ferramentas que fornecem embasamento para estas decisões (JACOBS *et al.*, 2011).

Além de atender às expectativas dos clientes, o sistema de planejamento e controle de produção precisa estar de acordo com os objetivos estratégicos da empresa. Isto decorre do fato que diversos aspectos a serem modelados neste tipo de sistema virão a suportar a estratégia, ou caso tenham sido escolhidos de forma equivocada, irão dificultar o alcance dos objetivos estratégicos (HEIZER, RENDER e MUNSON, 2017).

Com base nestas premissas, Jacobs *et al.* (2011) afirmam que todos os sistemas de planejamento e controle da produção podem se representados de uma maneira simplificada como sendo compostos por três partes principais, conforme representado na Figura 3.

Figura 3 - Representação simplificada de um sistema de PCP.



Fonte: Adaptado de Jacobs et al. (2011).

O topo do sistema engloba a definição de um plano de produção que concilie a demanda do mercado com os recursos disponíveis em um horizonte de médio prazo (é nesta parte do sistema que ocorre o planejamento de vendas e operações). O núcleo do sistema consiste no planejamento de materiais e de capacidade detalhada (disponibilidade detalhada de recursos). A base do sistema consiste dos sistemas de acionamento da produção e dos fornecedores (ordens de produção e ordens de compra de materiais, por exemplo).

Os sistemas de planejamento de controle de produção evoluíram de simples sistemas controle do chão de fábrica para sistemas que buscam integrar toda a cadeia de suprimentos. Olhager (2013) apresenta em seu trabalho um *framework* que divide este sistema em quatro níveis diferentes. Uma breve descrição de cada um destes níveis consta abaixo:

- *S&OP* – É o nível que está ligado ao planejamento estratégico. Seu objetivo é conciliar a demanda e a capacidade em um nível agregado (famílias de produtos), avaliando o volume de produção;
- *MPS (Master Production Schedule)* – Se refere o plano mestre de produção, que consiste em um cronograma que contém as datas de finalização de produção dos pedidos dos clientes. Ao contrário do nível acima de se ocupa de analisar os volumes de produção, neste nível o *mix* detalhado de produção é uma variável importante. O plano mestre de produção é a principal ferramenta de comunicação entre a fábrica e a área de vendas;
- *MRP (Material Requirement Planning)* – O planejamento de requisitos de materiais consiste no plano de aquisição de materiais necessários para a execução do plano mestre de produção. Resumidamente, o método consiste em, baseado na lista de materiais necessários para cada produto, emitir ordens de aquisição e fabricação para materiais e componentes utilizados;
- *SFC (Shop Floor Control Systems)* – O nível mais baixo de um sistema de planejamento e controle da produção é o nível que trata dos sistemas de controle do chão de fábrica, onde definem-se como os recursos de produção são acionados e controlados.

### 3.1.1 TIPOS DE PROCESSOS E ESTRATÉGIAS GENÉRICAS DE PRODUÇÃO

O volume de produção e a variedade demandada pelo mercado estão entre os aspectos mais críticos considerados no PCP, e estes dois itens serão guiados pela quantidade de influência que o cliente possui no *design* do produto e/ou serviço (CHAPMAN, 2006). A quantidade de influência do cliente define as seguintes estratégias de produção utilizadas:

- MTS (*Make-to-stock*) – Esta categoria abrange os produtos acabados que são produzidos com base em uma previsão de demanda. Nestes produtos, a influência do cliente é nula, uma vez que a única opção que o mesmo possui é comprar ou não o produto. Exemplos deste tipo de produto são os bens de consumo encontrados em supermercados e roupas em lojas de vestuário;

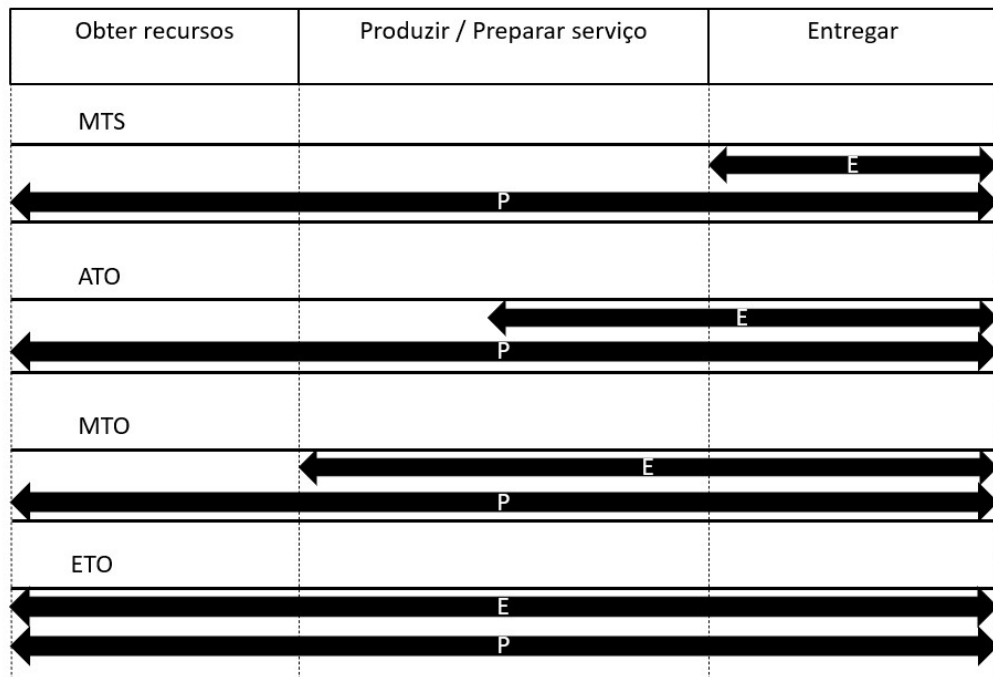
- ATO (*Assemble-to-order*) – O cliente possui uma influência um pouco maior no *design* do produto, mas essa influência limita-se a definir como combinar módulos pré-existentes que formam o produto. Um exemplo deste tipo de item são móveis modulados, onde o cliente consegue definir alguns aspectos do produto acabado com base nos módulos pré-existentes;

- MTO (*Make-to-order*) – O cliente possui influência em aspectos do produto acabado e/ou dos serviços, uma vez que a produção é feita contra pedido. Estes produtos são feitos com matérias-primas padronizadas;

- ETO (*Engineer-to-order*) – O cliente possui total influência no produto e/ou serviço prestado, e as opções não se limitam a matérias-primas e módulos pré-existentes.

Slack, Chambers e Johnston (2010) enfatizam as diferenças na razão de tempo entre prazo de entrega do bem ou serviço após sua solicitação por parte do cliente e o tempo total de produção (incluindo todo tempo de fabricação e entrega do bem ou serviço para o cliente) que ocorrem nas demandas atendidas com as lógicas MTS, ATO, MTO e ETO. Esta diferença está destacada na Figura 4

Figura 4 - Diferenças entre tempo de entrega (E) e tempo de produção total (P).



Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2010).

Além de explicar que os processos escolhidos pelas empresas para entregar produtos e serviços para o mercado são definidos levando em consideração o nível de influência que os clientes possuem nas especificações dos mesmos, Chapman (2006) classifica estes processos em três grandes grupos:

- Processo *Job Shop* – Processos do tipo *Job Shop* são geralmente desenhados objetivando-se flexibilidade. Cada equipamento tenderá a ser utilizado para produzir uma vasta gama de diferentes componentes e os trabalhadores deverão ser altamente treinados e capazes de realizar muitas atividades diferentes, o que faz com nestes ambientes boa parte do fluxo de informação ocorra de forma informal, dado que a padronização detalhada das atividades é virtualmente impossível. Este tipo de processo é empregado geralmente para atender a uma grande variedade de requisitos especiais de produto;

- Processamento intermitente – Nesta categoria os equipamentos são mais especializados em comparação com os utilizados nos processos tipo *Job Shop*, mas ainda possuem certa flexibilidade que os permite produzirem certa variabilidade no *design* dos

produtos. Os trabalhadores não precisam ser altamente treinados como nos processos do tipo *Job Shop* pois os equipamentos requerem menor conhecimento para serem operados por serem mais especializados. Esta categoria é frequentemente chamada de processo por batelada devido ao fato de que a produção em geral é feita em lotes discretos de um determinado produto ou componente, que geralmente tendem a consumir algumas horas do equipamento em questão até que ocorra um *setup* e um novo lote de outro produto ou componente comece a ser produzido;

- **Processamento em fluxo** – Neste tipo de processo as máquinas utilizadas processam um volume de material muito elevado de produtos que possuem apenas pequenas variações de atributos entre si. O maquinário tende a ser extremamente caro e a mão de obra empregada tende a ser pouco qualificada. Neste tipo de processo o custo unitário dos produtos tende a ser baixo.

Deve ser observado que os tipos de processo apresentados acima são modelos básicos e que muitos produtos são produzidos em operações híbridas, ou seja, possuem uma rota de produção que combina mais de um tipo de processo (CHAPMAN, 2006). O Quadro 1 explicita os diferentes aspectos relacionados a cada um destes processos.

*Quadro 1 - Principais aspectos dos principais tipos de processo de produção.*

	<b>Job Shop</b>	<b>Intermitente</b>	<b>Fluxo</b>
<b>Equipamento</b>	Genérico	Semi-especializado	Especializado
<b>Habilidades dos trabalhadores</b>	Elevadas	Intermediárias	Baixas
<b>Volume de produção</b>	Baixo	Médio	Alto
<b>Variedade no <i>design</i></b>	Alta	Média	Baixa
<b>Ambiente de produção</b>	ETO, MTO	MTO, ATO, MTS	ATO, MTS
<b>Fluxo de trabalho</b>	Variável e misturado	Mais definido	Definido e fixo

Fonte: Adaptado de Chapman (2006).

### 3.1.2 PLANEJAMENTO DE CAPACIDADE

A capacidade produtiva, de acordo com Hopp e Spearman (2000), é o limite máximo de *throughput* (taxa de transferência de materiais) que um sistema pode adquirir. Em sua definição, o autor destaca dois aspectos cruciais relacionados à capacidade que precisam ser levados em consideração pelas organizações em seus planejamentos. O primeiro aspecto é que a capacidade do sistema deve limitar a taxa de liberação de material para processamento, pois caso esta taxa supere à capacidade, invariavelmente irá ocorrer um aumento de estoque em processo no sistema. O segundo aspecto diz respeito à variação da capacidade, pois somente em casos muito específicos ela é constante. Na maior parte dos ambientes ela varia em função da demanda e das incertezas inerentes aos processos produtivos.

O objetivo principal das organizações no planejamento de capacidade é ajustar esta capacidade à demanda existente (HEIZER, RENDER e MUNSON, 2017), e para levar a cabo este objetivo os aspectos mencionados no parágrafo acima se impõem. Para ajustar esta capacidade, os autores classificam as ações disponíveis para os gestores em três horizontes de tempo distintos: ações de longo prazo, ações de médio-prazo e ações de curto-prazo. Estas alternativas constam representadas no Quadro 2.

*Quadro 2 - Alternativas para ajustar a capacidade em diferentes horizontes de tempo.*

<b>Horizonte de tempo</b>	<b>Modificação da capacidade</b>	<b>Utilização da capacidade</b>
Longo prazo	Projetar novos processos Adquirir ou vender maquinário de grande porte Adquirir ou vender instalações Adquirir competidores	
Médio Prazo	Subcontratação Adquirir ou vender equipamentos Aumentar ou reduzir turnos	Construir ou utilizar estoques Treinamentos Variar quadro de funcionários
Curto prazo		Programar produção Horas extras Programar uso de equipamentos

Fonte: Adaptado de Heizer Render e Munson (2017).

No que tange à medição de capacidade não existe uma padronização sobre como executar este tipo de medição, de acordo com Slack, Chambers e Johnston (2010). Em seu trabalho, os autores apresentam duas formas distintas de se executar este tipo de medição. A primeira forma de medição está baseada nos conceitos de capacidade de projeto e capacidade efetiva. Capacidade de projeto equivale ao máximo teórico que o sistema pode produzir, eliminando-se todas as perdas, e a capacidade efetiva é o quanto o sistema pode produzir considerando as perdas planejadas, que são aquelas inerentes ao processo (como exemplos deste tipo de perda os autores citam os *setups*, a manutenção preventiva planejada, as faltas de pedido, as paradas para inspeções de qualidade e as paradas para troca de turno). Os autores definem também os conceitos de utilização e eficiência, conforme conta na Figura 5, onde a utilização relaciona a capacidade real com a capacidade de projeto, e a eficiência relaciona a capacidade real com a capacidade efetiva.

*Figura 5 - Definições de utilização e eficiência*

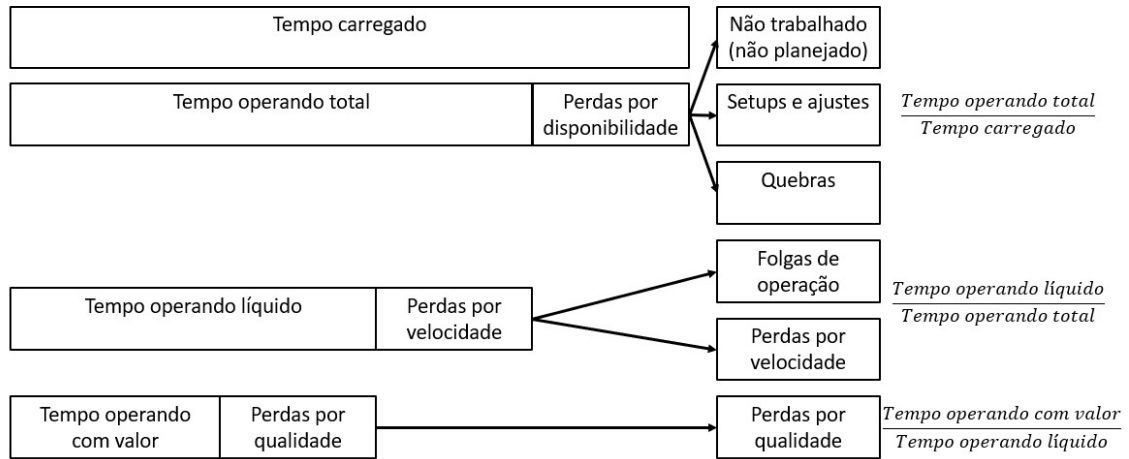
$$\text{Utilização} = \frac{\text{Capacidade real}}{\text{Capacidade de projeto}}$$
$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Capacidade real}}{\text{Capacidade efetiva}}$$

Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2010)

A outra forma apresentada pelos autores para medição de capacidade surge de uma crítica à definição de perdas planejadas, uma vez que este tipo de definição poderia levar a organização a ignorar formas de reduzir estas perdas, como por exemplo reduzir tempos de *setup* e tempos de manutenção preventiva. Neste contexto, pode-se utilizar uma métrica denominada *OEE* (*Overall Equipment Efficiency* – Eficiência Global de Equipamentos). O *OEE* representa uma eficiência global da capacidade real do sistema em relação à capacidade de projeto, considerando todas as perdas existentes, sendo constituído por três eficiências que quando multiplicadas uma pela outra geram o valor do *OEE*. Na Figura 6 consta uma

representação de como estas perdas e eficiências se relacionam para constituir o indicador de OEE.

Figura 6 - Constituição do indicador de OEE.



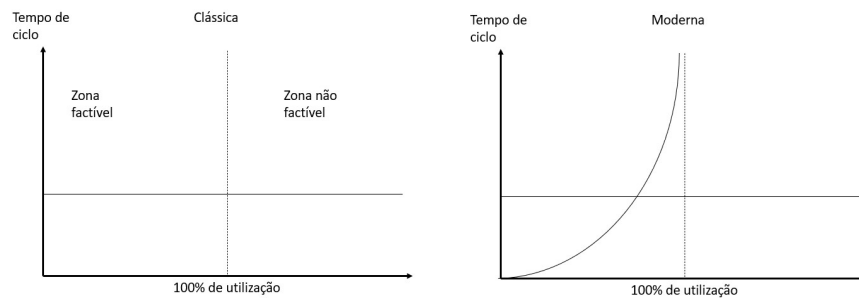
Fonte: Adaptado de Slack, Chambers e Johnston (2010)

Hopp e Spearman (2000) também apresentam uma discussão sobre duas formas distintas de se gerenciar a capacidade produtiva. De acordo com os autores, existe uma visão tradicional onde o problema de dimensionamento da capacidade se resume a verificar se a capacidade real é suficiente para atender ao *throughput* necessário. Por outro lado, existe uma visão moderna do problema em que o dimensionamento da capacidade passa a ser visto em conjunto com os níveis de estoque em processo esperados e tempos de atravessamento.

Em seu trabalho os autores demonstram que no longo prazo a taxa com que as matérias-primas serão liberadas para o sistema serão sempre inferiores à capacidade real, devido à existência de variabilidade nos ambientes de produção. Além disso, quanto mais essa taxa se aproximar da capacidade real, maior será o estoque em processo e por consequência maior será tempo de atravessamento. A consequência deste princípio é que na ausência de mudanças no sistema e no ambiente de produção (estado permanente), o *throughput* irá se aproximar de maneira assintótica à capacidade real conforme aumenta o estoque em processo, sem nunca a alcançar. Na Figura 7 consta uma representação de ambas as visões.



Figura 7 - Visão clássica e visão moderna do planejamento de capacidade.



Fonte: Adaptado de Hopp e Spearman (2010).

### 3.2 PLANEJAMENTO DE VENDAS E OPERAÇÕES (S&OP)

Na definição de Blackstone (2013) no dicionário da *APICS (American Production and Inventory Control Society)*, “S&OP consiste em um processo para desenvolvimento de planos táticos que fornecem para a gestão a habilidade de dirigir seus negócios estrategicamente para alcançar vantagem competitiva de forma contínua através da integração dos planos de *marketing* de produtos novos e existentes focados no cliente com a gestão da cadeia de suprimentos. Este processo aglutina todos os planos do negócio (vendas, *marketing*, desenvolvimentos, manufatura, *sourcing* e financeiro) em um único grupo integrado de planos. Ele é executado pelo menos uma vez por mês e é revisado pela gestão no nível de produtos agregados (famílias de produtos). O processo deve ser capaz de conciliar todos os planos relativos a suprimentos, demanda e novos produtos, tanto no nível agregado quanto no nível detalhado, amarrando-os ao plano estratégico. É a principal definição dos planos da empresa para o curto e médio prazo, cobrindo um horizonte de tempo suficiente para que os recursos necessários sejam planejados e para que o processo de planejamento estratégico seja suportado. Quando executado de forma adequada, o S&OP liga o planejamento estratégico com a execução, revisando os indicadores de desempenho para a melhoria contínua”.

Stahl e Wallace (2008) definem que o processo de S&OP baseia-se em quatro fundamentos: demanda por produtos, capacidades, volumes de produção e mix de produção. Os autores enfatizam que uma das principais missões do processo é predizer se haverá um

desbalanço entre demanda e capacidade produtiva. Assim como a demanda e capacidade são tratadas separadamente, mix e volume também devem ser considerados de forma independente. É muito mais fácil lidar com os problemas relacionados a mix de produção uma vez que o problema do volume tenha sido endereçado, e um dos principais *outputs* do processo *S&OP* é balancear demanda e capacidade no nível de volumes de produção.

Corrêa, Gianesi e Caon (2019) reforçam a importância da coerência entre as ações das diferentes áreas como justificativa para a correta coordenação as previsões de demanda e recursos internos da empresa. Desta forma, um dos principais objetivos do processo de *S&OP* é garantir que os planos de vendas, de produção, financeiros e de desenvolvimento de novos produtos sejam realistas e coerentes. Estes planos devem ser coerentes em relação à estratégia da companhia e entre si.

No que se refere aos objetivos do processo de *S&OP*, Thomé *et al.* (2012) classificam os objetivos encontrados através da revisão da literatura em cinco grupos, conforme segue abaixo:

- Alinhamento e integração – Alinhamento vertical, balanceamento entre demanda e suprimentos, alinhamento entre as diferentes funções dentro da empresa, integração de planos, alinhamento horizontal ao longo da cadeia de suprimentos;
- Melhorias operacionais – Melhorar previsões de demanda, melhorar desempenho operacional, gerenciar e reduzir estoques / faltas de produtos, balancear volume e mix, balancear capacidades, gerenciar restrições, gerenciar riscos e incerteza, alocação adequada de recursos críticos, otimizar capacidade de suprimentos, auxiliar a introdução de novos produtos no mercado, mensurar a criação de valor, revisar o desempenho do negócio;
- Resultados baseados em uma única perspectiva – Melhorar o desempenho do negócio / cadeia de suprimentos, melhorar o faturamento, melhorar o atendimento ao cliente, minimizar os custos do negócio / cadeia de suprimentos;
- Resultados baseados em *trade-offs* – Otimizar o lucro, otimizar a relação entre nível de serviço e nível de estoque, atender a demanda com estoque reduzido, atender às necessidades dos clientes com o mínimo custo;

- Resultados financeiros – Lucro bruto, retorno sobre o patrimônio líquido, rentabilidade do negócio / produto, margens de contribuição.

Grimson e Pyke (2007) discutem algumas das principais características do processo. De acordo com os autores, *S&OP* é um processo multidisciplinar que envolve diversas áreas da empresa, que vão além da área de vendas e da área operacional, envolvendo também engenharia, controladoria e recursos humanos. Através do processo, cria-se uma ponte entre a estratégia da alta administração e a execução dos planos, sendo, portanto, criador de valor e estando ligado ao desempenho geral da organização

### **3.2.1 A INFLUÊNCIA DO CONTEXTO NO PROCESSO *S&OP***

O *design* básico do processo de *S&OP* pode ser aplicado a praticamente qualquer tipo de indústria (KRISTENSEN e JONSSON, 2018). No entanto, o desenho detalhado do processo depende do contexto em questão que irá determinar quais os problemas com que o processo *S&OP* terá que lidar. Os autores classificam as variáveis de contexto encontradas através de uma revisão sistemática da literatura em sete categorias: tamanho da empresa, estrutura hierárquica do sistema de planejamento e controle da produção, tipo de indústria, complexidade dinâmica, complexidade de detalhes, estratégia de produção, e características organizacionais.

De maneira geral, Kristensen e Jonsson (2018) identificaram que quanto maior o tamanho da empresa, maiores serão os resultados atingidos. Por consequência, o processo é mais difundido em empresas maiores, onde geralmente apresenta um grau de maturidade maior quando comparado com empresas de pequeno porte. No que se refere à hierarquia do sistema de planejamento e controle da produção, o principal ponto destacado pelos autores é a relevância da correta integração entre o *S&OP* e as demais partes do sistema (integração vertical). Caso o processo não esteja corretamente concatenado com o *MPS*, com os requerimentos de materiais, com o planejamento de distribuição, com a programação e sequenciamento de produção e com a gestão dos estoques os resultados esperados não serão alcançados. Em outras palavras, o processo de *S&OP* deve ser desenhado levando em consideração todas as etapas de planejamento e controle da produção.

O processo *S&OP* tem sido aplicado em uma miríade de ambientes, no entanto, ainda não existem estudos demonstrando como o sistema deve ser projetado para promover melhores resultados a depender do tipo de indústria. As pesquisas demonstram que o tipo de indústria exerce influência nos principais parâmetros do sistema, como horizontes de planejamento, *softwares* utilizados e outros parâmetros de planejamento. Neste tópico, por exemplo, Noroozi e Wikner (2016) exploraram as principais diferenças entre as indústrias de processo contínuo e as indústrias de processo discreto, onde as primeiras apresentam algumas características que em geral as diferem das demais indústrias, como o elevado custo relativo da energia no custo do produto, *yields* variáveis ao longo do processo produtivo que afetam o *throughput* e prazos de validade curtos de estoques

A complexidade como variável de contexto aparece nas pesquisas na forma de complexidade dinâmica e complexidade de detalhes. Thomé, Sousa e Scavarda (2014) definem complexidade dinâmica como sendo a quantidade de interconexões e de imprevisibilidade que o sistema apresenta. Quanto maior a complexidade dinâmica do cenário, maior é a necessidade de coordenação horizontal ao longo da organização. Além disso, maiores níveis desta variável exigirão que o desenho do *S&OP* inclua o planejamento de cenários e gestão de riscos para lidar com a elevada incerteza. Em seu trabalho os autores demonstraram que a complexidade dinâmica amplifica os efeitos positivos do uso de *S&OP* no que se refere a qualidade, entrega e flexibilidade, uma vez que o processo melhora a coordenação na organização permitindo reações melhores aos *inputs* externos.

A complexidade de detalhes faz referência a quantidade de itens envolvidos no planejamento (KRISTENSEN e JONSSON, 2018). Existe evidência de que os benefícios decorrentes da implementação do *S&OP* são diretamente proporcionais à quantidade de complexidade de detalhe envolvida. Para lidar com esta variável de contexto, diversas empresas acabam operando com mais de um *S&OP* simultaneamente, podendo estes processos serem separados por região, unidades de negócio ou mercados atendidos, por exemplo (LAPIDE, 2011). Além disso, algumas empresas optam por lidar com esta complexidade utilizando-se de ferramentas de tecnologia da informação mais elaboradas.

As estratégias de produção empregadas influenciam na forma com que o plano agregado é executado (NOOROZI e WIKNER, 2016). De forma geral, empresas operando com

uma estratégia *MTS* tendem a planejar a produção com base em uma estratégia de nivelamento da produção e a planejar a capacidade com base em uma estratégia *lag* (aumentar a capacidade somente quando há um aumento real na demanda). Já empresas que se utilizam de uma estratégia *MTO* tendem a planejar a produção utilizando-se uma estratégia de perseguição (sequenciar a produção com base nas datas de entrega dos pedidos) e planejar sua capacidade produtiva com base em uma estratégia *lead* (aumentar a capacidade com base em uma expectativa de aumento de demanda).

Por fim, há evidência de que o suporte da alta gestão e integração existente entre os departamentos são facilitadores da implementação do *S&OP*, e quando ausentes são barreiras. Swain *et al.* (2016) apresentam em seu trabalho quatro condições de contexto que quando presentes agem como antecessores da efetividade do *S&OP*: integração organizacional, padronização do processo *S&OP*, priorização do processo *S&OP* e engajamento organizacional no processo. Ambrose, Mathews e Rutherford (2018) baseando-se na teoria da identidade social demonstraram que a existência de uma identidade de grupo é um fator crítico de sucesso do processo, dado que ele se baseia no trabalho de equipes multidisciplinares.

Ivert *et al.* (2015) apresentam as variáveis em um outro *framework*. Os autores dividem as variáveis de contexto em três categorias distintas, sendo elas variáveis relacionadas ao produto, variáveis relacionadas à demanda e variáveis relacionadas a suprimentos. Cada uma destas variáveis irá influenciar o *design* do *S&OP* de maneiras distintas. Os autores exploraram os impactos que estas variáveis de contexto geram nos parâmetros de configuração (*setup*) do *S&OP* e na estrutura do processo. Estes conceitos são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Relações entre variáveis de contexto e a estrutura do S&OP.

Variáveis	Parâmetros de configuração	Estrutura do processo
Relacionadas ao produto	Variedade de produto influencia no <i>design</i> do S&OP Número de produtos influencia no objeto de planejamento Vida útil influencia na frequência e no horizonte de planejamento	Vida útil influencia nas atividades e planejamento
Relacionadas à demanda	Comportamento da demanda e prazos de entrega influenciam no <i>design</i> do S&OP Lançamento de produtos influenciam na frequência e no horizonte de planejamento Dinâmica do mercado influencia na frequência de planejamento Incerteza da demanda influencia na frequência e no horizonte de planejamento Tendências de mercado influenciam no horizonte de planejamento	Requisitos para nível de serviço guiam a necessidade de um processo de S&OP
Relacionadas a suprimentos	Características da indústria influenciam na frequência de planejamento Incerteza na cadeia de suprimentos influencia na frequência e horizonte de planejamento	Complexidade na produção influencia nas atividades de planejamento Incerteza na cadeia de suprimentos influencia nas atividades de planejamento

Fonte: Adaptado de Ivert et al. (2015).

### 3.2.2 INPUTS PARA S&OP

Thomé et al. (2012) definem que as variáveis de entrada do processo são planos departamentais, previsões de vendas e de demanda, estoques, orçamentos e restrições operacionais. Os autores classificam estas variáveis em cinco categorias:

- Demanda – Planos de vendas, previsão de demanda e de vendas, ações de concorrentes, planos de ação de *marketing*, informações de vendas;

- *Sourcing* – Plano de suprimentos, *lead times*, capacidade de suprimentos, restrições de fornecedores, dados de compras, informações de fornecedores, previsões de matérias-primas;
- Produção – Planos de produção, estoques, capacidade produtiva, mão-de-obra, recursos operacionais, outras restrições operacionais, *lead time*, tempo de produção, planos de contingência;
- Distribuição – Plano de distribuição, capacidade de distribuição, *lead time*, *status* de transportes, capacidade de serviço, objetivo de nível de serviço;
- Finanças – Planos financeiros, orçamentos, metas financeiras.

### **3.2.3 ESTRUTURA DO PROCESSO *S&OP***

Diversas são as características que descrevem a estrutura do processo *S&OP*, dentre elas, Ivert *et al.* (2015) definem os parâmetros de configuração do processo (*setup*) como uma categoria a parte. Na definição dos autores, estes parâmetros lidam com o escopo e com os princípios básicos de funcionamento do processo. Eles podem ser divididos em três grupos: frequência de planejamento, horizonte de planejamento e objeto de planejamento.

A frequência de planejamento se refere aos períodos definidos entre etapas do processo e de quanto em quanto tempo as análises são executadas. Trata-se de um parâmetro que varia fortemente entre empresas, mas em geral utilizam-se cronogramas mensais, onde todo o ciclo de planejamento de vendas e operações ocorre de forma recorrente no período de um mês.

O horizonte de planejamento se refere à quantidade de tempo que um plano se estende no futuro. Este período varia entre as organizações, em geral entre 3 e 18 meses, a depender do negócio em questão (GRIMSON e PYKE, 2007). É importante que o horizonte de planejamento escolhido garanta o tempo necessário para a organização manobrar recursos relacionados à demanda e à capacidade produtiva, considerando tempos de contrato com clientes e tempos de entrega de matérias-primas, por exemplo.

Objetos de planejamento são as famílias de produtos utilizadas. É preciso agregar os produtos em famílias porque não é viável tomar decisões de alto nível levando em conta cada produto individualmente (gerenciar taxas de produção ao invés de ordens de produção individuais), mas ao mesmo tempo também é preciso manter o critério de significância tomando o cuidado de não perder pontos importantes para a tomada de decisão caso as famílias tenham sido excessivamente agregadas (CORRÊA, GIANESI e CAON, 2019). Os autores enfatizam também um outro *tradeoff* envolvido na definição das famílias de produtos que se refere às diferentes visões que as áreas possuem acerca dos produtos. Tradicionalmente a área de vendas enxerga os produtos agrupados em função de diferentes clientes e mercados atendidos, já a manufatura enxerga os produtos em função dos processos produtivos e dos recursos empregados na sua fabricação. Independente do ponto-de-vista adotado, uma tabela de conversão deve ser empregada para que o impacto de cada “família de vendas” sobre cada “família de manufatura” seja determinado.

Wallace e Stahl (2008) afirmam que em muitos casos as empresas já possuem essas famílias pré-definidas devido à natureza do negócio em que estão inseridas. Os autores exemplificam diversas categorizações que podem ser utilizadas para aglutinação destas famílias: tipo de produto, características dos produtos, tamanho dos produtos, marca, segmento de mercado e cliente. Em alguns casos é necessário também trabalhar com um subnível denominado de subfamília, para que a significância seja mantida para determinadas decisões.

Alguns autores apresentam outras formas de se definir as famílias. Tanajura e Cabral (2011), por exemplo, sugerem que se utilize o impacto financeiro de terminados itens como critério de agregação. Noroozi e Wikner (2016) enfatizam as diferenças que processos de produção discretos e processos de produção contínuos geram na definição das classes de agregação. Wallace e Stahl (2008) explicam que existem alguns casos especiais que podem ser tratados como famílias independentes, como no caso de desenvolvimentos de produtos e pedidos de emergência, por exemplo. Por fim, de acordo com Ivert *et al.* (2015), existem algumas situações em que as empresas optam por trabalhar com produtos individuais ao nível de *SKU* (*Stock Keeping Units*) no processo de *S&OP*, ao invés de trabalharem com níveis de agregação como é tradicionalmente recomendado. Este tipo de decisão é apropriado para



ambientes onde a incerteza da previsão de demanda é muito elevada e a empresa trabalha com um número relativamente baixo de *SKUs*.

Além dos parâmetros de *setup*, Thomé *et al.* (2012) classificam as demais características que definem a estrutura do processo em quatro categorias: reuniões e colaboração (participantes, colaboração e regularidade), organização (empoderamento, equipes e definição de etapas), sistemas de informação empregados e métricas de *S&OP*. Tuomikangas e Kaipia (2014) apresentam um *framework* para classificação da estrutura do processo, com ênfase na coordenação entre as diferentes dimensões de características, conforme consta na Figura 8. Este *framework* que enfatiza a importância na coordenação dentro do processo de *S&OP* foi pesquisado por Goh e Eldridge (2019) que em seu trabalho avaliaram a relação entre cada um destes mecanismos de coordenação, estabelecendo relações de causa efeito com o desempenho global da cadeia de suprimentos.

Figura 8 - Mecanismos de coordenação do *S&OP*.



Fonte: Adaptado de Tuomikangas e Kaipia (2014).

O primeiro mecanismo é a organização do *S&OP*, que abrange a definição formal de papéis e responsabilidades dentro do processo e a autoridade para tomada de decisão. Grimson

e Pyke (2007) enfatizam a importância da liderança executiva no processo, dado que ela é encarregada de definir claramente a equipe que irá fazer parte do processo, além de definir seus papéis e responsabilidades. Ainda de acordo com os autores, a liderança executiva precisa estar presente para resolver impasses dado que o processo invariavelmente envolverá uma série de decisões envolvendo *tradeoffs*.

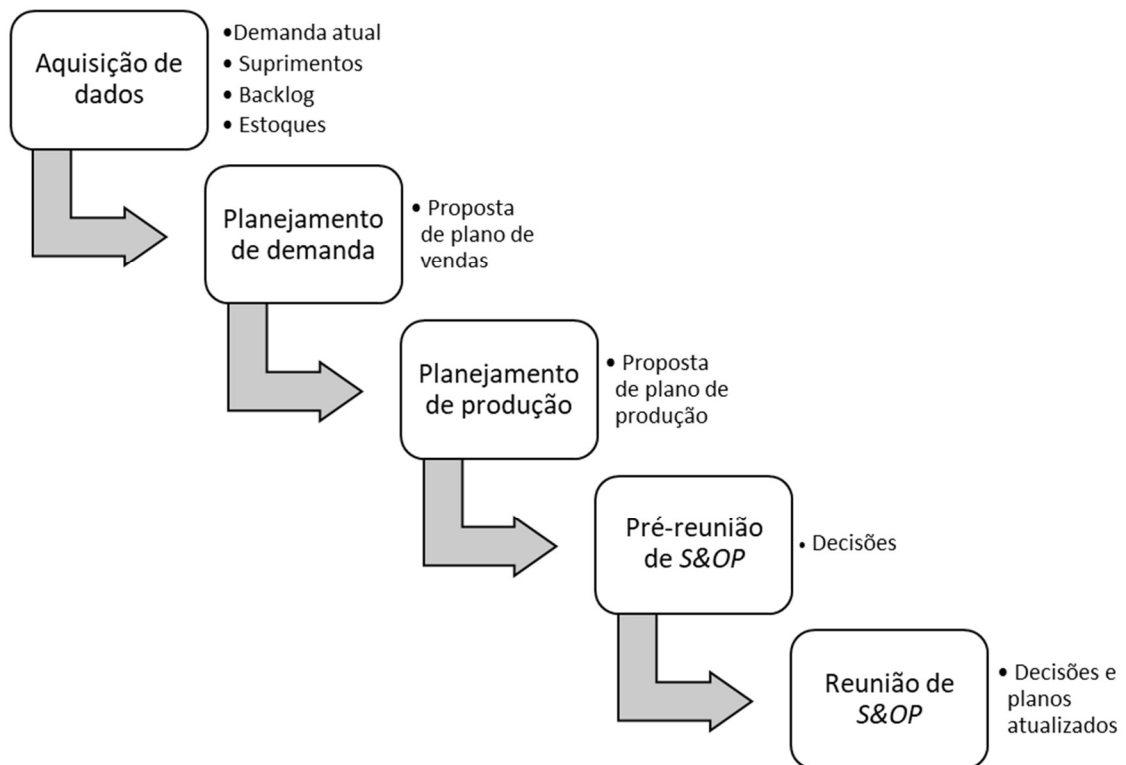
O time de trabalho deve ser multifuncional. Nem todas as pessoas precisam participar das reuniões formais, no entanto, Corrêa, Giansi e Caon (2019) estabelecem quais devem ser as áreas e seus representantes que devem estar obrigatoriamente presentes nestes encontros: alta administração, vendas, *marketing*, manufatura, engenharia (pesquisa e desenvolvimento), finanças e recursos humanos. Executivos de alto escalão devem estar presentes nestes encontros. Além disso, os autores também estabelecem quais as principais decisões típicas que precisam ser tomadas e quem são seus respectivos responsáveis:

- Capital para formação de estoques – Diretor geral, diretor financeiro, diretor industrial;
- Capital para investimento em equipamentos e novas instalações – Diretor geral, diretor industrial;
- Capital para investimento em melhorias – Diretor geral, diretor industrial;
- Grandes alterações no mix de produção – Diretor geral, diretor de vendas e *marketing*, diretor industrial;
- Acréscimo ou redução de horas extras – Diretor industrial, gerente de fábrica;
- Transferência de funcionários entre departamentos – Diretor industrial, gerente de fábrica;
- Ampliação ou redução de subcontratação e fornecimento – Diretor industrial, gerente de fábrica, gerente de suprimentos;
- Admissão e definição de pessoal (temporários ou permanentes) – Diretor geral, diretor industrial, gerente de fábrica, gerente de recursos humanos.

No que tange ao funcionamento do processo *S&OP*, que consiste do segundo mecanismo de coordenação, Tuomikangas e Kaipia (2014) identificaram duas perspectivas diferentes na literatura do assunto: a primeira abordagem possui um enfoque no trabalho colaborativo e dinâmico entre as funções como forma de execução do processo, já a segunda abordagem é mais orientada ao método, com base em uma estrutura definida de suporte a tomada de decisão com objetivo de minimizar custos ou maximizar lucros levando em conta as restrições existentes.

Na primeira perspectiva o processo é estruturado na forma de cinco etapas (THOMÉ *et al.*, 2012). Estas etapas devem ser executadas de forma recorrente, e geralmente o período do ciclo do processo corresponde a um mês. Uma representação destas etapas consta na Figura 9.

Figura 9 - Representação do processo de *S&OP*.



Fonte: Adaptado de Wallace e Stahl (2008).

A seguir, segue uma descrição de cada uma das etapas deste processo, de acordo com a definição de Wallace e Stahl (2008):

- Aquisição de dados – Esta etapa deve ser iniciada no começo do mês, podendo ser subdividida em três elementos: atualização de dados referentes ao mês precedente (informações de vendas e de produção, por exemplo) aquisição de informações atualizadas de mercado e vendas para que as previsões de demanda sejam atualizadas, e distribuição de informação para as pessoas pertinentes, de forma a suportar as próximas etapas;

- Planejamento de demanda – O planejamento da demanda é responsabilidade das áreas de vendas e *marketing*. Esta etapa consiste na elaboração de uma proposta de plano de vendas com base nos dados levantados na etapa anterior. Faz parte do planejamento de demanda a utilização de técnicas de *Forecast*. Chopra e Meindl (2007) explicam que esta técnica objetiva projetar o comportamento de determinadas variáveis de mercado no futuro com base em resultados do passado. *Forecasts* dividem-se em dois tipos: métodos quantitativos baseados em matemática e estatística, e métodos qualitativos. Grimson e Pyke (2007) subdividem o planejamento da demanda em cinco etapas: elaborar um *Forecast* quantitativo e ajustá-lo com técnicas qualitativas, elaborar um plano de vendas sem restrições (desprezando neste momento as restrições de capacidade), executar análise de cenários, validação com a gerência e ajuste final no plano de vendas sem restrições aberto por famílias e cobrindo o horizonte de planejamento. Cecere, Barret e Mooraj (2009) adicionam que, durante a execução deste plano, estratégias de vendas são consideradas com o intuito de gerenciar a demanda, dentre as quais promoções, momentos para introdução de novos produtos e campanhas publicitárias;

- Planejamento de produção – Esta etapa consiste no planejamento de capacidade e de materiais. Com base no plano de vendas elaborado na etapa precedente, a equipe de operação irá avaliar alternativas para atender ao plano de vendas sem restrições, considerando os impactos nos principais indicadores operacionais por família de produto;

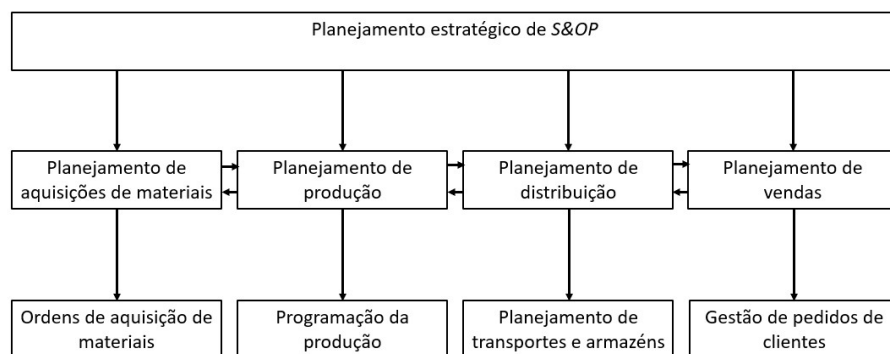
- Pré-reunião de *S&OP* – Esta etapa é uma etapa preparatória para a reunião executiva final do processo. O objetivo desta etapa é conciliar os planos de vendas e de produção, resolvendo e explicitando conflitos entre os planos (THOMÉ *et al.*, 2012). Diferentes

cenários são avaliados nesta etapa, e seus impactos nas diferentes áreas da empresa devem ser explicitados, facilitando a tomada de decisão na etapa final do processo;

- Reunião executiva de *S&OP* – É onde a tomada de decisão envolvendo *tradeoffs* deve ser realizada pela alta direção. Wallace e Stahl (2008) definem quatro passos fundamentais que devem ocorrer nesta fase do processo: atingir o consenso entre os planos de vendas e de produção, mantendo a coerência com o plano estratégico, medir os impactos financeiros do plano final de produção acordado, discutir problemas, riscos e oportunidades, e elaboração do plano de produção agregado final.

No que se refere a outra perspectiva de funcionamento do processo, mais orientada para o suporte à tomada de decisão, Pereira, Oliveira e Carravilla (2020) concluíram que diversos modelos existem, mas que os mesmos tratam apenas de partes separadas do processo *S&OP*. Em função desta lacuna, os autores procuraram sintetizar todos os aspectos de tomada de decisão do processo de *S&OP* em quatro dimensões, desenvolvendo assim um *framework* holístico que abrange todo processo: planejamento da produção, planejamento de aquisições, planejamento de distribuição e planejamento de vendas. Cada uma destas dimensões possui entradas do planejamento estratégico, parâmetros externos e variáveis de decisão que definem os planos relacionados a cada uma destas dimensões (respectivamente a programação da produção, o plano de ordens de compra de materiais e serviços, o plano de transportes e armazenagem e o plano operacional de vendas que inclui a colocação de pedidos de clientes no sistema da organização. Este *framework* consta na Figura 10.

Figura 10 - Dimensões e variáveis de decisão envolvidas no processo de *S&OP*.



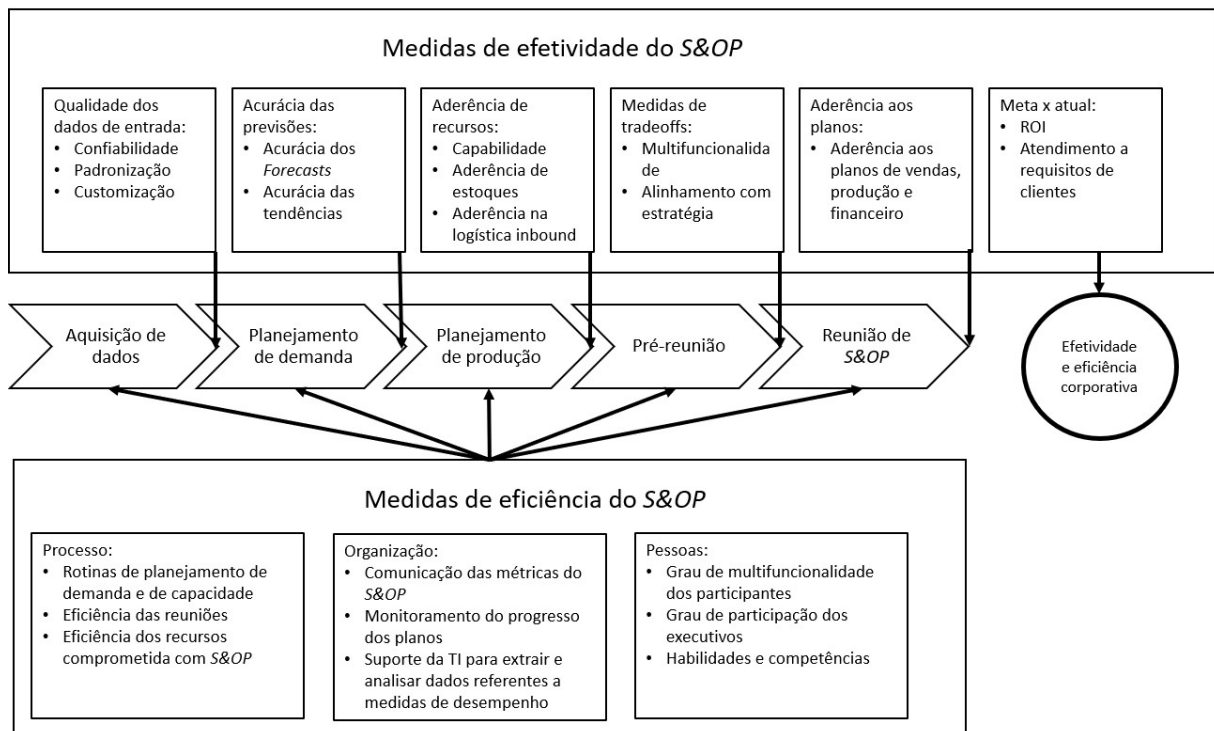
Fonte: Adaptado de Pereira, Oliveira e Carravilla (2020).

O terceiro mecanismo de coordenação diz respeito às ferramentas e dados necessários. De acordo com Grimson e Pyke (2007), nos estágios iniciais de maturidade do processo de *S&OP* o uso de ferramentas mais elaboradas de TI (tecnologia da informação) não se faz necessário. À medida que o processo amadurece, elas passam a ser cada vez mais relevantes. Kristensen e Jonsson (2018) afirmam que, independentemente do estágio de maturidade do processo, em ambientes de elevada complexidade de detalhes o uso de ferramentas sofisticadas de TI é um fator crítico de sucesso para que os resultados esperados sejam alcançados.

Plank e Hooker (2014) analisaram o uso de ferramentas interativas com uso de internet como forma de integração entre os processos de *S&OP* entre fornecedores e clientes ao longo da cadeia de suprimentos. Suas conclusões foram de que este tipo de integração, que é tradicionalmente utilizada na interface com o consumidor final, pode também trazer benefícios para relação *B2B* (*business to business*). Ivert e Jonsson (2014) pesquisaram em quais contextos o uso de ferramentas avançadas de planejamento e controle de produção são necessárias para o suporte adequado ao processo de *S&OP*, tendo concluído que o maior valor é extraído em ambientes altamente complexos e onde os objetivos do processo são audaciosos. Além disso, os autores identificaram que a maturidade do *S&OP* e a maturidade da organização em relação ao uso de ferramentas de TI são fatores críticos de sucesso para uso destes sistemas avançados com sucesso.

O quarto mecanismo de coordenação agrupa as questões relacionadas à medição de desempenho do processo. Tuomikangas e Kaipia (2016) identificaram três tipos de medições de desempenho do processo: desempenho financeiro, desempenho operacional e desempenho do processo. Hulthén, Näslund e Norrman (2016) propõem um *framework* para classificação dos diversos tipos de medição de desempenho existentes, dividindo-as em medições de efetividade (grau de assertividade dos planos no desempenho corporativo) e eficiência (o quão bem o processo é gerenciado). Estes dois tipos de medições são subdivididos em outras medições que se aplicam a diferentes etapas do processo, conforme consta na Figura 11.

Figura 11 - Framework de medições de desempenho no processo de S&OP.



Fonte: Adaptado de Hulthén, Näslund e Norrman (2016).

Damand *et al.* (2019) sintetizaram em seu trabalho as relações de causa e efeito entre os principais parâmetros de ação em uma cadeia de suprimentos e seus efeitos nos principais indicadores de desempenho. Na definição dos autores os parâmetros de ação são as variáveis que são controladas pelos gestores das organizações. Neste estudo, foram mapeados 31 parâmetros de ação e 29 indicadores de desempenho. Os principais parâmetros de ação identificados foram: capacidade, zona congelada de planejamento, regras de priorização de pedidos, tamanhos de lote, mix de produção, estoque de segurança. Dentre os principais indicadores de desempenho estão: utilização da capacidade, custos em geral, tempo de atravessamento, estoque em processo, ROI e nível de serviço.

O quinto mecanismo de coordenação é o alinhamento estratégico, que faz menção ao papel que o processo de S&OP possui de fazer a ligação entre a estratégia e a execução. Goh e Eldridge (2019) demonstram que existe uma correlação forte entre um elevado grau de

alinhamento estratégico e bons resultados nos indicadores de desempenho da cadeia de suprimentos.

O sexto e último mecanismo trata de liderança e cultura. Tuomikangas e Kaipia (2016) definem como fatores críticos de sucesso neste quesito *ownership* do processo por parte da alta direção, assiduidade dos executivos nos encontros, confiança entre as diferentes áreas, comprometimento com os planos e empoderamento dos funcionários garantido pela alta direção.

### **3.2.4 OUTPUTS DO PROCESSO**

Conforme consta no dicionário da *APICS*, o processo de *S&OP* consiste em um método utilizado para o desenvolvimento integrado de planos táticos de diversas áreas da empresa (Blackstone, 2013). É de se esperar, portanto, que uma de seus principais *outputs* seja justamente estes planos integrados entre si. As combinações de planos mais frequentemente encontrada nos trabalhos de pesquisa ocorrem entre a demanda e os planos funcionais, entre o plano de vendas e às previsões de demanda, entre o plano de compras e o plano de suprimentos, e entre o plano de produção e a capacidade disponível (THOMÉ *et al.*, 2012). Os autores afirmam também que a integração de planos financeiros aos demais planos é pouco frequente na literatura. Apesar disto, Grimson e Pyke (2007) definem que o principal objetivo do processo é a otimização do lucro, o que é alcançado através da integração dos diferentes planos táticos da organização.

Além de suportar o alcance dos objetivos financeiros e garantir a integração dos planos das áreas, Thomé *et al.* (2011) definem que o processo também possui como objetivo introduzir melhorias operacionais e melhorias em perspectivas específicas. Estes outros objetivos são alcançados através de outros *outputs* do processo que influenciam positivamente no desempenho da organização. Neste contexto, em seu trabalho os autores encontraram evidências de que o trabalho multifuncional que ocorre durante o processo age no sentido de mitigar os efeitos negativos do desalinhamento que existe entre as estruturas organizacionais.



Além disso, a comunicação formal e informal que é fomentada pelo processo *S&OP*, além das redes de trocas de informações entre as áreas melhora o desempenho global da empresa. Por fim, este alinhamento age como um facilitador da integração na cadeia de suprimento, com fornecedores e clientes.

### **3.2.5 NÍVEIS DE MATURIDADE DO *S&OP***

É consenso entre estudiosos e entre os envolvidos com *S&OP* dentro das empresas que o nível de maturidade da organização exerce grande influência sobre o seu desenho (KRISTENSEN e JONSSON, 2018), e que mudanças neste design são necessárias à medida que esta maturidade vai evoluindo para níveis mais avançados. A forma com que os níveis de maturidades impactam no *S&OP* depende das variáveis de contexto, tanto internas quanto externas, ou seja, existe uma influência mútua entre o desenho do *S&OP*, o nível de maturidade e as variáveis de contexto.

Conceitualmente as origens do processo *S&OP* remontam para um processo denominado de planejamento agregado de produção surgido no início da década de 1950 (THOMÉ et al., 2012), que no início da década de 1980 evoluiu para *MRPII* (Planejamento de Recursos da Manufatura – *Manufacturing Resource Planning*). Desta forma, *S&OP* surgiu dentro das organizações que utilizavam *MRPII* como uma maneira de melhor integrar vendas com operações.

Neste contexto, o conceito de nível de maturidade pode ser definido como a capacidade que a organização possui de implementar um portfólio de iniciativas ou projetos consistentemente de forma eficiente e efetiva (VEREECKE et al., 2018). Nesta definição, a maturidade se refere ao potencial que a organização tem de alcançar determinados objetivos, e não se estes objetivos já foram alcançados. A maturidade do processo de *S&OP* é, portanto, a capacidade que o processo possui de atingir os resultados esperados em um determinado contexto (maiores graus de integração entre os planos, impactos na otimização do lucro e melhorias operacionais).

Além de definirem o conceito de maturidade, os autores justificam a necessidade de existirem modelos para avaliação de maturidade pautados em três aspectos: identificar o estado atual de maturidade, apontar linhas gerais para que se atinja níveis de maturidade mais elevados e permitir o *benchmark* entre organizações. Desta forma, o uso destes modelos pode auxiliar as empresas a melhorarem seu desempenho, além de fornecerem dados úteis para pesquisas acadêmicas a respeito de padrões de melhoria e insights sobre fatores de sucesso de projetos de melhorias empresariais.

O interesse no estudo e desenvolvimento destes modelos começou com o artigo pioneiro de Wing e Perry (2001). O foco do modelo estava nos sistemas de TI utilizados, de forma que os autores estabeleceram como estágios sucessivos de maturidade uma solução de planejamento integrado implementada dentro da organização, a integração com parceiros da cadeia de suprimentos e, por fim, a criação de uma rede integrada com os sistemas de TI destes parceiros.

O modelo desenvolvido por Lapide (2005) apresenta três dimensões de análise de maturidade que devem ser verificadas: reuniões, alinhamento entre vendas e operações, e sistemas de informação utilizados no processo. Estas dimensões podem ser classificadas nos níveis de maturidade de processo rudimentar, processo clássico e processo ideal. Neste modelo, processo ideal se refere a um processo perfeito, que é inatingível na prática, mas serve como um guia para as empresas seguirem em direção à melhoria contínua.

A partir deste trabalho, diversos modelos de avaliação de maturidade surgiram na literatura, tendo em comum entre eles a definição de certas dimensões do processo que devem ser avaliadas, e diferentes estágios de evolução que podem ser atingidos em cada uma destas dimensões (THOMÉ et al., 2012). Estes modelos constam no resumo apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Resumo dos modelos de avaliação de maturidade de S&OP.

Referência	Número de estágios	Dimensões
Wing e Perry (2001)	Três	-
Lapide (2005)	Quatro	Reuniões (i), integração entre vendas e operações (ii) e sistemas de informação utilizados (iii)
Ventana Research (2006)	Quatro	Pessoas (i), processos (ii), tecnologia (iii) e medição de desempenho (iv)
Grimson e Pyke (2007)	Cinco	Reuniões e colaboração (i), organização (ii), métricas (iii), sistemas de informação (iv) e integração de planos (iv)
Feng <i>et al.</i> (2008)	Três	Vendas (i), suprimentos (ii), produção (iii) e distribuição (iv)
Viswanathan (2009)	Três	Nível de serviço (i), ciclo financeiro (ii) e acurácia média da previsão de demanda (iii)
Cecere <i>et al.</i> (2009)	Quatro	Equilíbrio entre demanda e capacidade (i), objetivos do processo (ii), senso de propriedade (iii) e métricas (iv)
Wagner <i>et al.</i> (2014)	Cinco	Efetividade (i), eficiência (ii), pessoas e organização (iii) e sistemas de informação (iv)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Vereecke *et al.* (2018) mais recentemente elaboraram um trabalho que propõe um modelo para avaliação de maturidade do processo de planejamento de demanda, que na visão dos autores consiste na pedra fundamental do processo de S&OP. Neste modelo as dimensões relevantes analisadas são gerenciamento de dados, uso de técnicas de *forecast*, sistema de *forecast*, gestão de desempenho, gestão de pessoas e organização. Além disso, os autores conceitualizam que a maturidade pode ser avaliada em quatro diferentes níveis: planejamento de demanda, processo de S&OP, cadeia de suprimentos e do negócio com um todo.

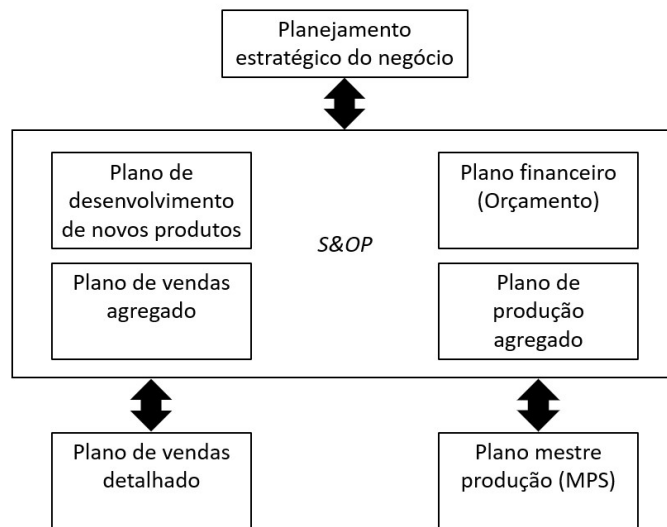
Por fim, cabe uma discussão a respeito sobre Planejamento Integrado do Negócio (IBP), que conforme Bower (2012) se trata de S&OP em nível de maturidade mais avançado. Em comum, os modelos de maturidade elaborados por diferentes autores definem o estágio mais evoluído do processo como sendo baseado em máxima integração e visibilidade entre os agentes da cadeia de suprimentos, tanto dentro como fora da organização.

Apesar de dentro da academia *IBP* ser considerado como um estágio mais maduro de *S&OP*, em diversos artigos e documentos encontrados na chamada literatura cinza este processo é tratado como algo diferente de *S&OP* (SCHLEGEL, BIRKEL E HARTMANN, 2020). Por exemplo, Toor e Dhir (2011) definem *IBP* com sendo o agrupamento de tecnologias, aplicações e processos utilizados para integrar o planejamento de toda a organização com o objetivo de aprimorar o alinhamento organizacional e o desempenho financeiro. Uma vez que o planejamento geral da organização esteja baseado nestas premissas, estará estabelecido o alinhamento entre os planos estratégicos e táticos. Já na definição de James (2019), *IBP* é um processo que utiliza metas específicas de negócio para definir requisitos específicos operacionais e financeiros com o objetivo de mitigar riscos e de maximizar o fluxo de caixa e o lucro.

### **3.3 ABORDAGENS PARA ELABORAÇÃO DE PLANOS AGREGADOS DE PRODUÇÃO**

Da revisão da literatura, encontram-se alguns conceitos gerais orientativos para elaboração de planos agregados de produção. De acordo com Correia, Giansi e Caon (2019), o plano agregado de produção é um produto do processo de *S&OP*, conforme representado na Figura 12. Nesta abordagem, definem-se estratégias genéricas para elaboração dos planos, interações entre os parâmetros de *S&OP* e os resultados esperados.

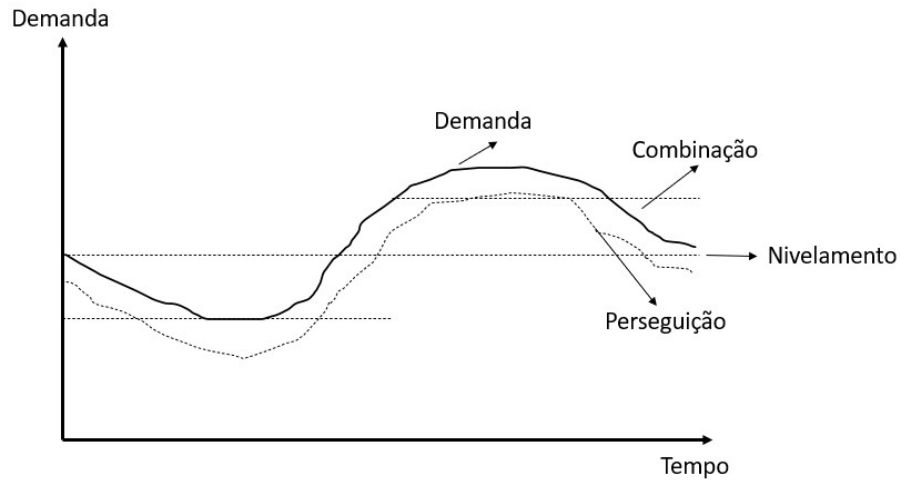
Figura 12 - Relação do plano agregado de produção com o processo S&OP.



Fonte: Adaptado de Corrêa, Giancesi e Caon (2019).

Chopra e Meindl (2007) explicam que existem basicamente duas estratégias genéricas utilizadas para elaboração de um plano agregado de produção: nivelamento ou perseguição. Na estratégia de nivelamento a capacidade interna da empresa é mantida constante e os estoques são utilizados para amortecer as variações na demanda, e na estratégia de perseguição a capacidade é alterada constantemente de forma a se equalizar com a demanda. Geralmente as organizações utilizam uma combinação das duas estratégias, variando o grau de nivelamento a ser utilizado para cada unidade de agregação. Estas estratégias são representadas graficamente na Figura 13.

Figura 13 - Estratégias utilizadas no planejamento agregado de produção.



Fonte: Adaptado de Chopra e Meindl (2007).

Além destas estratégias genéricas, em geral as empresas se valem também de outras estratégias específicas para tentar concatenar o plano agregado de produção com a demanda (HEIZER, RENDER e MUNSON, 2017). Diferentes estratégias específicas apresentam diferentes vantagens e desvantagens, e este comparativo está ilustrado no Quadro 5.

Quadro 5 - Estratégias específicas utilizadas na elaboração do plano agregado.

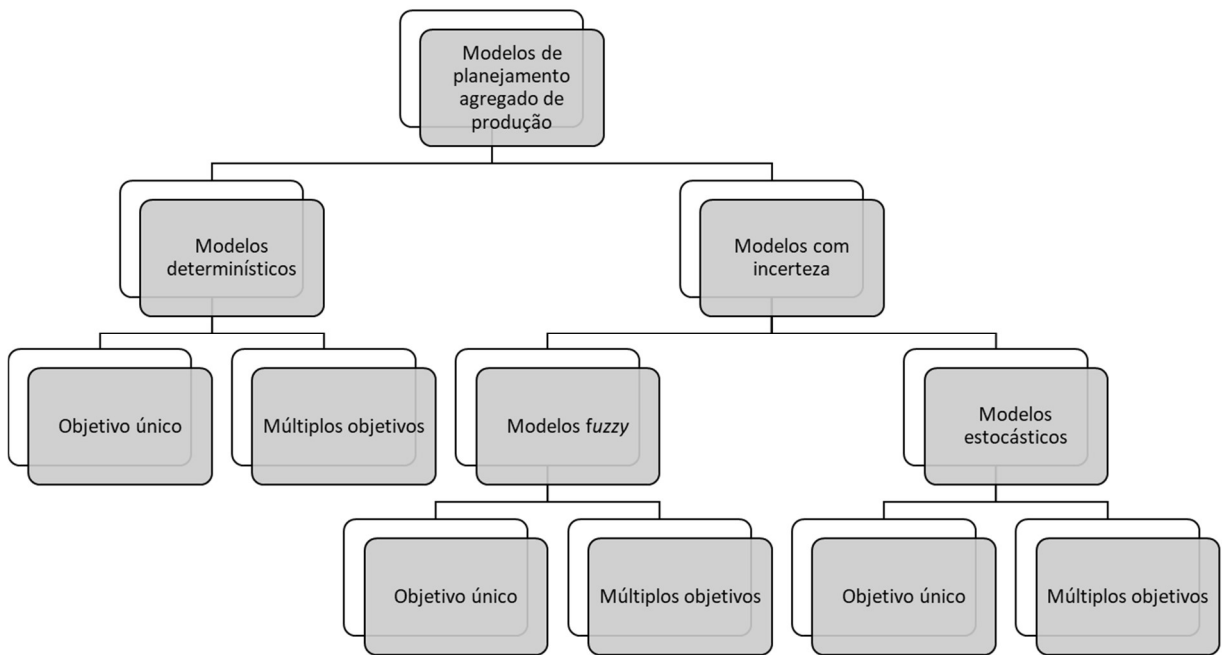
Opção	Vantagens	Desvantagens	Comentários
Alterar níveis de estoques	Gera mínimas alterações no nível de produção e nos requisitos de mão de obra	Custos de estoques podem aumentar e podem ocorrer vendas perdidas	Aplicável a à produção, e não aplicável a serviços
Variar força de trabalho	Evita custos das outras alternativas	Custos de contratação, demissão e treinamento	Utilizado em ambientes com elevado número de funcionários
Variar produção com horas extras ou ociosidade nos postos de trabalho	Concatena-se com sazonalidade da demanda sem custos adicionais	Desgaste na força de trabalho	Permite flexibilidade no plano agregado
Subcontratação	Permite flexibilidade e suaviza as saídas da empresa	Perda de qualidade, perda de rentabilidade, perda de negócios futuros	Aplicável a conjuntos de produção
Utilização de trabalhadores em tempo parcial	Custo menor e flexibilidade maior em comparação com trabalhos em tempo integral	<i>Turn over</i> elevado, custos de treinamentos, dificuldades de programação	Adequado para trabalhos simples
Influenciar a demanda	Permite utilizar capacidade disponível, descontos atraem novos clientes	Incerteza na demanda, difícil concatenar demanda e capacidade	<i>Overbooking</i> é utilizado em alguns mercados
Permitir <i>backlog</i> em momentos de elevada demanda	Evita horas-extras, mantém capacidade constante	Imagem da empresa pode ser afetada	Muitas companhias trabalham com <i>backlog</i>
Produção contra-sazonal	Utiliza recursos ao máximo, reduz variações na mão-de-obra	Pode necessitar de equipamentos e habilidades fora da <i>expertise</i>	Risco associado à produção antecipada

Fonte: Adaptado de Heizer, Render e Munson (2017).

Em diversos trabalhos, o foco está em modelar o problema de definição do plano agregado de produção utilizando notação matemática, e então resolver este problema em busca das variáveis de decisão do modelo que conferem à função objetivo uma solução ótima, que geralmente envolve minimização de custos ou maximização de lucros (CHERAGHALIKHANI, KHOSHALHAN e MOKHTARI, 2019). As questões básicas que são abordadas em praticamente qualquer modelo de plano agregado são: demanda do mercado, inventários, pedidos em atraso, capacidade de produção, espaço em estoque, custos de produção, subcontratação, custos de contratação e demissão, quantidade de mão-de-obra e preço dos produtos. Desta forma, os autores propõem dois esquemas distintos para classificação dos modelos utilizados para elaboração de planos agregados de produção.

No primeiro deles, a categorização é realizada através das diferentes estruturas que os modelos podem ter, em termos da quantidade de objetivos que o modelo possui, se o modelo considera ou não incerteza, e a forma com que esta incerteza é tratada. Na Figura 14 as seis estruturas possíveis de modelo estão representadas.

Figura 14 - Estruturas possíveis de modelos de plano de agregado de produção.



Fonte: Adaptado de Cheraghalikani, Khoshalhan e Mokhtari (2019).

Quanto aos objetivos, os modelos são separados entre aqueles que possuem um único objetivo e aqueles que possuem múltiplos objetivos (que geralmente ocorrem na prática, onde múltiplos objetivos concorrem entre si). Quanto aos modelos que consideram incerteza, os mesmos podem ser subdivididos em modelos estocásticos e em modelos *fuzzy*.

De acordo com Torabi, Ebadian e Aminlouei (2010), diferentemente dos modelos estocásticos que utilizam funções probabilísticas para representar a incerteza, os modelos *fuzzy* baseiam-se na teoria dos conjuntos *fuzzy*. Nesta abordagem a incerteza é modelada sob a forma de imprecisão, e os valores numéricos das variáveis são matematicamente representados como



estando próximos do valor desejado. Os autores explicam a superioridade desta abordagem em comparação com o uso de funções probabilísticas, pois na maior parte dos casos as funções de densidade de probabilidade das grandezas envolvidas no ambiente industrial não são conhecidas, o que torna o uso de funções de probabilidade mais distantes do comportamento real das variáveis.

O segundo esquema de classificação proposto por Cheraghalikani, Khoshalhan e Mokhtari (2019) é baseado no conceito de questões importantes. Nesta definição, além das questões básicas que praticamente todo modelo considera, existem uma classe de questões importantes que são abordadas em alguns modelos, sendo elas:

- Múltiplas famílias de produto – Modelos que consideram mais de uma família de produto;
- Características do trabalho – Aspectos específicos relacionados à mão-de-obra sendo eles a curva de aprendizado dos trabalhadores, competências para executar determinadas tarefas, restrições legais, treinamento (tempo e custo), taxa de utilização da mão-de-obra e nível constante de número de trabalhadores (aspectos como a motivação que impedem grandes oscilações na quantidade de trabalhadores contratados);
- Grau de satisfação do tomador de decisão – Refere-se a certas condições nos modelos que quando atingidas se refletem em satisfação dos gestores do sistema;
- Características do produto – As principais características que aparecem nos modelos são ciclo de vida, validade, produtos defeituosos e nível de satisfação dos clientes;
- Decisões de *setup* – Consideram o impacto dos tempos de preparação no modelo;
- Múltiplas plantas – A alocação dos pedidos pode ser realizada em diferentes plantas;
- Valor do dinheiro do tempo – Modelos que levam em consideração a desvalorização do capital;

- Utilização de ativos – Em alguns casos pode ser importante maximizar a utilização das máquinas e equipamentos;
- Conceitos financeiros - Casos em que existem restrições financeiras a serem consideradas;
- Cadeia de suprimentos – A função objetivo procura otimizar os retornos da cadeia de suprimentos como um todo;
- Múltiplos mercados – Em algumas situações, o mesmo produto pode ser utilizado para atender às demandas de múltiplos mercados.

Por outro lado, Pereira, Oliveira e Carravilla (2020) elaboraram através de uma revisão sistemática da literatura uma outra forma de categorizar estes modelos. Na visão dos autores, eles são classificados de acordo com o método de modelagem empregado, conforme segue:

- Programação linear e programação linear inteira – Possuem uma função objetivo e são geralmente passíveis de serem resolvidos através de *softwares* disponíveis comercialmente;
- Programação não-linear – Possuem uma função objetivo não-linear, que em geral se trata do produto do preço pela quantidade vendida;
- Programação multi-objetivo – Possuem mais de um objetivo considerado no modelo. Além de minimização de custo ou maximização do lucro, níveis de serviço e tempos de entrega podem ser adicionados como objetivos complementares, por exemplo;
- Abordagens que consideram incertezas – As abordagens encontradas na literatura utilizam-se de programação *fuzzy*, programação estocástica, programação dinâmica estocástica e otimização robusta;
- Procedimentos de solução – Diversos trabalhos utilizam-se de heurísticas para resolver os modelos propostos, dado que em muitos casos o tempo necessário para que os *softwares* disponíveis comercialmente os resolvam não é viável na prática;

- Programação dinâmica e outras abordagens – Além do uso de programação dinâmica, o uso combinado de simulação e otimização aparece com frequência em trabalhos mais recentes (WERY *et al.*, 2017; AIASSI *et al.*, 2020; GARCÍA e GARCÍA, 2021).

À parte dos diversos trabalhos que desenvolvem alguns dos problemas importantes definidos por Cheraghalikani, Khoshalhan e Mokhtari (2019), em seu estudo Gansterer (2015) explorou os impactos do uso de planos agregados de produção no sistema de planejamento e controle da produção em um ambiente *MTO*. Suas conclusões foram de que os resultados positivos são diretamente proporcionais a volatilidade da demanda e às restrições de capacidade, ou seja, se uso seria mais justificado em ambientes altamente voláteis com restrições severas de capacidade. Em outro extremo, em ambientes de excesso de capacidade sobrando o uso deste tipo de modelagem seria mero desperdício de recursos.

Vogel, Lobo e Almeder (2017) estudaram uma comparação entre o modelo tradicional de planejamento e controle da produção, onde o plano agregado de produção é tratado separadamente do plano mestre de produção, com uma abordagem de plano integrado. A otimização dos diferentes modelos em ambientes de simulação teóricos demonstrou a superioridade da segunda abordagem. Os principais *insights* obtidos através da simulação foram o fato de que a abordagem integrada reduziu o número de *setups*, teve seus resultados muito menos degradados quando o erro das previsões de demanda aumentou e apresentou menores custos quando submetida a efeitos de sazonalidade na demanda.

### **3.4 TEORIA DAS RESTRIÇÕES**

De acordo com Eliyahu Goldratt, idealizador da Teoria das Restrições, ela pode ser definida em uma palavra: foco (GOLDRATT, 2010). Conforme explicado pelo autor, na maioria dos sistemas existentes um pequeno número de elementos governa a maior parte do resultado (o que é conhecido como Princípio de Pareto). Além disso, quanto maior o nível de interdependência entre os elementos do sistema, mais extrema será a situação, resultando em um número muito pequeno de elementos sendo responsáveis pela maior parte do resultado. Isto

posto, a Teoria das Restrições fornece meios para que se estabeleça foco nestes elementos que respondem pela maior parte do resultado, os quais são denominados de restrições.

As definições apresentadas acima são bastante genéricas. Aplicando-as em ambientes de produção, onde a teoria foi inicialmente desenvolvida e aplicada, estas restrições são denominadas gargalos (BLACKSTONE, 2010). Em um processo produtivo, a estação de trabalho com a menor capacidade de produção é o gargalo, e a capacidade produtiva total do sistema é determinada pelo gargalo (em casos em que capacidade de produção é superior à demanda, o gargalo é o mercado). Dito de outra forma, conforme Goldratt (p. 47, 2010, tradução livre) “uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro; uma hora ganha em um não-gargalo é uma miragem”.

Cabe ressaltar que os conceitos e soluções da Teoria das Restrições foram desenvolvidos utilizando um método denominado de Processo de Raciocínio (MABIN e DAVIES, 2010). O Processo de Raciocínio é um método padronizado para análise e solução de problemas complexos e não estruturados, baseado em relações de causa e efeito. Este método pode ser utilizado nos mais variados ambientes, não apenas em operações de produção. De qualquer forma, utilizando-se deste método, os precursores da Teoria das Restrições desenvolveram os cinco passos de focalização, que são os princípios centrais da Teoria da Restrições aplicados a operações e que determinam como elas devem ser gerenciadas (SRIKANTH, 2010):

a) Identificar (ou escolher) a restrição do sistema: Em um ambiente de gestão de operações, a restrição do sistema poderá estar na produção, e se este for o caso, a restrição será um limite de capacidade produtiva em um determinado recurso. Quando este for o caso, a forma mais simples de identificá-la será verificar a carga de trabalho (incluindo os *setups*) em cada recurso decorrente da demanda de mercado. No entanto, apesar de simples, em diversos casos este método falha em função das complexidades envolvidas no mundo real. Por isso, considerando que a definição da restrição do sistema irá influenciar a gestão do negócio como um todo, aspectos estratégicos devem necessariamente estar envolvidos nesta decisão. De qualquer forma, o recurso mais carregado do sistema é denominado recurso crítico de capacidade (RCC), mesmo quando a restrição se encontra em outro local do sistema (demanda de mercado, por exemplo);

b) Decidir como explorar a restrição do sistema: Explorar a restrição significa maximizar seu desempenho no que se refere às métricas globais operacionais da Teoria das Restrições, que são *throughput* (taxa de transferência), inventário e despesa operacional. Especificamente, é preciso maximizar o *throughput* enquanto se gerencia o inventário e a despesa operacional de forma eficiente. A maximização do *throughput* ocorre eliminando-se desperdícios de capacidade produtiva, como por exemplo número excessivo de *setups*, quebras de equipamento e a utilização da restrição para produzir produtos que não irão atender à demanda imediata do mercado. Além da eliminação dos desperdícios na restrição, ela deve ser protegida com algum tipo de pulmão, que garanta que distúrbios nos processos que ocorrem antes da restrição não a afetem;

c) Subordinar todo sistema à decisão acima: Uma vez que a restrição de capacidade foi identificada e políticas para garantir sua máxima utilização foram colocadas em prática, a próxima etapa é garantir que todos os demais recursos do sistema se dedicam a executar atividades que garantem que o fluxo na restrição seja suportado adequadamente. Esta é a etapa mais desafiadora no que tange à colocação da metodologia em prática, uma vez que é preciso definir a forma de gerenciar todos os demais recursos que não são restrições;

d) Elevar a restrição do sistema: Depois que os três passos iniciais foram implementados, o sistema já está operando no seu máximo potencial, com o *throughput* maximizado pelas políticas de gestão da restrição e com os desperdícios minimizados devido ao sistema estar subordinado à restrição. Neste estágio, a única forma de aumentar o desempenho do sistema é elevando o desempenho da restrição;

e) Se nos passos anteriores a restrição for quebrada, voltar ao passo inicial: A última etapa refere-se à implementação do círculo de melhoria contínua, ou seja, sempre que uma restrição for quebrada, uma nova restrição surgirá no sistema, e formas de gerenciá-la deverão ser desenvolvidas.

Hopp e Spearman (2000) exploram em seu trabalho, que não é um estudo dedicado à *TOC*, as relações que existem entre o *throughput* do gargalo e *throughput* do sistema. Os autores evidenciam que as melhorias de *throughput* devem ser sempre priorizadas no gargalo, mas que em muitos casos esta não é uma alternativa viável (como no caso de máquinas de processamento

de produtos químicos em que o *throughput* é governado pelo tempo das reações químicas, de forma que a única alternativa é a compra de outro equipamento, o que é na maioria das situações reais é impraticável). Nestas situações, os autores demonstram que alterações em recursos que não são o gargalo são capazes de melhorar o *throughput* do sistema. Apesar de isto parecer ser um contrassenso, o método *DBR* apresentado na próxima subseção demonstra como e porque isto faz sentido.

### 3.4.1 MÉTODO *DBR*

Conforme explicado por Backstone (2010), a aplicação dos cinco passos de focalização deu origem ao método *Drum-Buffer-Rope* (Tambor-Pulmão-Corda), também chamado de método *DBR*, que consiste em uma forma aplicada destes conceitos ao planejamento e controle da produção. Do primeiro passo decorre à determinação do tambor, que é o gargalo do sistema e irá determinar seu *throughput* (a utilização do termo tambor remete ao fato de que o gargalo irá determinar o ritmo do sistema). Da aplicação do segundo passo advém o conceito de um pulmão, ou seja, é necessária a existência de uma reserva de proteção antes da restrição para que, caso algum imprevisto afete seu desempenho, o fluxo seja mantido sem afetar o *throughput*. Por fim, o conceito da corda representa a subordinação de todo sistema ao gargalo, definindo que os recursos que estão à montante da restrição devem ser puxados (evitando assim o desperdício da super produção).

Três aspectos da Teoria das Restrições são fundamentais para entender a lógica do método *DBR* (SCHRAGENREIM, 2010). O primeiro aspecto refere-se aos cinco passos de focalização. O segundo aspecto diz respeito à diferença existente entre o planejamento e controle da produção executado em um ambiente com incerteza, em comparação com um ambiente determinístico. A relevância deste aspecto é reforçada por Srikanth (2010), que explica que a maior parte dos ambientes produtivos está sujeita a um grau elevado de flutuações aleatórias, além de possuírem um elevado grau de dependência entre as diferentes etapas do processo (exemplos são o uso de um mesmo recurso por diferentes produtos e relações de precedência entre uma etapa e outra). Como consequência destes fatos, sempre ocorrerão

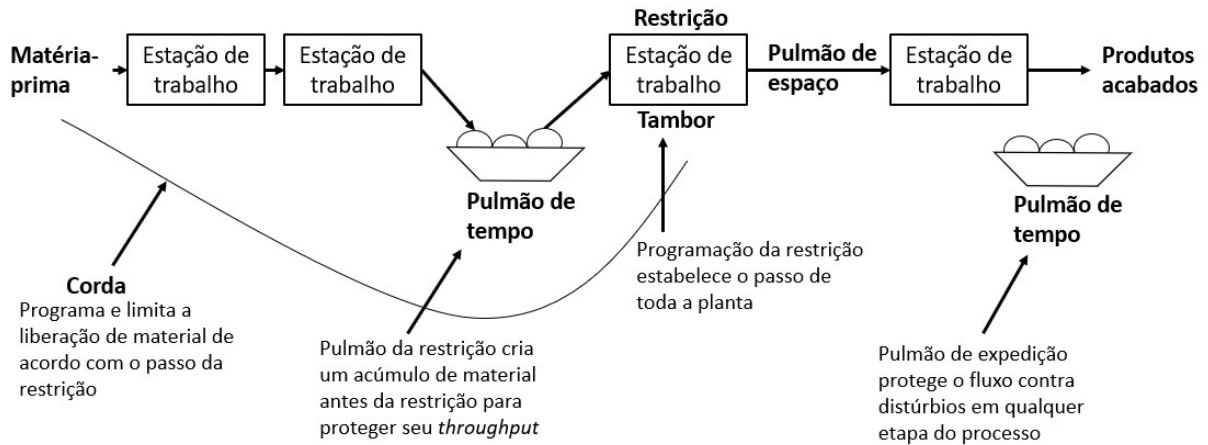
alterações entre o que foi planejado e o que realmente será executado, de forma que quanto mais complexo for o sistema, menor será a utilidade de um planejamento otimizado pois invariavelmente as condições de contorno consideradas irão se alterar durante a fase de execução do plano.

Por fim, o terceiro aspecto refere-se ao foco no fluxo. A ênfase no fluxo, ao contrário de uma ênfase nos recursos, está presente tanto no desenvolvimento do conceito de linha de produção idealizada por Henry Ford quanto no conceito da Sistema Toyota de Produção (GOLDRATT, 2009). A aplicação prática da ênfase no fluxo pode ser resumida em quatro conceitos:

- a) Melhorar o fluxo (ou de forma equivalente *lead time*) é um objetivo primário de qualquer operação;
- b) O objetivo primário deve ser traduzido em um mecanismo prático capaz de guiar a produção sobre quando não produzir (prevenir a superprodução);
- c) As eficiências locais devem ser abolidas, pois o que importa é a eficiência global do sistema;
- d) Um processo de focalização para balancear o fluxo deve estar presente.

Baseado nos três conceitos apresentados acima, o método *DBR* determina um passo-a-passo para o planejamento e o controle da produção. Uma representação do método consta na Figura 15.

Figura 15 - Representação do método DBR.



Fonte: Adaptado de Srikanth (2010).

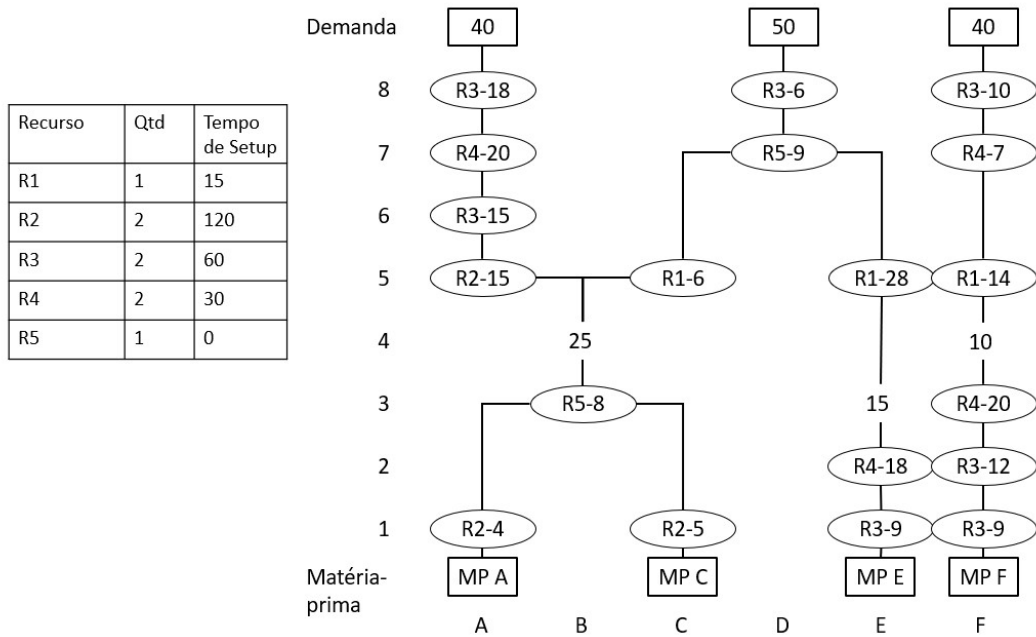
### 3.4.1.1 TAMBOR

O primeiro passo é a determinação do tambor, que considera as restrições do sistema e os compromissos da empresa com o mercado para determinar o ritmo do sistema (SCHRAGENREIM, 2010). Para determinar este ritmo, é preciso verificar a carga de trabalho no gargalo do sistema, sendo a mesma definida como a quantidade total de trabalho que precisa ser executado para atender à demanda em um determinado período. Tendo esta carga de trabalho definida, é preciso então determinar sua sequência de execução e os tamanhos de lote, cujos procedimentos para sua determinação dependem do processo produtivo em questão. Isto dará origem a um plano mestre para a restrição do sistema.

Uma ferramenta útil nesta tarefa é o diagrama *PF*D (Product Flow Diagram – Diagrama de Fluxo de Produtos). Através do uso desta ferramenta os fluxos de materiais são destacados, em linha com o princípio da ênfase no fluxo que embasa o método *DBR*. Nesta representação os roteiros de produção são apresentados desde as matérias-primas utilizadas até os produtos acabados, destacando a quantidade de tempo e os recursos necessários em cada etapa de processamento (Figura 16).



Figura 16 - Representação de um PFD.



Fonte: Adaptado de Srikanth (2010).

Além dos tempos de processamento e dos recursos necessários para cada etapa do processamento, no *PFD* também são apresentados os tempos de *setup* associados a cada recurso, a quantidade de recursos disponíveis e a demanda existente para cada produto. Com estas informações a organização tem condições de determinar um plano mestre de produção para seus RCC, e por consequência o passo (*throughput*) do sistema.

### 3.4.1.2 PULMÃO

O passo seguinte do método é a definição dos pulmões. Para justificar a necessidade de um pulmão, Goldratt (2009) explica que, devido à existência inerente da aleatoriedade em todos os processos, o tempo de atravessamento de um pedido nunca será igual à soma dos tempos de processamento com os tempos de *setup*. Desta forma, a única forma de fazer com que o tempo de atravessamento planejado não seja inferior ao tempo de atravessamento realizado é adicionando um tempo extra de segurança aos tempos de processamento e de *setups*.

Este tempo de segurança é chamado de pulmão de tempo, e é a base da segunda etapa do método *DBR*. Em geral, o tempo de atravessamento considerado nesta aplicação refere-se ao tempo entre a liberação de matéria-prima e a expedição do pedido (em um ambiente *MTO*) ou a chegada no estoque (em um ambiente *MTS*).

O objetivo do pulmão de tempo é proteger o *throughput* do sistema como um todo de distúrbios não planejados no processo, ao invés de proteger estações de trabalho individuais (como ocorre no *JIT* com os estoques intermediários do sistema *Kanban*, por exemplo). Na prática, o pulmão de tempo representa o quão antecipadamente as matérias-primas são liberadas para o sistema, em relação a um cenário isento de distúrbios (onde o tempo de atravessamento é composto somente pelos tempos de processamento e tempos de *setups*). Ao liberar matérias-primas antecipadamente para o sistema, o pulmão de tempo poderá naturalmente assumir a forma de um acúmulo de ordens de produção antes do RCC (pois as etapas anteriores de processamento possuem capacidade superior), bem como um acúmulo de produtos acabados no final do processo (considerando que o processamento foi iniciado antecipadamente). Isto pode ser verificado na Figura 15.

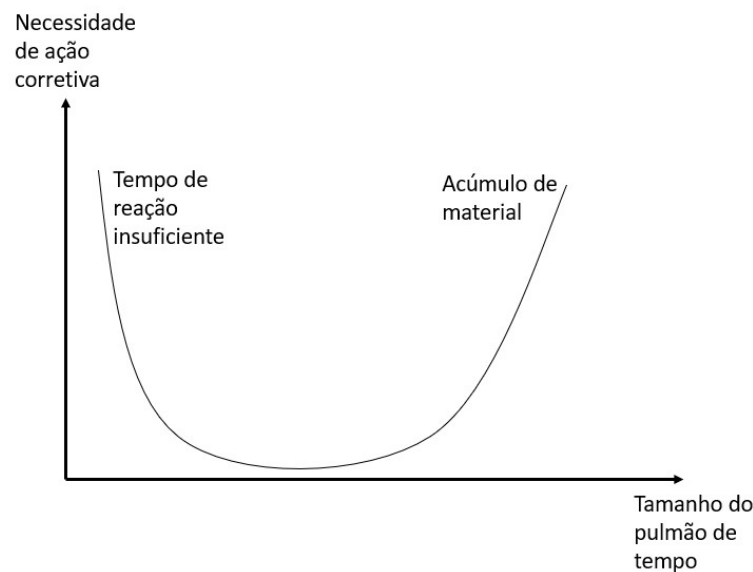
Através de uma abordagem diferente, Hopp e Spearman (2000) também apresentam embasamento para a necessidade de pulmões nos sistemas produtivos. Os autores argumentam que a existência de variabilidade sempre irá degradar o desempenho dos sistemas produtivos, e que para se proteger desta variabilidade as empresas precisam adotar pulmões de tempo, capacidade ou de estoque.

O conceito de pulmão de tempo em si é intuitivo. Por outro lado, a determinação do tamanho do pulmão de tempo pode parecer uma tarefa complexa que requer um conhecimento detalhado dos tipos de distúrbios que ocorrem em cada etapa do processo. Além disso, a determinação do tamanho adequado do pulmão de tempo é extremamente crítica, já que caso seja muito elevado irá criar longos acúmulos de ordens de produção, e caso seja muito pequeno irá impactar nas entregas.

Na prática, no entanto, o procedimento padrão adotado no método *DBR* assume que os tempos de atravessamento planejados pelas empresas geralmente já incluem uma grande quantidade de pulmão de tempo, ou seja, são muito maiores que a soma dos tempos de

processamento e de *setups*. Além disso, assume-se também que o esforço para se manter o fluxo de maneira adequada é pouco sensível a variações no tamanho do pulmão de tempo, conforme consta representado na Figura 17. Desta forma, a recomendação para a determinação inicial do pulmão de tempo é utilizar metade do tempo de atravessamento atualmente realizado pela organização.

Figura 17 - Esforço para manter o fluxo versus tamanho do pulmão de tempo.



Fonte: Adaptado de Goldratt (2009).

A procedimento padrão descrito acima não é, contudo, a única forma existente para determinar o tamanho do pulmão de tempo. Alghamdi e Weheba (2016) exploraram metodologias de dimensionamento dos pulmões de tempo existentes na literatura, classificando-as em dois tipos: abordagens heurísticas e abordagens quantitativas.

Além dos pulmões de tempo utilizados no método *DBR*, existem outros três tipos de pulmões que são utilizados na gestão das cadeias de suprimento. Apesar do método ser baseado no conceito de pulmão de tempo, os demais tipos de pulmão desempenham papel relevante na gestão do sistema como um todo:

a) Pulmão de capacidade: A capacidade de cada recurso pode ser dividida em capacidade produtiva (necessária para o atendimento da demanda do sistema como um todo), capacidade protetiva (também chamada de pulmão de capacidade, que é necessária quando alguma variação põe em risco o *throughput* geral do sistema), e capacidade excessiva (capacidade existente nos recursos além da capacidade protetiva);

b) Pulmão de material: Estoques mantidos para proteger o *throughput* do sistema, podendo assumir a forma de matéria-prima, estoque em processo ou produto acabado. Não devem ser confundidos com os acúmulos decorrentes dos pulmões tempo (antes da restrição e antes da expedição);

c) Pulmão de espaço: Espaço físico após o RCC que possui a finalidade de acomodar sua saída de material em caso de uma parada na estação de trabalho à jusante, evitando um bloqueio no fluxo.

### 3.4.1.3 CORDA

O último item do método *DBR* é a corda, que é um mecanismo utilizado para controlar o fluxo através do sistema, controlando o fluxo apenas em um pequeno número de pontos no processo, conforme Srikanth (2010). O desafio é garantir que os recursos executem as tarefas corretas na sequência correta e no momento correto, e para atingir este objetivo a abordagem do método *DBR* através da corda é restringir o material disponível ao mínimo necessário e definir regras para sequenciamento e programação apenas aonde for estritamente necessário. Estas regras para determinação da corda podem se resumidas da seguinte forma:

a) Fornecer uma programação detalhada para os pontos de liberação de matéria-prima baseada nas necessidades definidas pelo tambor. Os momentos de liberação de material devem ser determinados considerando os tempos de processamento e *setups* até o RCC, acrescidos do pulmão de tempo;

b) Uma vez que a etapa anterior seja executada, apenas o material correto para ser processado estará disponível para ser utilizado na maior parte das estações de trabalho. Nas estações que não são RCC, quando existir mais de uma ordem de produção na fila de espera, a ordem de processamento será irrelevante, e, portanto, alguma regra simples de sequenciamento será suficiente para determinar a sequência de produção, como por exemplo uma regra *FIFO* (*First In First Out* – Primeiro a Entrar / Primeiro a sair);

c) Pontos de divergência (onde uma estação pode produzir mais de um tipo de item) e de convergência no *PCD* (onde ocorre a montagem de dois ou mais itens) necessitarão de uma programação de produção. Apesar de que o momento de produção será determinado pela disponibilidade de material no recurso, o que produzir, a quantidade e a ordem de prioridades precisarão ser determinadas;

d) O RCC do sistema deverá ser programado quando o impacto dos *setups* na capacidade for relevante, para que seu *throughput* seja maximizado. Caso contrário, é possível deixar que ele opere apenas com base na disponibilidade de material;

e) O ponto de expedição em ambientes *MTO* ou de estoque de produto acabado em ambientes *MTS* também precisam de uma programação, sendo este o ponto de controle mais importante do fluxo, já que é através dele que se verifica o atendimento aos compromissos assumidos com os clientes. Baseado nesta programação é que opera o gerenciamento de pulmões, que é o mecanismo de controle de execução do sistema *DBR* que consta detalhado na próxima subseção.

#### **3.4.1.4 GERENCIAMENTO DE PULMÕES**

Ao ser implementado, o método *DBR* garante uma boa proteção para o fluxo contra distúrbios não planejados, entretanto, ainda assim eventualmente podem ocorrer desvios além do nível aceitável com alguns pedidos que irão necessitar uma ação corretiva por parte dos gestores (SCHAGENREIM, 2010), como por exemplo o uso de rotas alternativas de produção, alteração na regra de prioridades ou liberação de horas-extras. Isto justifica a necessidade de

um mecanismo de controle de execução que deve ser implementado em conjunto com o método *DBR*, denominado de gerenciamento de pulmões.

O gerenciamento de pulmões consiste em um monitoramento da quantidade de tempo consumida por cada ordem de produção contado a partir do momento em que as matérias-primas são liberadas (denominado tempo disponível), comparada com o tempo total de atravessamento planejado, que inclui tempos de processamento, tempos de *setups* e pulmão de tempo (denominado tempo de atravessamento padrão). A razão entre o tempo disponível dividido pelo tempo de atravessamento padrão é denominada estado do pulmão. Conforme o tempo vai passando esta razão vai diminuindo.

Em geral, um sistema de classificação de ordens com base no estado do pulmão de cada ordem é utilizado para facilitar a tomada de decisão. Frequentemente elas são divididas em ordens verdes (que consumiram menos de 33% do tempo de atravessamento padrão e não requerem atenção especial), ordens amarelas (que consumiram entre 33% e 67% do tempo de atravessamento padrão e devem ser acompanhadas com atenção), e ordens vermelhas (que consumiram mais de 67% e necessitam de ação corretiva). Além disso, a classificação das ordens de produção com base no estado do pulmão pode ser utilizada como regra de priorização no sequenciamento nas estações de trabalho.

Cabe ressaltar que este mecanismo é viável com base na premissa de que a soma dos tempos de processamento com os tempos de *setups* de cada ordem individual é muito inferior que o tempo de atravessamento padrão. Isto permite que ações corretivas iniciadas quando uma ordem já consumiu boa parte do tempo disponível sejam capazes de evitar o atraso de um pedido. Além disso, o gerenciamento de pulmões permite que o processo de melhoria contínua ocorra, uma vez que quando o sistema opera com uma quantidade muito elevada de ordens verdes, existe uma oportunidade de redução do pulmão de tempo que irá proporcionar uma melhora no tempo de atravessamento, e quando o sistema opera com um elevado número de ordens vermelhas, é recomendável aumentar o pulmão de tempo para melhorar o atendimento de prazos.

Por fim, conforme explicado por Srikanth (2010), o método de gerenciamento de pulmões também deve ser aplicado aos demais tipos de pulmão existentes no fluxo (capacidade,

espaço e material), medindo-se o estado de cada um destes pulmões e atuando com ações corretivas sempre que eles entrarem em uma “zona vermelha”.

### 3.4.1.5 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS SOBRE O MÉTODO *DBR*

O método *DBR* tradicional possui uma versão alternativa que foi desenvolvida posteriormente, denominada de *S-DBR*. De acordo com Schagenreim (2010), o método *S-DBR* surgiu de uma crítica ao método original, em relação aos seus três aspectos fundamentais:

a) Cinco passos de focalização – Na maior parte das situações o mercado é uma restrição do sistema, seja porque os clientes possuem fornecedores alternativos e não aceitam ficar sujeitos a uma restrição de capacidade de um fornecedor, seja porque mesmo em situações de demanda muito maior que a capacidade da empresa sempre haverá formas de se explorar os ganhos da empresa através de mix de produção mais vantajosos. Desta forma, deve-se gerenciar de forma paralela a restrição de mercado e o RCC;

b) A existência de incerteza e complexidade – Quanto mais simplificado o planejamento, melhor. Portanto, considerando que a restrição primária é a demanda do mercado, no método *S-DBR* não é mais necessário determinar uma programação para o RCC (salvo nas situações em que ocorrem *setups* dependentes de sequência). Apesar de não existir mais uma programação para o RCC no método *S-DBR*, sua carga de trabalho precisa ser monitorada;

c) Ênfase no fluxo – O acúmulo de material que ocorre antes do RCC no método *S-DBR* é considerado como um distúrbio no fluxo. Portanto, neste método as matérias-primas não precisam mais ser liberadas em antecipação à programação do RCC com o objetivo de protegê-lo.

Com base nas críticas aos três princípios fundamentais do método *DBR*, o método *S-DBR* se concentra em determinar as datas seguras de conclusão dos pedidos, e nos momentos adequados para liberação de matérias-primas. Para isso, os conceitos fundamentais do método

são o pulmão de produção (semelhante ao pulmão de tempo, mas considerado em relação à data de entrega do pedido, e não em relação ao momento de processamento no RCC), e o controle de carga de trabalho no RCC. O gerenciamento de pulmões segue sendo utilizado como mecanismo de controle de execução, exatamente conforme ocorre no *DBR*.

Outro aspecto surgido posteriormente a consolidação do método *DBR* na literatura foi a necessidade de adaptações no mecanismo de gerenciamento de pulmões para ambientes *MTS* (SCHAGENREIM, 2010). Basicamente, a razão entre o tempo disponível e o tempo de atravessamento padrão utilizada para determinar o estado dos pulmões só faz sentido em ambientes *MTO*. Em ambientes *MTS*, como se produz contra estoque, não existem datas a serem atendidas. Para lidar com esta situação, uma adaptação no método utilizado para determinar o estado dos pulmões é necessária, e passa-se a considerar a razão entre o nível existente em estoque do produto acabado e o nível objetivo de estoque deste produto para determinação do estado dos pulmões, e com isto determinar as prioridades na produção.

### **3.4.2 TRABALHOS RECENTES RELACIONADOS À *TOC***

Atualmente a *TOC* como ferramenta de gestão segue se desenvolvendo e sendo aplicada em diversas indústrias (OROUJI, 2016). O autor destaca aplicações da ferramenta em gestão de projetos, gestão da qualidade, contabilidade, setor bancário e área da saúde.

As fronteiras da *TOC* também têm sido exploradas verificando-se sua integração com outras metodologias. Neste contexto, Mohammadi *et al.* (2015) propuseram um modelo que combina os processos de raciocínio da *TOC* com dinâmica de sistemas, com o objetivo de auxiliar na modelagem e compreensão de problemas genéricos de gestão da produção. Golmohammadi e Mansouri (2015) desenvolveram um trabalho que busca explorar como integrar de forma adequada a elaboração de planos mestres de produção com a *TOC*. Em seu trabalho, foi desenvolvido um algoritmo que tem por objetivo realizar esta integração, considerando questões relevantes da operação, como por exemplo tempos de *setups*, sequência de operações nas estações de trabalho e estoque em processo.



Pacheco *et al.* (2019) buscaram evidenciar através de uma revisão bibliográfica abrangente do tema pontos de convergência entre a *TOC* e *Lean Manufacturing* (considerando-se *Lean Manufacturing* como sendo a generalização do Sistema Toyota de Produção para diversos tipos de ambientes de produção). No que tange às formas de sincronização da produção, foram encontrados os seguintes pontos de congruência entre o método *DBR* e abordagem utilizada no *Lean (Just-in-Time – JIT)*: redução de estoques, estabelecimento de fluxo contínuo e produção puxada. Como principal divergência encontrada entre os métodos destacou-se a forma com que cada um dos métodos aborda a questão da variabilidade: no *JIT* o objetivo é reduzir ao máximo a variabilidade, enquanto no *DBR* adicionam-se pulmões no processo para absorver os efeitos da variabilidade.

Além de trabalhos explorando a integração da *TOC* com outras metodologias, alguns estudos procuram explorar adaptações que precisam ser feitas no método *DBR* para possibilitar sua aplicação em determinados ambientes. Aiastui, Eulate e Guisasola (2020) propõem um método para determinação das restrições que combina avaliação da taxa de utilização dos recursos com a metodologia de planejamento estratégico denominada Visão Baseada em Recursos (*Resource-based View – RBV*). Os autores afirmam que a combinação da *RBV* com o método *DBR* permite que a organização identifique suas restrições de forma mais ampla e estratégica.

Por fim, em que pese a necessidade de que os tempos de processamento e de *setups* sejam consideravelmente inferiores ao pulmão de tempo para que o gerenciamento de pulmões possa ser utilizado adequadamente, foram encontrados trabalhos que tentam superar esta limitação, aplicando o método *DBR* em ambientes *ETO*, onde a abordagem tradicional da *TOC* indicada é o uso da ferramenta denominada corrente crítica (SCHAGENREIM, 2010). Hammad, Abbasi e Ryan (2018) desenvolveram um *framework* para gestão do pulmão de tempo em ambientes de projeto. Seu modelo é baseado em duas métricas: índice de desempenho do pulmão e variância do pulmão. Telles *et al.* (2020) identificaram resultados positivos após a implementação do método *DBR* em um ambiente *ETO* utilizando análise envoltória de dados.

## 4. ANÁLISE DOS ARTEFATOS EXISTENTES

Analisar a revisão da literatura através do prisma da *Design Science* permite identificar uma série de artefatos relacionados às classes de problemas estudadas. Desta forma, este capítulo apresenta uma discussão sobre como estes artefatos influenciaram o modelo de elaboração de planos agregados de produção baseado na *TOC*, desenvolvido ao longo deste trabalho.

Esta discussão está dividida em duas seções. Na primeira seção apresenta-se uma análise da *TOC*, onde busca-se estabelecer as premissas básicas que o método proposto para elaboração de planos agregados de produção deve possuir para que esteja de acordo com os princípios fundamentais da *TOC*. Na segunda seção apresenta-se uma análise acerca dos demais artefatos encontrados na revisão da literatura cujo objetivo é identificar que aspectos devem ser considerados pelo método proposto para que ele seja compatível com o processo de *S&OP*.

### 4.1 APLICAÇÃO DA *TOC* NO PLANEJAMENTO AGREGADO DE PRODUÇÃO

A aplicação dos processos de raciocínio da *TOC* em gestão de operações deu origem aos cinco passos de focalização e ao método *DBR*. De acordo com a classificação de artefatos proposta por Dresch, Lacerda e Antunes (2015), os cinco passos de focalização podem ser classificados como um artefato do tipo *Design Proposition*, e o método *DBR* pode ser considerado como um artefato do tipo instanciação. Conforme é explicado pelos autores, esta classificação de artefatos em categorias tem por objetivo ajudar a melhor compreendê-los, bem como a que se propõem.

Desta forma, os cinco passos de focalização foram utilizados como espinha dorsal para proposição do método genérico de elaboração de planos agregados de produção, uma vez que constituem um tipo de artefato que possui a função de fornecer um guia para a proposição de soluções para uma determinada classe de problemas. A aplicação dos cinco passos de focalização resultou em uma série de tarefas que deveriam estar contempladas na versão final

do método de elaboração de planos agregados de produção. Estas tarefas básicas constam no Quadro 6 apresentada no final desta seção.

Em conjunto com os cinco passos de focalização utilizaram-se também *insights* provenientes do método *DBR*. A utilização do método *DBR* no planejamento agregado de produção pode causar estranheza em um primeiro momento, pois ele foi desenvolvido para lidar com a classe de problemas relacionados à programação de curto prazo, envolvendo o sequenciamento fino e o acionamento da produção. No entanto, o objetivo aqui não foi aplicar o método na elaboração de um plano agregado de produção, tal qual ele foi desenvolvido. Nesta etapa do trabalho procurou-se verificar aspectos relevantes do método *DBR* que poderiam ser utilizados no planejamento agregado de produção. Para isto assumiu-se a premissa de que o planejamento de curto prazo e o planejamento de médio prazo possuem diversas semelhanças entre si, as quais permitem o uso de analogias e comparações, apesar de estarem relacionados a diferentes horizontes de tempo.

Estabelecidas estas premissas, iniciou-se a análise do primeiro dos cinco passos de focalização com o objetivo de estabelecer quais as tarefas básicas deveriam ser contempladas na versão final do método. Neste passo, conceitualmente deve-se identificar e/ou definir quais são as restrições do sistema. Em se tratando de um plano agregado de produção, conclui-se que seria necessário identificar quais as estações de trabalho cujas capacidades reais de produção representam restrições para o *throughput* do ambiente de produção.

No método *DBR* a definição das restrições é realizada de forma objetiva: verificam-se as ordens de produção que precisam ser atendidas e calcula-se o tempo que será gasto em todas as estações de trabalho para que todas estas ordens sejam atendidas (incluindo os tempos de *setup*). As estações que necessitarem da maior quantidade de tempo para que todas as ordens sejam atendidas são os recursos críticos de capacidade (ou gargalos, caso a capacidade real de produção seja inferior à demanda). Basicamente, para executar esta definição de restrições dentro do método *DBR* a organização deverá ter mapeados os tempos de ciclo das diferentes ordens de produção nas diferentes estações de trabalho, os roteiros de produção e os tempos de *setup*.

Ao tentar extrapolar o passo-a-passo utilizado pelo método *DBR* para definição de restrições para um planejamento agregado, identificaram-se duas diferenças fundamentais. A primeira diferença é que não faz sentido considerar os tempos de ciclo individuais de cada ordem de produção pois o planejamento será feito através de grupos de ordens de produção (planejamento agregado). A segunda diferença é que, como o planejamento agregado é feito para um período que geralmente varia entre 3 e 12 meses, a empresa não irá dispor de ordens de produção para todo este período (salvo em algumas raras exceções).

Lidar com a questão dos tempos de ciclo de grupos de ordens de produção consiste basicamente em somar os tempos de ciclo das ordens individuais. No entanto, deve-se tomar cuidado para verificar eventuais *setups* e ou perdas que eventualmente precisarão ser consideradas neste agrupamento, como tempos de preparação de máquina e tempos de troca de turno, por exemplo. Para lidar com a questão dos horizontes de tempo maiores, propõe-se a utilização da previsão de demanda no período em que se estiver executando o planejamento agregado de produção, em conjunto com as ordens de produção já existentes.

Um detalhe importante da previsão de demanda é que ela é dividida em períodos pré-determinados, onde as organizações estimam a demanda agregada de produtos para cada um destes períodos (semanas, quinzenas, meses, etc..). Estes períodos deverão ser respeitados, não sendo possível simplesmente somar a previsão de demanda total no horizonte total de planejamento.

Portanto, as tarefas básicas que deverão ser executadas para que o primeiro dos cinco passos de focalização seja completamente aplicado serão: extrair a previsão de demanda para o período de planejamento considerado como médio prazo no ambiente de produção em questão, calcular os tempos que os grupos de ordens de produção irão consumir nas estações de trabalho (incluindo a ocorrência de *setups*), e definir os recursos críticos de capacidade (aqueles que irão necessitar de uma maior quantidade de tempo) em cada um dos períodos de agregação da demanda.

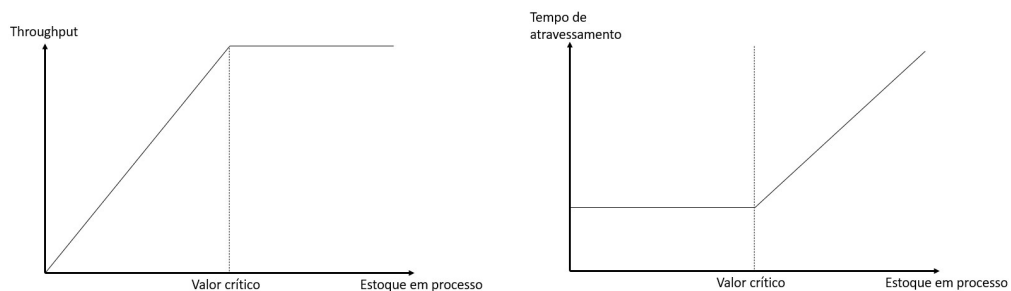
O segundo passo de focalização enfatiza a necessidade de se explorar a restrição do sistema ao máximo. Ao aplicar este conceito à gestão da demanda agregada deduz-se que o plano agregado de produção deve estar a serviço das restrições, ou seja, ele deve ter como

objetivos a maximização do *throughput*, e a minimização dos inventários e das despesas operacionais nos recursos críticos de capacidade.

De acordo com a *TOC*, explorar ao máximo as restrições em termos de *throughput* requer inevitavelmente que se estabeleçam pulmões protetivos para os gargalos do sistema. Para desenvolver uma lógica coerente para a utilização de pulmões no planejamento agregado de produção recorreu-se ao trabalho Hopp e Spearman (2000), onde são apresentadas relações entre capacidade, *throughput*, variabilidade e a necessidade de pulmões.

O *throughput*, o estoque em processo e o tempo de atravessamento estão todos intimamente ligados conforme demonstrado pelos autores, e é possível demonstrar que para uma situação idealizada em um ambiente de produção totalmente isento de variações aleatórias existe um valor crítico de estoque em processo, onde se obtém o melhor compromisso entre o tempo de atravessamento e o *throughput* (Figura 18) Acima deste valor o tempo de atravessamento irá aumentar sem nenhum aumento de *throughput*, e abaixo deste valor o *throughput* será inferior ao máximo possível, de forma que este valor crítico de estoque em processo é o valor ótimo no que se refere às métricas globais da *TOC*. O máximo valor possível de *throughput* é a capacidade real do sistema, que é equivalente à capacidade real do recurso crítico (onde capacidade real é a capacidade disponível, já descontadas todas as perdas, incluindo *setups*, quebras, absenteísmo e etc...).

Figura 18 - Relações entre *throughput*, tempo de atravessamento e estoque em processo.



Fonte: Adaptado de Hopp e Spearman (2000).

Nos ambientes reais de produção, no entanto, devido à existência de variações aleatórias nos processos, o estoque em processo crítico não faz com que *throughput* máximo se iguale à capacidade real, e as organizações trabalham com um valor de estoque em processo bem acima do valor crítico. Além disso, devido à existência destas variações, o aumento do estoque em processo faz com que o *throughput* se aproxime de forma assintótica da capacidade real sem jamais atingi-la, em regime permanente. A afirmação de que o *throughput* nunca irá atingir a capacidade real pode ser explicada através do seguinte exemplo:

a) Uma organização realiza seu planejamento considerando a capacidade real. Desta forma, em uma situação de demanda máxima, a liberação de materiais para a produção passa a ocorrer na mesma taxa da capacidade real;

b) Cedo ou tarde, devido a variações aleatórias nos tempos de processamento e de transferência de materiais o recurso crítico de capacidade acaba sendo afetado e fica sem processar nenhum material. Como a taxa de entrada de materiais continuou constante, o estoque em processo aumentou, e como houve uma perda de capacidade no recurso, os pedidos passam a atrasar;

c) Nesta situação, sem sair do regime permanente a organização não tem como retornar para o estado desejado. É preciso que alguma ação seja tomada, para o aumento de capacidade (através de subcontratação ou horas-extras, por exemplo), ou para a redução da demanda (cancelamento de pedidos, por exemplo).

Com base no exposto, conclui-se que alguma estratégia deliberada de proteção do *throughput* precisa estar presente para que a capacidade real seja atingida. No método *DBR*, isto é feito através da utilização de um pulmão de tempo. Como o objetivo do pulmão de tempo é o de proteger às datas de entrega dos pedidos das variações aleatórias do sistema, e como sua ordem de grandeza é semelhante a dos tempos de atravessamento, não se trata de um conceito que pode ser aplicado no planejado agregado diretamente. No entanto, isto não significa que não é possível aplicar o conceito de pulmão no planejamento agregado de produção.

No que se refere à produção agregada, faz sentido a utilização dos conceitos de pulmão de capacidade, pulmão de estoque e pulmão de espaço. De acordo com Srikanth (2010), a capacidade protetiva é aquela que pode ser acionada para proteger o *throughput*, ou seja,

podemos considerar como sendo uma capacidade acima da capacidade real. Desta forma, conclui-se que a elaboração do plano agregado de produção deverá incluir às capacidades protetivas disponíveis nos recursos críticos.

De forma análoga, a empresa deverá avaliar e definir durante a elaboração dos planos agregados de produção a utilização de pulmões de estoque, que podem ser pulmões de estoque em processo ou matéria-prima imediatamente antes do recurso crítico, ou estoque de produtos acabados após o recurso crítico. Também de forma análoga, os planos agregados deverão considerar os pulmões de espaço após os recursos críticos de capacidade, ou seja, o plano deverá considerar sequências de produção com menores chances de gerarem um bloqueio nestas estações de trabalho.

Isto posto, verifica-se que a definição dos pulmões descrita no parágrafo acima constitui uma série de heurísticas que podem ser utilizadas para a elaboração do plano agregado de produção para os recursos críticos de capacidade. Desta forma, de modo similar ao que ocorre no método *DBR*, onde os planos mestres de produção são definidos para os recursos críticos de produção, no método proposto neste trabalho os planos agregados de produção irão definir as sequências de grupos de ordens de produção a serem executadas nos recursos críticos de produção. Este sequenciamento deverá explicitar as capacidades protetivas e critérios para que elas sejam utilizadas, deverá contemplar o nivelamento da capacidade (definindo momentos em que a construção de estoques deverá ser realizada para proteger o *throughput*), e deverá minimizar a chance de ocorrência de bloqueios no gargalo.

O terceiro passo de focalização da *TOC* implica na subordinação do todo o sistema às restrições. No método *DBR* este passo ocorre através da definição da corda do sistema, que consiste no plano de liberações de materiais para o sistema, sendo o elo de ligação entre o plano mestre de produção e a execução. O principal objetivo do plano liberação de materiais é garantir o controle adequado de estoque em processo, de forma que o recurso crítico nunca pare, ao mesmo tempo em que este estoque em processo é controlado para que se mantenha dentro de um limite controlável.

A subordinação do sistema em um planejamento agregado irá ocorrer de uma forma um pouco diferente. Uma vez que o plano agregado de produção for elaborado, ele possuirá

premissas que irão guiar os planos de operações (planos mestres, plano de aquisições e plano de distribuição) e os planos de vendas. Além disso, há uma diferença crucial entre o planejamento agregado e o planejamento de curto de prazo em que o método *DBR* é aplicável: o nível de incerteza da demanda. Como no curto prazo se trabalha com ordens de produção relativas à uma demanda real, a incerteza é muito mais baixa do que a incerteza envolvida no plano de médio prazo, que irá trabalhar com uma previsão de demanda. Em função disso, uma forma de atualização constante e de comunicação destas atualizações deve estar presente, garantindo que as alterações se refletem nos planos de operações e de vendas.

Em resumo, portanto, a subordinação do sistema ao recurso crítico através do plano agregado de produção ocorrerá através do alinhamento e integração dos planos de vendas e de operações ao mesmo, em conjunto com sua constante revisão e atualização. Desta forma irá garantir-se que o sistema de planejamento e controle da produção permita a maior exploração possível dos recursos críticos.

O quarto passo de focalização envolve à elevação da capacidade da restrição, e o quinto passo envolve a aplicação dos passos anteriores quando uma restrição for quebrada no quarto passo (após elevação de sua capacidade um outro ponto do processo passou a ser a restrição do sistema). Assim como ocorre no método *DBR*, no método proposto entendeu-se que os passos 4 e 5 não eram aplicáveis.

*Quadro 6 - Tarefas básicas do método de elaboração de planos agregados.*

<b>Passo de foco</b>	<b>Tarefas básicas</b>
1	Extrair previsão de demanda Calcular a carga nas estações de trabalho Definir recursos críticos em cada período de agregação
2	Definir pulmões de capacidade nos recursos críticos Definir pulmões de estoque nos recursos críticos Definir pulmões de espaço nos recursos críticos Definir sequências nos recursos críticos
3	Subordinar planos de vendas e operações Atualizar constantemente o plano agregado

Fonte: Elaborado pelo autor.



## 4.2 ANÁLISE DOS DEMAIS ARTEFATOS

Para conduzir a análise dos demais artefatos encontrados na literatura foi elaborada uma estrutura de três perguntas, conforme explicado a seguir:

- a) Qual o tipo de artefato?
- b) Quais aspectos do artefato são relevantes para o planejamento agregado de produção?
- c) O que deve ser considerado em um método de elaboração de planos agregados de produção para que os aspectos relevantes sejam contemplados?

Para definir o tipo de artefato em questão a estrutura de classificação proposta por Dresch, Lacerda e Antunes (2015) foi empregada. A necessidade de classificar os artefatos encontrados em determinadas categorias justifica-se pelo fato que a maior parte dos trabalhos pesquisados não foram elaborados no paradigma da *Design Science*, ou seja, seus limites não se apresentam de forma clara. Portanto, classificar os artefatos em modelos, constructos e métodos auxiliou na sua delimitação e explicitação dentro dos trabalhos pesquisados.

Avaliar nos artefatos encontrados seus aspectos relevantes para o planejamento agregado de produção teve por objetivo explicitar os pontos de interface (como estes artefatos se conectam com o planejamento agregado de produção). E após a definição destes aspectos, avaliou-se o que um método de elaboração de planos agregados precisa necessariamente considerar para englobar estes aspectos, garantindo sua compatibilidade. O resumo desta análise apresenta-se no Quadro 7.

O primeiro artefato analisado foi o modelo de *S&OP* como parte constituinte de um sistema hierarquizado de planejamento da produção, de acordo com a definição apresentada no dicionário da *APICS* (BLACKSTONE, 2013). Considerando que um dos objetivos fundamentais do processo *S&OP* é garantir a ligação entre a estratégia e a execução, e considerando que o plano agregado de produção é um dos *outputs* deste processo, ficou claro que o método de elaboração de planos agregados de produção precisa considerar aspectos da

estratégia da empresa, ao mesmo tempo em que precisa ser compatível com os métodos empregados para elaboração dos planos mestres de produção.

Outro aspecto relevante enfatizado pelo modelo é o fato de que se trabalha com famílias de produtos neste processo, ao invés de produtos individuais. Para que o plano agregado de produção seja compatível com o processo de *S&OP*, a mesma forma de categorização dos produtos em determinadas famílias deverá ser utilizada em ambos. E para que o método de elaboração destes planos seja compatível com este modelo, deverá existir um critério estruturado para definição destas famílias de produtos.

Por fim, sem seu modelo tradicional o processo *S&OP* está baseado em demanda, capacidade, volume e mix. Basicamente, o plano agregado de produção deverá apresentar de forma explícita estas quatro variáveis.

O contexto exerce influência no *S&OP*, o que por consequência impacta na sua interação com a elaboração de planos agregados de produção. Kristensen e Jonsson (2018) conceitualizam que existem sete categorias distintas de variáveis de contexto relevantes. Estes conceitos apresentados pelos autores foram considerados como um artefato do tipo constructo, e seus impactos no método de elaboração de planos agregados de produção constam a seguir:

- Tamanho da empresa – Está reportado na literatura do assunto que quanto maior o tamanho da empresa, maiores serão os resultados obtidos com a utilização de *S&OP*. Levando isto em consideração, o método de elaboração de planos agregados de produção deve ser simples o suficiente para ser aplicado em grandes empresas, independentemente da quantidade de mercados atendidos e de produtos oferecidos;

- Hierarquia do sistema de controle e planejamento da produção – Neste quesito avalia-se a integração do *S&OP* com as demais etapas do planejamento de produção. Desta forma, o plano agregado de produção deve, além de estar integrado com o plano mestre de produção, integrar-se também com os requerimentos de materiais, planejamento de distribuição e gestão de estoques;

- Tipo de indústria – Noorozi e Wikner (2016) compararam em seu trabalho como diferentes ambientes de produção impactam o *S&OP* de formas diferentes. Ao analisar este

trabalho com o viés de identificar como isto afeta a elaboração do plano agregado de produção, destaca-se que em processos contínuos (em contraste com processos do tipo *Job Shop*) algumas características como *Yield* (rendimento) variável, custo da energia, custos de interromper a produção e restrições físicas de estoque estão presentes, e que custos e impactos de *setup* devem sempre ser considerados. Mesmo assim, independentemente do tipo de indústria, a recomendação geral é considerar *setups* entre diferentes famílias de produtos, desconsiderar *setups* entre os produtos de uma mesma família, e trabalhar com uma sequência cíclica pré-definida de famílias de produtos;

- Complexidade dinâmica – A elaboração de planos agregados de produção deverá permitir a avaliação de diferentes cenários, pois isso é uma condição necessária para lidar com cenários de elevada complexidade dinâmica;

- Complexidade de detalhes – O nível de agregação dos produtos em famílias deverá ser adequado para lidar com o nível de complexidade de detalhes presente no ambiente;

- Ambiente de produção – Em ambientes *MTS*, teoricamente o plano agregado de produção deverá ser baseado apenas na previsão de demanda, a capacidade deverá ser ajustada através de uma estratégia *lag* e planejada com uma estratégia genérica de nivelamento, o pulmão do sistema deverá ser o estoque de segurança de produtos acabados e a proteção do sistema deverá ser o nível de estoque. Já em um ambiente *MTO*, teoricamente o plano agregado de produção deverá ser baseado nos pedidos firmes e na previsão de demanda, a capacidade deverá ser ajustada através de uma estratégia *lead* e planejada com uma estratégia genérica de perseguição da demanda, o pulmão do sistema deverá ser um nível de capacidade produtiva de segurança, e a proteção do sistema deverá ser o nível de *backlog* de pedidos;

- Características organizacionais – Um dos princípios facilitadores da integração organizacional é a padronização de planos dentro do *S&OP*, de forma que a existência de um método padronizado de elaboração de planos agregados de produção irá contribuir para esta integração.

Os parâmetros de configuração do *S&OP* também afetam a elaboração de planos agregados de produção. No modelo proposto por Ivert *et al.* (2015) estes parâmetros são

frequência de planejamento, horizonte de planejamento e objeto de planejamento. A frequência de elaboração dos planos deverá levar em consideração a validade dos produtos, o lançamento de novos produtos, a dinâmica do mercado, a incerteza na demanda, a incerteza na cadeia de suprimentos e o ambiente de produção (problemas na produção, variações de *Yield*, rupturas no fornecimento de materiais). Já o horizonte de planejamento deverá considerar a validade dos produtos, o lançamento de novos produtos, a incerteza da demanda, as tendências futuras da demanda e a incerteza na cadeia de suprimentos. Por fim, a definição do objeto de planejamento deverá levar em conta a quantidade de produtos no portfólio, mantendo a significância, ou seja, as famílias de produto devem manter explícitas características importantes para a tomada de decisão. Tradicionalmente há divergência entre os critérios de significância da área comercial e da área de manufaturas, mas independente disso, ambos devem ser considerados no plano agregado de produção.

Tuomikangas e Kaipia (2014) modelaram a estrutura do *S&OP* como sendo constituída por seis mecanismos de coordenação. Uma análise através desta perspectiva permite elucidar diferentes interfaces entre *S&OP* e a elaboração de planos agregados de produção.

Neste contexto, um destes mecanismos de coordenação se refere aos papéis e responsabilidades desempenhados. Ao examinar este mecanismo conclui-se que o plano agregado de produção precisará ser aprovado por pessoas com autoridade formal dentro do *S&OP*, dado que sua execução irá impactar em aspectos críticos para a organização, como níveis de estoque, contratação de pessoas e alterações no mix de produção. Além disso, é importante que as pessoas responsáveis por elaborar o plano agregado de produção disponham de informações críticas referente às demandas de mercado, bem como a aspectos críticos referentes à operação (informações de suprimentos e capacidades produtivas).

Um segundo mecanismo de coordenação é a forma com que o desempenho do *S&OP* é medido. Tendo isto em vista, uma análise dos modelos de medição de desempenho encontrados durante a revisão da literatura com o objetivo de selecionar aqueles que se relacionam com a elaboração de planos agregados de produção resulta na identificação dos indicadores relacionados de aderência de utilização de recursos, relacionados à aderência aos planos e relacionados ao atendimento dos requisitos de clientes como sendo os mais relevantes. A utilização de recursos buscará medir o compromisso entre os planos agregados de produção

com a ocupação da capacidade produtiva, os níveis de estoque e os insumos e matérias-primas disponíveis. A aderência aos planos indicará pontos de ajuste nos planos agregados de produção. Por fim, o atendimento aos requisitos de clientes é o objetivo maior da organização, e um planejamento adequado incidirá diretamente neste quesito.

Além destes indicadores de desempenho, destaca-se também uma série de variáveis de decisão que impactam nestes indicadores, as quais constam nos trabalhos de Damand *et al.*, (2019) e Pereira, Oliveira e Carravilla (2020). As variáveis de interesse que impactam nos indicadores apontados no parágrafo anterior, e que são afetadas pela elaboração de planos agregados de produção constam no Quadro 7.

Os demais mecanismos de coordenação são as ferramentas de TI utilizadas, alinhamento com a estratégia da empresa, cultura e liderança, e a estrutura de funcionamento do processo. Com exceção deste último, os demais mecanismos não são relevantes para esta análise, pois não foram identificados aspectos relevantes para um método de elaboração de planos agregados de produção.

Tradicionalmente, o funcionamento do processo ocorre através de ciclos mensais de reuniões, que são divididas em cinco etapas (WALLACE e STHAL, 2008). A elaboração dos planos agregados de produção terá interface com as três etapas finais. Na etapa do planejamento de capacidade será, na verdade, a principal etapa do *S&OP* afetada, pois é neste momento que o plano agregado de produção deverá ser efetivamente elaborado, considerando os *outputs* das etapas anteriores relacionadas à demanda, junto de todos os demais aspectos relacionados ao planejamento de capacidade.

Na etapa subsequente, que consiste na pré-reunião de *S&OP*, o plano agregado de produção deverá nortear a discussão, pois através dele será possível avaliar os conflitos entre vendas e operações. E por fim, na etapa final de reunião executiva de *S&OP*, o plano agregado de produção será chancelado e liberado para execução, em conjunto dos demais planos da organização.

Além de avaliar os modelos de *S&OP* e suas variáveis de contexto, diversos estudos se dedicaram a examinar os diferentes níveis de maturidade de *S&OP* existentes nas organizações, bem como os requisitos necessários para que cada um deste níveis fosse atingido.

A maior parte dos modelos de avaliação de maturidade encontrados definem certas dimensões, bem como formas de avaliar o grau de maturidade em cada uma destas dimensões dentro do *S&OP*. A principal consideração referente a níveis de maturidade é o fato que, ao se propor um método para elaboração de planos agregados de produção, deve-se avaliar em que nível de maturidade de *S&OP* a organização deve estar para que o método possa ser aplicado. Obviamente, quanto menor for a maturidade requerida, maior será a aplicabilidade do método.

O último grupo de artefatos que foi analisado refere-se às abordagens já existentes para elaboração de planos agregados de produção. Uma boa parte destes trabalhos considera o plano agregado de produção como uma ligação entre *S&OP* e o plano mestre de produção. Nesta abordagem qualitativa, Heizer, Render e Munson (2017) resumem as principais ações que a empresa pode tomar durante a elaboração do plano agregado de produção, as quais constam no Quadro 7.

Apesar de o presente trabalho buscar um método de elaboração de planos agregados de produção que não necessite uma modelagem matemática do problema e que não busca por soluções ótimas, alguns constructos presentes neste tipo de abordagem são de interesse. Particularmente, a análise está concentrada em dois constructos apresentados por Cheraghalikhani, Khoshalan e Mokhtari (2019). Estes constructos tratam das questões básicas e das questões importantes que devem ser abordadas na elaboração de qualquer plano agregado de produção. Estas questões constam na Quadro 7.

Quadro 7 - Resumo da análise dos artefatos.

Artefato	Qual o tipo?	Quais aspectos são relevantes?	O que deve ser reconsiderado no método de elaboração de planos agregados
S&OP	Modelo	Estabelece a ligação entre estratégia e execução	Considerar questões estratégicas críticas e ser compatível com o plano mestre de produção
		Produtos agregados em famílias	Definição de um critério formal para agregação de produtos em famílias
		Baseado em demanda, capacidade, volume e mix	Modelo de plano deverá considerar capacidade, volume e mix
Influências do contexto no S&OP	Constructo	Tamanho da empresa	Ser simples o bastante para ser utilizado em qualquer tamanho de empresa
		Estrutura hierárquica do PCP	Integração com plano mestre de produção, gestão de estoques, requisição de materiais e distribuição
		Tipo de indústria (processo de produção)	Definição setups relevantes entre famílias de produtos e sequência cíclica entre famílias (independente se o processo é do tipo <i>Job Shop</i> ou processo contínuo)
		Complexidade dinâmica	Permitir a rápida avaliação de diferentes cenários
		Complexidade de detalhes	Nível de agregação em famílias deverá estar adequado ao ambiente em questão
		Ambiente de produção	Adequar-se à estratégia MTS e/ou à estratégia MTO
		Características organizacionais:	Deverá existir um padrão para elaboração de planos agregados de produção
Parâmetros de <i>setup</i> do S&OP	Modelo	Frequência de planejamento	Considerar validade dos produtos, lançamento de novos produtos, dinâmica do mercado, incerteza na demanda, incerteza na cadeia de suprimentos e ambiente de produção (confiabilidade da produção, Yield, rupturas no fornecimento de materiais)
		Horizonte de planejamento	Considerar validade dos produtos, lançamento de novos produtos, incerteza na demanda, tendências futuras de mercado e incerteza na cadeia de suprimentos
		Objeto de planejamento	Considerar quantidade de produtos no portfólio e critério de significância
Mecanismos de coordenação do S&OP	Modelo	Organização do S&OP (papeis e responsabilidades)	Aprovação dos planos por pessoas com alto nível de autoridade formal dentro da organização, e acesso a informações críticas por parte dos responsáveis pela elaboração dos planos
		Medição de desempenho do processo	Medir aderência à utilização de recursos, aderências aos planos e atendimento à requisitos de clientes. Controlar o controle das variáveis de interesse descritas por Damand <i>et al.</i> (2019)
		Funcionamento do processo	Integrar-se com as demais etapas do S&OP
Estrutura de condução do S&OP em cinco etapas	Método	Planejamento de capacidade	Elaboração do plano ocorrerá durante a terceira etapa do método condução do S&OP
Níveis de maturidade de S&OP	Modelo	Capacidade da organização de atingir os resultados esperados	Definir nível de maturidade mínimo necessário para que o método proposto seja aplicável
Estratégias genéricas para elaboração de planos agregados de produção	Método	Ações que influenciam na demanda e na capacidade	Avaliar variações nos níveis de estoque, variações na quantidade de mão-de-obra disponível, variações nas taxas de produção (horas extras e/ou ociosidade de estações de trabalho), subcontratação de parte da produção, uso de trabalhadores em tempo parcial, gerenciamento da demanda, gerenciamento do backlog de pedidos e produção antecipada
Questões básicas dos planos agregados de produção	Constructo	Variáveis de decisão que fazem de praticamente todos os contextos	Considerar demanda, estoques, pedidos em atraso, capacidade de produção, espaço em estoque, custos de produção, subcontratação, custos de contratação e demissão, quantidade de mão-de-obra, custos dos produtos
Questões importantes dos planos agregados de produção	Constructo	Variáveis de decisão que são importantes apenas em contextos específicos	Considerar múltiplas famílias de produto, características do trabalho, grau de satisfação do tomador de decisão, características do produto, decisões de <i>setup</i> , múltiplas plantas

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

O método desenvolvido para elaboração de planos agregados de produção apresentado a seguir consiste em uma passo-a-passo, cuja execução irá guiar a organização na tarefa de criar um plano agregado de produção. Sua elaboração ocorreu através da aplicação de um raciocínio abduativo a partir das análises e considerações realizadas no capítulo anterior.

Para a execução deste passo-a-passo, algumas características do ambiente de produção precisam estar mapeadas pela organização. Segue abaixo uma descrição destes pré-requisitos para aplicação do método:

- Roteiros e tempos de produção – Indicam por quais estações de trabalho cada produto precisa passar e a quantidade de tempo consumida em cada uma destas estações por cada unidade de produto;
- Tempos de *setup* – Tempos de troca de produto nas estações de trabalho que consomem capacidade produtiva. Devem estar mapeados os tempos consumidos em cada tipo de *setup* (geralmente variam de acordo com produto, estação de trabalho e sequência de produção);
- Capacidade efetiva – Refere-se à capacidade produtiva teórica disponível nas estações de trabalho, levando em consideração as perdas planejadas (*setups*, manutenção preventiva, inspeções de qualidade), de acordo com a definição de Slack, Chambers e Johnston (2010);
- Capacidade real – Refere-se à capacidade produtiva disponível nas estações de trabalho, considerando o total médio de perdas que ocorrem em decorrência de eventos planejados e de eventos não planejados, como por exemplo quebras de equipamentos e absenteísmo, seguindo a definição de Slack, Chambers e Johnston (2010);
- Alcance da previsão de demanda – Período coberto pela previsão de demanda.



De posse destas informações, a organização deve iniciar a definição do objeto de planejamento (famílias de produtos). O agrupamento de diversos produtos em determinadas famílias durante o planejamento de médio prazo de uma empresa se justifica basicamente pela relação desfavorável entre custo e benefício decorrente de se trabalhar com um elevado nível de informações acerca de cada um dos produtos (CORRÊA, GIANESI e CAON, 2019). Isto está relacionado ao fato que o nível de incerteza com relação à demanda aumenta, quanto mais afastada do presente ela estiver (CHOPRA e MEINDL, 2007). Além disso, um segundo fator que justifica a agregação dos produtos em famílias é o fato de que uma das formas de se reduzir os erros associados às previsões de demanda é justamente trabalhar com previsões de demandas agregadas.

Diversos autores propuseram diferentes formas para executar esta definição, no entanto, este trabalho propõe uma maneira alternativa de realizar esta atividade, baseada nos roteiros e tempos de produção, e nos tempos de *setup*. Não foi encontrada na revisão da literatura nenhum trabalho onde esta forma de agregação da demanda constasse. Esta escolha se justifica pelo fato de a mesma permitir uma rápida construção de cenários e avaliação de alternativas durante o processo de *S&OP*, ou seja, o uso de famílias de produtos que representem de forma direta seus impactos na capacidade produtiva torna mais fácil e rápida a tomada de decisão frente a diferentes alternativas de plano agregado de produção.

Primeiramente, deve-se mapear os roteiros de produção (a construção de um diagrama *PFD* não é obrigatória, mas poderá facilitar o entendimento de quem estiver aplicando o método). No entanto, em alguns casos pode ocorrer a existência de um número muito elevado de roteiros de produção (em certas indústrias, cada *SKU* possui um roteiro distinto). Nestas situações recomenda-se agregar os roteiros em grupos de roteiros de produção. Os critérios para agrupar os roteiros dependerão da organização, mas obviamente estes roteiros deverão guardar similaridades entre si (por exemplo, mesma tecnologia ou mesmo departamento de produção).

De posse dos roteiros de produção, deve-se definir as famílias com base nos *setups* relevantes. Os produtos dentro de um mesmo roteiro que possuem *setups* relevantes entre si constituirão as famílias de produto (tempos de *setup* relevantes serão empregados como critérios para dividir os produtos em famílias dentro de um roteiro de produção). Devem ser considerados *setups* relevantes aqueles que precisam ser gerenciados no nível de plano

agregado de produção, ou seja, aqueles que possuem um impacto muito significativo na capacidade produtiva ou um impacto muito significativo no custo. Um exemplo deste tipo de *setup* ocorre em indústrias químicas, onde após a produção de um produto X é preciso parar o equipamento por horas para limpeza e sanitização, para então poder iniciar a produção de um produto Y.

Um *setup* que consome grande quantidade de tempo poderá ocorrer em qualquer uma das estações de trabalho que constituem o roteiro de produção. No entanto, em estações que não são o recurso crítico de capacidade este tipo de *setup* não será considerado relevante. Como nesta etapa do método ainda não se definiu formalmente quais são estes recursos críticos, deverá ser utilizada uma avaliação empírica para determiná-los, revisando-se esta decisão na etapa subsequente onde estes recursos são avaliados.

Por fim, após a definição das famílias, deve-se verificar a existência de questões relacionadas ao planejamento estratégico. Pode ocorrer, por exemplo, que determinados *SKUs* considerados estratégicos precisem ser tratados em separado, como uma família à parte. Desta forma, encerra-se a **Etapa 1 – Definição das famílias de produtos**.

Tendo definidas as famílias de produtos, será necessário carregar as ordens de produção em conjunto com a previsão de demanda nas estações de trabalho. O alcance da previsão de demanda irá definir o horizonte de planejamento agregado. Além disso, ela estará agrupada em determinados períodos (semanas, quinzenas, meses, etc...), e para cada um destes períodos deverá ser avaliada a quantidade de tempo que será consumida nas estações de trabalho. As estações que requisitarem mais tempo serão os recursos críticos de capacidade, em cada roteiro de produção.

Desta forma, define-se a segunda etapa do método proposto para elaboração de planos agregados de produção (**Etapa 2 – Definição dos recursos críticos**). Para fins de ilustração do método, no Quadro 8 consta uma representação da aplicação da Etapa 2.

Quadro 8 - Representação da aplicação da Etapa 2 do método.

	Ordens	Previsão de Demanda				
	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5	Período 6
Família 1 (unidades)						
Família 2 (unidades)						
Família 3 (unidades)						
Recurso crítico						
Número de Setups						

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta etapa, como o objetivo é avaliar a máxima ocupação possível das capacidades, considera-se a mínima perda de capacidade com *setups* possível de ser executada. Para isso, a organização deve organizar suas famílias de produtos em uma sequência que minimize as perdas com *setups*, e que garanta que todas as famílias são contempladas em cada período de agregação da demanda. Geralmente os *setups* são dependentes da sequência, ou seja, seus tempos variam em função da ordem com que as famílias de produtos são produzidas. Uma representação de como estas sequências de famílias constarão no plano agregado de produção consta na Figura 19.

Por fim, assim como ocorre na primeira etapa, destaca-se que aspectos da estratégia também devem ser levados em consideração. Na prática, isto significa que a organização pode optar por considerar como recurso crítico alguma estação de trabalho que não seja a estação com o maior consumo de tempo para atendimento da demanda. Esta escolha pode ser motivada por diversas razões, com por exemplo um cliente estratégico, ou alguma penalidade ligada a atrasos em determinados processos.

Após a definição dos recursos críticos segue-se para a terceira etapa (**Etapa 3 – Definição dos pulmões para os recursos críticos**), que inclui a definição dos pulmões de capacidade, de estoque e de espaço. Estas definições serão utilizadas como heurísticas para a construção do plano agregado de produção.

Pulmão de capacidade se refere à capacidade protetiva que a organização possui nos seus recursos críticos. Em teoria as organizações procuram sempre ocupar ao máximo suas

capacidades, e por isso o conceito de pulmão de capacidade pode aparentar ser um conceito que não ocorre na prática, pois seria um desperdício a empresa possuir uma capacidade e não ocupar ela propositalmente para que ela funcione como um pulmão de capacidade. No entanto, este conceito passa a fazer mais sentido quando se considera como pulmão de capacidade aquela capacidade que está relacionada a três variáveis:

- Tempo – Algumas alternativas de aumento de capacidade necessitam um certo tempo para serem implementadas, como por exemplo a contratação de funcionários para a colocação de um turno adicional de trabalho;
- Custo – A capacidade adicional pode estar associada a um custo adicional, e como exemplo deste tipo de situação é possível citar a matriz energética brasileira, onde as usinas termelétricas são acionadas somente em momentos de pico de demanda por possuírem um custo de operação maior;
- Aspectos qualitativos – Existem casos em que critérios qualitativos influenciam na utilização de um processo como pulmão de capacidade (como exemplo, neste caso, pode-se pensar em um processo que possui qualidade inferior, mas que passa a ser aceito pelo mercado em momento de escassez de determinado produto).

Portanto, a organização deve identificar quais as alternativas que podem ser utilizadas como pulmão de capacidade para seus recursos críticos. De acordo com Heizer, Render e Munson (2017), as principais alternativas que as empresas dispõem para aumentar sua capacidade em se tratando de planejamento agregado são: contratação de funcionários, uso de horas extras e subcontratação de parte da produção. A subcontratação envolve diversas modalidades, como a produção na planta do fornecedor, aluguel de equipamentos, e subcontratação interna (quando se utiliza algum processo interno que possui algum custo adicional). Para cada alternativa, devem ser mapeados o tempo, o custo e os aspectos qualitativos.

Pulmão de estoque pela definição da *TOC* pode ter a forma de matéria-prima, estoque em processo, possuindo a função de proteger o *throughput* do sistema. A aplicação deste conceito no plano agregado de produção também terá a função de proteger o *throughput* do sistema, no entanto, ele assume a forma de produção antecipada de determinadas famílias de

produtos com o objetivo de construir estoques em determinados períodos. O conceito de pulmão de estoque no planejamento agregado não deve ser confundido com os pulmões de estoque utilizados no fluxo de materiais, como por exemplo os estoques de matéria-prima utilizados para amortecer as oscilações nos prazos de entrega de fornecedores, e os estoques de produtos acabados utilizados em ambientes *MTS*.

Desta forma, independente do ambiente de produção, os pulmões de estoque no método proposto serão as alternativas que a organização terá a sua disposição para produzir determinadas famílias de produtos acima da demanda prevista em determinados períodos. Assim como acontece com o pulmão de capacidade, o uso destes pulmões estará associado a tempos, custos e aspectos qualitativos. Como exemplos, é possível citar os tempos de reação da cadeia de suprimentos, os custos de armazenagem de produtos, e como aspectos qualitativos, o nível de incerteza associado à produção antecipada e a validade dos produtos.

O último dos pulmões é o pulmão de espaço, cujo objetivo é garantir que não ocorram bloqueios nos recursos críticos. O bloqueio acontece quando as etapas do processo posteriores ao recurso crítico operam com um *throughput* inferior ao *throughput* do recurso crítico, gerando um acúmulo de material que impacta na sua produtividade. Conceitualmente, na lógica da *TOC* o pulmão de espaço nada mais é do que espaço suficiente à jusante do recurso crítico capaz de absorver estes acúmulos de material sem gerar bloqueios.

No nível de planejamento agregado, os bloqueios poderão ocorrer quando for produzida uma sequência grande de produtos que possuem um *throughput* inferior ao do recurso crítico nas etapas após o mesmo. Com o objetivo de evitar estas ocorrências, o pulmão de espaço é definido como sendo a quantidade máxima de produtos que estas sequências poderão ter, sendo estes produtos agrupados em uma família específica. Ressalta-se que, assim como nos demais pulmões, o tempo, o custo e aspectos qualitativos também precisam ser avaliados para o pulmão de espaço.

A quarta e última etapa do método tem por objetivo garantir que os demais planos da empresa estejam subordinados ao plano agregado de produção, e isto ocorre através da integração com o processo de *S&OP*. Como o *S&OP* possui a função de integrar os planos de vendas e os planos de operações, o plano agregado de produção passa a ser utilizado como fio

condutor do processo. Além disso, como o *S&OP* é por definição um processo iterativo, através do mesmo se garantirá a constante atualização das áreas de vendas e de operações, garantindo que seus planos continuem sempre alinhados e subordinados ao plano agregado de produção. Desta forma, a operacionalização da quarta etapa do método se dará de forma integrada com a estrutura de cinco passos recorrentes de condução do ciclo de *S&OP* descritas por Wallace e Stahl (2008), tipicamente encontrada nas organizações (**Etapa 4 – Subordinação dos demais planos através do *S&OP***).

O primeiro passo do ciclo de *S&OP* é a aquisição de dados necessários para a condução do processo. Para suportar a condução do método de elaboração de planos agregados de produção, a organização precisará adquirir e atualizar informações referentes às demandas de mercado, estoques, capacidades produtivas e *backlog* de pedidos. Este pacote de informações tradicionalmente consta nos ciclos de *S&OP* existentes nas empresas, de forma que não será necessário implementar nenhuma alteração neste passo.

O segundo passo, que trata do planejamento de demanda, passa a utilizar o plano agregado de produção como guia para as tomadas de decisão, no método proposto neste trabalho. Esta parte do ciclo de *S&OP* é onde a área comercial da organização se encarrega de atualizar o plano de vendas. Os principais pontos definidos nas etapas anteriores do método servirão de base para construção do plano de vendas, ou seja, as capacidades nos recursos críticos, as sequências de famílias de produto e os pulmões disponíveis fornecerão subsídio para que as principais decisões envolvidas no plano de vendas possam ser tomadas, como ofertas para clientes, prazos de entrega, oportunidades de vendas, etc...

O plano de vendas revisado seguirá para o terceiro passo do ciclo de *SOP*, que consiste no planejamento de capacidade. Neste passo, a organização deverá ajustar o plano agregado de produção dos recursos críticos visando atender ao plano de vendas. Estes ajustes no plano agregado serão realizados através de heurísticas simples, considerando as sequências de famílias de produtos, bem como os pulmões de capacidade, estoque e espaço.

Conforme já explicado, o uso destes pulmões estará relacionado a tempos, custos e outros aspectos qualitativos, de forma que a organização precisa gerenciá-los de forma adequada. Para isto, o conceito de folga de capacidade será utilizado, sendo definido como

sendo a diferença entre a capacidade real do recurso e a ocupação do recurso com os pedidos e/ou previsão de demanda. Este conceito está representado na Figura 19.

*Figura 19 - Representação da proposta de plano agregado.*

Período					
Capacidade	Capacidade Real				
Ocupação	Ocupação do Recurso Crítico				Folga
Família	A	B	C	D	
Unidades					

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto menor for a folga de capacidade, maior será o risco de problemas relacionados à entrega. Por isso, a organização deverá determinar um valor crítico de folga de capacidade, a partir do qual algum pulmão deverá ser acionado no plano agregado de produção. Apesar deste valor crítico de folga de capacidade ser muito dependente do ambiente em questão, entende-se que em geral ele será da mesma ordem de grandeza da diferença entre a capacidade efetiva e a capacidade real, e, portanto, o valor da diferença entre capacidade efetiva e a capacidade real pode ser utilizado como uma primeira estimativa do valor de folga de capacidade crítica.

Com esta definição em mãos, a organização irá elaborar a primeira versão do plano agregado de produção, considerando as seguintes heurísticas:

- Ajustar as sequências de famílias nos recursos críticos em cada período de demanda agregada de acordo com o plano de vendas (deve-se buscar um compromisso entre tamanhos de lote de produção de famílias e quantidade de tempo gasto com *setups* que garanta uma folga de capacidade maior que o nível crítico);
- Executar alterações nas sequências de famílias em função de restrições de capacidade avaliadas no terceiro passo do ciclo de *S&OP* (restrições de matéria-prima, restrições de distribuição, manutenções preventivas de grande impacto, desenvolvimentos de produtos, restrições de estoque, etc...);

- Definir o uso de pulmões de capacidade, estoque e espaço nos períodos em que a folga de capacidade mínima não puder ser garantida, explicitando seus impactos (custos e aspectos qualitativos).

O resultado será uma proposta de plano agregado de produção para cada recurso crítico e para cada período de agregação da demanda que irá possuir a estrutura apresentada na Figura 19. Como o número de restrições não será pequeno, os tomadores de decisão precisarão optar geralmente entre um leque pequeno de possibilidades, o que viabiliza a elaboração destes planos sem a necessidade de métodos otimizantes.

O ambiente de produção irá influenciar no tipo de pulmão que poderá ser preferencialmente utilizado. Em um ambiente *MTO*, por exemplo, o uso de pulmão de estoque terá um nível de incerteza muito elevado, portanto fará mais sentido a organização trabalhar com pulmão de capacidade, que em geral apresentam um custo mais elevado. Em um ambiente *MTS*, por outro lado, a empresa poderá valer-se do uso de pulmões de estoque em seu plano agregado de produção, utilizando um pulmão de capacidade como uma segunda alternativa. Isto posto, ressalta-se que o método é aplicável independente do ambiente de produção.

Após a conclusão da proposta de plano agregado de produção, segue-se para o quarto passo do ciclo de *S&OP*, que consiste na pré-reunião executiva de *S&OP*. Neste passo a organização procurará compatibilizar os conflitos que possam existir entre o plano de vendas e o plano agregado de produção. Deverão ser analisados diferentes cenários em conjunto com suas consequências no resultado da organização (custos relacionados ao uso dos pulmões, estratégias para influenciar a demanda, questões estratégicas, etc...).

Por fim, ocorrerá a reunião executiva de *S&OP*, que é o último dos cinco passos do ciclo de *S&OP*. Neste passo irá ocorrer a decisão sobre qual dos cenários será escolhido pela organização, considerando seus impactos na estratégia da empresa, na demanda, nos estoques, na capacidade produtiva, na quantidade de mão-de-obra utilizada e no resultado financeiro da organização. O cenário escolhido será formalizado como sendo o plano agregado de produção, e os demais planos da área de vendas e da área de operações deverão estar alinhados a ele. Além disso, a organização deverá estabelecer um procedimento determinado que alterações no plano



agregado sejam aprovadas pelos responsáveis que possuem a devida autoridade para isso, e que estas alterações sejam devidamente comunicadas dentro da organização.

## 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O MÉTODO

O método proposto para elaboração de planos agregados de produção se propõe a ser simples e de fácil adoção por parte das organizações. Entretanto, ficou evidente durante o seu desenvolvimento que alguns requisitos são necessários para sua implementação, isto é, há um nível de maturidade mínimo que a organização deve possuir para que o método possa ser implementado. Minimamente a empresa precisa possuir informações sobre sua capacidade produtiva, um processo de previsão de demanda funcional e um processo rudimentar de *S&OP*.

Para melhor representar o nível de maturidade necessário, utiliza-se o modelo para avaliação de maturidade proposto por Lapide (2005). Das três dimensões do modelo (reuniões, alinhamento entre vendas e operações, e sistemas de informação), é necessário que todas essas três dimensões estejam ao menos no estágio rudimentar. A estrutura de reuniões e o alinhamento entre vendas e operações se faz necessário para que a criação e avaliação de cenários ocorra de forma produtiva. Quanto aos sistemas de informação, sem um sistema básico a aquisição de informações relacionadas à capacidade produtiva, à demanda, a suprimentos e à distribuição ficará prejudicada.

Apesar de ser possível implementar o método em uma organização com maturidade rudimentar de *S&OP*, os resultados obtidos tendem a ser melhores em empresas mais maduras. Uma das características de processos de *S&OP* mais desenvolvidos é possuírem uma forma estruturada de medição de desempenho do processo. Onde este for o caso, entende-se que as seguintes medições de desempenho serão positivamente afetadas pela utilização do método, utilizando o *framework* para medição de desempenho proposto por Hulthén, Näslund e Normman (2016): aderência na utilização de recursos, aderência aos planos e atendimento à requisitos de clientes.

Isto posto, é possível afirmar que o método desenvolvido é relativamente simples, pode ser aplicado em empresas com nível relativamente baixo de maturidade de *S&OP* e integra-se com os demais planos elaborados durante esta etapa do planejamento de produção. Um resumo do método consta no Quadro 9, onde o mesmo está descrito em função de suas etapas e das tarefas críticas que devem ser executadas em cada uma destas etapas.

*Quadro 9 - Descrição do método de elaboração de planos agregados.*

<b><i>Etapas</i></b>	<b><i>Tarefas Críticas</i></b>
<b>1 - Definição das famílias de produtos</b>	Mapear roteiros de produção Definir famílias com base nos <i>setups</i> relevantes Avaliar aspectos estratégicos na escolha das famílias
<b>2 - Definir recursos críticos</b>	Carregar a previsão de demanda e pedidos nos recursos Identificar recursos críticos de capacidade Avaliar aspectos estratégicos na escolha dos recursos críticos Definir sequências de famílias nos recursos críticos
<b>3 - Definir pulmões nos recursos críticos</b>	Caracterizar pulmões de capacidade Caracterizar pulmões de estoque Caracterizar pulmões de espaço
<b>4 - Subordinar demais planos através do <i>S&amp;OP</i></b>	Aquisição de dados Elaborar plano de vendas Elaborar proposta de plano agregado de produção Avaliar e discutir cenários Validar plano agregado de produção

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6. APLICAÇÃO DO MÉTODO EM UM CASO REAL

Para a validação do método proposto neste trabalho, executou-se sua aplicação em um caso real, seguindo o passo-a-passo descrito no Quadro 9. Segue abaixo uma descrição de como ocorreu esta etapa do trabalho.

### 6.1 DESCRIÇÃO DA ORGANIZAÇÃO

O ambiente de produção onde o método foi aplicado é uma planta industrial de processamento de plástico que opera convertendo uma matéria-prima básica (uma resina termoplástica) em uma infinidade de produtos acabados. Devido ao elevado número de atributos que podem ser alterados em cada etapa deste processamento, as quais incluem propriedades físicas, químicas e visuais, o número de *SKUs* é de diversas centenas. O parque industrial possui oito linhas de produção e quatro estações de acabamento (utilizadas para anteder a mercados específicos). As linhas de produção tem a parte inicial de seu processo operando de forma contínua (alto volume de produção), e as etapas finais são processos intermitentes onde são conferidas as diversas características que irão caracterizar os diversos *SKUs*.

Os mercados atendidos estão divididos em três unidades de negócio, e os critérios utilizados para caracterização destas unidades de negócio são relacionados à aplicação a que os produtos se destinam. Com algumas exceções, características comuns a todos os mercados atendidos são a elevada volatilidade da demanda em termos de mix, uma baixa volatilidade em termos de volume (clientes principais possuem contratos que asseguram um volume regular de compra) e baixa presença de sazonalidade. Em função da elevada volatilidade no mix, a maior parte dos produtos é produzida em uma lógica *MTO*, com algumas exceções de produtos feitos em uma lógica *MTS*.

No que se refere à maturidade do processo de *S&OP*, a empresa se encontra em um estágio de maturidade clássico. Utilizando o *framework* proposto por Lapidé (2005), em termos

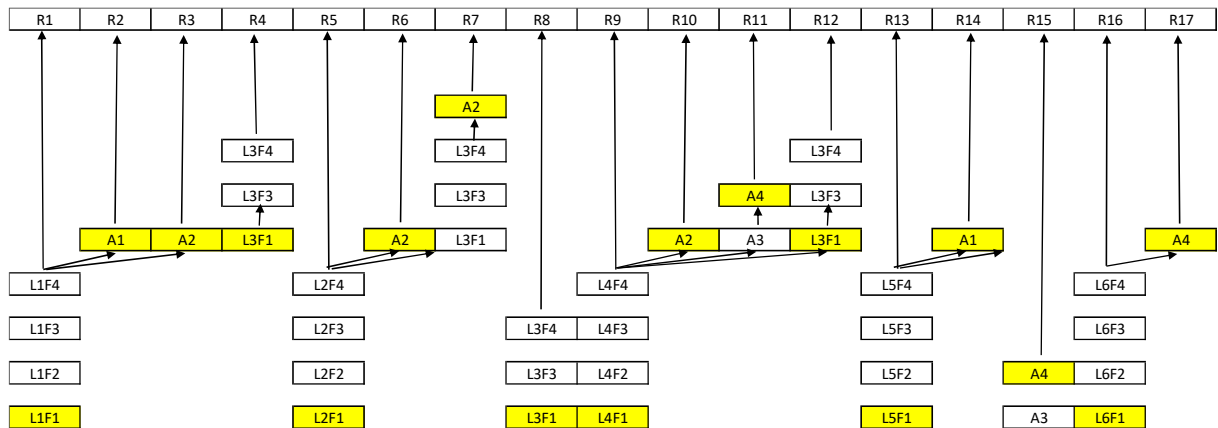
de reuniões e planejamento, e em termos de alinhamento entre vendas e operações a organização possui processos razoavelmente estruturados, no entanto, no que tange a sistemas de informação a empresa ainda está em um estágio rudimentar, utilizando uma série de planilhas eletrônicas descentralizadas. Atualmente, o processo é conduzido envolvendo as quatro plantas que a empresa possui no Brasil, no entanto, o método foi aplicado somente em uma destas unidades durante este estudo.

## 6.2 PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO

Para a implementação do método, algumas informações acerca do ambiente de produção se fazem necessárias: roteiros de produção, tempos de processamento, tempos de *setup*, capacidade efetiva, capacidade real, e alcance da previsão de demanda. Todas estas informações se encontravam disponíveis e foram obtidas através de análise documental. Cabe ressaltar que houve facilidade para coleta destas informações porque o pesquisador faz parte da organização em questão, pois como não existem sistemas de informação maduros, elas se encontram espalhadas em diversas locais diferentes e em diversos departamentos diferentes (PCP, Comercial e Produção).

De posse destas informações, seguiu-se para a Etapa 1 do método, que consiste na definição das famílias de produtos. A primeira tarefa desta etapa é a definição dos roteiros de produção que serão utilizados como base para definição das famílias. No caso em questão, os produtos fornecidos foram agregados em 17 rotas de produção distintas. Alguns processos idênticos, que podem ser executados em máquinas distintas (situadas em locais distintos dentro da planta) foram agregados em um mesmo roteiro de produção para aplicação do método. Estes roteiros estão representados na Figura 20, onde as siglas iniciadas pela letra “L” representam as estações de trabalho das linhas de produção, e as siglas iniciadas pela letra “A” representam as estações de acabamento.

Figura 20 - Representação dos roteiros de produção.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a definição dos roteiros de produção, é preciso verificar os *setups* relevantes nos recursos críticos de capacidade para definir quais serão as famílias de produtos utilizadas no planejamento agregado de produção. Uma particularidade do processo que chamou atenção nesta etapa foi o fato de que, em determinadas linhas de produção os produtos apresentam um tempo de *setup* que é proporcional à diferença de gramatura entre o produto que estava sendo produzido anteriormente (quanto maior a diferença, maior o *setup*). Para lidar com esta peculiaridade, foram estabelecidas faixas de gramatura, dentro das quais os *setups* serão aceitáveis. Obviamente, cada uma destas faixas passou a constituir uma família de produtos.

Após a verificação dos tempos de *setup* foram definidas 44 famílias de produtos. O número aparenta ser alto, mas como estas famílias estão distribuídas entre os recursos críticos, de forma que grande parte delas estarão disponíveis para serem produzidas apenas em um dos roteiros de produção, o número é possível de ser gerenciado. Dentre estas famílias, uma das famílias utilizadas no roteiro R9 foi definida com base em critérios estratégicos. Trata-se de um produto que possui requisitos muito específicos de qualidade, que demandam a utilização de recursos especiais para sua produção, sendo, portanto, agregados em conjunto. Desta forma, concluiu-se a primeira etapa do método.

Na execução da Etapa 2, inicialmente foram carregadas a previsão de demanda em conjunto com os pedidos firmes. O alcance da previsão de demanda na empresa estudada é de seis meses. Em seguida, foi possível identificar os RCC em cada roteiro de produção, os quais encontram-se sombreados na Figura 20. Durante a execução desta tarefa alguns fatos destacaram-se. Em uma das linhas de produção, evidenciou-se que o RCC não era o recurso que a organização tratava como gargalo. O que ocorria era que em função do mix, em diversos momentos uma das estações de trabalho após o recurso crítico ficava com um *throughput* inferior, o que gerava um bloqueio no RCC com consequentes perdas de produtividade. Esta situação foi resolvida ao longo das etapas subsequentes de aplicação do método. Além disso, a correta identificação do RCC permitiu à organização tomar outras ações para corrigir a situação (uma destas ações foi o aumento do espaço físico na frente RCC), o que foi um ganho inesperado durante a aplicação do método, enfatizando a validade da *TOC*.

O segundo fato relevante é que, ao contrário do que é indicado pela boa prática, a previsão de demanda fornecida pela área comercial é uma previsão já ajustada para a capacidade de produção esperada (o recomendado pela literatura é que nas etapas iniciais do processo de *S&OP* a previsão de demanda total fosse apresentada desconsiderando as restrições de capacidade). Esta oportunidade de melhoria foi informada para os envolvidos no processo, mas não foi possível alterar esta condição durante o estudo. Mesmo assim, apesar de não ser o formato ideal, na prática os tomadores de decisão acabam discutindo em reuniões gerenciais o que é chamado de “demanda adicional”, de forma que a informação completa está disponível de maneira informal.

No que tange à consideração de aspectos estratégicos na definição dos recursos críticos, ocorreu a decisão de considerar uma das estações de acabamento como recurso crítico (estação A3). Apesar de que o carregamento da previsão de demanda e dos pedidos não indicarem ela como sendo um RCC, a organização entendeu que esta era uma situação temporária devido à baixa produtividade que seus produtos estavam tendo nas etapas subsequentes de processamento, ocasionados por problemas crônicos em algumas matérias-primas, e que assim que estes fossem resolvidos a estação A3 passaria a ser um recurso crítico. Desta forma, esta estação foi considerada uma questão estratégica e a estação A3 foi considerada como um recurso crítico.

A última tarefa executada dentro da Etapa 2 foi a definição das sequências ideais de famílias de produto dentro de cada período utilizado para agregar, para cada um dos recursos críticos. Como na organização em questão a previsão de demanda é agregada em meses, é possível executar as sequências de famílias mais de uma vez dentro deste período. Cada uma destas sequências foi chamada de ciclo, e o número de vezes que estes ciclos são repetidos varia em função do recurso crítico. Os principais aspectos levados em consideração na definição das sequências de produção foram as perdas relacionadas aos *setups* (na tecnologia empregada na empresa, além de tempos elevados de *setups*, em muitos casos há um custo elevado associado à geração de refugos), espaço em estoque e volatilidade do mix (que faz com que o período de congelamento de demanda para fins de planejamento seja de apenas dez dias).

Tendo a organização definido suas sequências de famílias de produtos em cada recurso crítico de capacidade, seguiu-se para a caracterização dos pulmões, que constituem a Etapa 3 do método. Devido à natureza contínua do processo de produção empregado, a maior parte das estações de trabalho opera em regime ininterrupto, 24 horas por dia, de forma que não existe nenhum tipo de pulmão de capacidade. Entretanto, existem alternativas de aumento de capacidade em algumas estações de acabamento. A atividade executada nas estações do tipo A1 pode ser subcontratada, mas se incorre em custos adicionais e restrições de qualidade (alguns clientes não aceitam receber material processado por estes *stakeholders*). Além disso, mesmo quando sua utilização não é necessária, a empresa precisa manter uma demanda mínima de material destinada para estas empresas terceirizadas, para que elas mantenham a operação “viva”. Pode-se dizer, portanto, que existe um custo fixo em manter este pulmão de capacidade ativo.

Além da subcontratação utilizada nas estações do tipo A1, nas estações A4 o pulmão de capacidade é o aumento da força de trabalho, pois nestes locais, o *throughput* é proporcional a quantidade de operadores. Obviamente o uso de parte desta capacidade adicional envolve custos com horas-extras e pode ser imediatamente acionada, e uma outra parte envolve a contratação de trabalhadores e requer um período de cerca de um mês para ser utilizada, considerando o tempo de contratação e treinamento da mão-de-obra.

Os pulmões de estoque foram caracterizados como alternativa válida para as famílias de produtos que são processadas pelo recurso crítico L6F1, e para uma família de produtos

processada pelo recurso crítico L2F1. Nas demais famílias e roteiros esta não foi considerada como sendo uma alternativa válida devido à elevada volatilidade da demanda.

O pulmão de espaço foi definido para o recurso crítico L5F1, onde alguns produtos ocasionavam um bloqueio à jusante do mesmo. Como a gama de *SKUs* é muito elevada, esta situação ocorre em menor e maior grau a depender do produto em questão. A solução encontrada foi definir uma família de produto específica para os casos em que este tipo de bloqueio era mais intenso. Desta forma, foi possível balancear a entrada desta família de produtos de forma a preservar o *throughput* do recurso crítico.

A integração do método com o processo de *S&OP* ocorreu na Etapa 4, conforme previsto pelo método. Utilizaram-se as sequências de famílias de produtos nos recursos críticos e os pulmões caracterizados anteriormente como fios condutores dos cinco passos do *S&OP*. Foram acompanhados três ciclos de *S&OP* com a utilização do método proposto (os ciclos ocorrem mensalmente no caso estudado).

No primeiro passo do processo, a aquisição dos dados referentes à demanda, estoques, *backlog* e capacidades produtivas foram todos obtidos sem maiores problemas e sem nenhuma alteração sobre como estas atividades são conduzidas pela organização. A partir do segundo passo, que trata do planejamento de demanda, as definições das etapas anteriores do método passaram a influenciar na condução do *S&OP*. Na concepção inicial do método, o objetivo era que a área responsável pelas vendas utilizasse no segundo passo do *S&OP* as capacidades nos recursos críticos, as sequências de famílias de produto e os pulmões disponíveis como subsídio para a elaboração do plano de vendas. Estas informações foram realmente utilizadas, no entanto, não de forma explícita como foi inicialmente planejado.

Na avaliação de alguns gestores da empresa, a utilização das diversas famílias de produto presentes nos recursos críticos em conjunto com os pulmões disponíveis seriam uma informação pouco inteligível para a área de vendas. Desta forma, neste passo utilizou-se uma versão resumida das informações provenientes das etapas anteriores do método: capacidade real, recursos críticos de capacidade, e a quantidade de vezes que cada sequência de famílias iria se repetir em cada período. De posse destas informações, foi possível elaborar um plano de vendas que compatibilizasse as demandas dos clientes os conflitos internos da própria área de



vendas relativos às diferentes unidades de negócio atendidas com as restrições de capacidade existentes. A revisão destes planos de vendas continuou sendo executada mensalmente, conforme ocorria antes da aplicação do método.

O plano de vendas seguiu para o terceiro passo do ciclo de *S&OP*, que consiste no planejamento de capacidade. Na empresa estudada, este passo era executado através de reuniões envolvendo as áreas de PCP, Produção, Manutenção, P&D, HSE e Qualidade. O nível crítico para a folga de capacidade em todos os recursos críticos foi definido como sendo de 1 dia produção. Isto ocorreu porque o período de agregação de demanda utilizado pela organização é de um mês, e neste período a diferença entre a capacidade real e a capacidade efetiva em todos os recursos críticos é de aproximadamente 1 dia de produção.

Com os níveis críticos de folga de capacidades definidos, seguem descritos abaixo os principais pontos observados durante a execução do terceiro passo do *S&OP* nos três ciclos em que o processo foi acompanhado, no que se refere às três heurísticas utilizadas para guiar a elaboração do plano agregado de produção. Em relação a ajustes nas sequências de famílias e tamanho de lotes de produção destas famílias nos recursos críticos em função do plano de vendas foi observado o seguinte:

- Pequenos ajustes em todos os recursos críticos foram executados em todos os ciclos de planejamento, buscando atender ao plano de vendas devido a alterações na demanda ocorridas entre cada ciclo de planejamento;
- Produtos que eram produzidos em outras plantas da empresa foram movidos para a planta estudada, e alguns destes produtos geram *setups* adicionais e possuem um tempo de ciclo bastante diferente do habitual. Foram criadas duas novas famílias de produto para alocar estes produtos;

No que tange a ajustes necessários no plano em função de restrições gerais de capacidade avaliadas no *S&OP* os principais pontos observados foram:

- Em todos os ciclos de planejamento ocorreram alterações nos planos em função de restrições ligadas a suprimentos, em vários recursos críticos. Algumas destas alterações nos planos foram capazes de evitar atrasos nas entregas sem prejudicar a eficiência operacional;

- No período observado, ocorreram algumas alterações pontuais devido a restrições de distribuição em alguns produtos fornecidos para mercados fora do país. Não foi possível evitar atrasos para estes clientes, mas foi possível evitar custos com armazenagem;

- P&D solicitou que alguns produtos em fase de desenvolvimento recebessem tratamento especial no plano, pois precisavam ter sua produção acompanhada por especialistas da área. Designaram-se famílias de produto específicas para estes itens;

- Qualidade solicitou que alguns produtos fossem movidos de um equipamento para outro em função de reclamações recebidas de alguns clientes. Neste caso, a família de produto que estava alocada em um recurso crítico foi movida para outro recurso.

Nos ciclos de *S&OP* observados a organização estava em um momento de demanda superior à capacidade para maior parte dos mercados atendidos, levando ao acionamento da maior parte dos pulmões disponíveis, conforme descrito abaixo:

- A subcontratação dos serviços equivalentes à etapa de acabamento A1 foi planejada em todos os períodos (pulmão de capacidade), considerando que não havia nenhuma folga de capacidade;

- O pulmão de capacidade na etapa de acabamento A4 não precisou ser utilizado, tendo em vista que a folga de capacidade foi sempre superior ao nível crítico;

- Os pulmões de estoque não foram utilizados em nenhum período;

- A família de produtos que permite evitar bloqueios no recurso L5F1 foi integrada definitivamente nos planos agregados de produção (pulmão de espaço).

Um ponto adicional e relevante observado neste passo foram algumas restrições relacionadas à forma com que os pedidos são colocados no *ERP* da empresa, que impediram que algumas rotas de produto que haviam sido agrupadas para simplificar o planejamento na Etapa 1 se mantivessem desta forma. A organização entende que esta agregação facilitaria e melhoraria o planejamento, mas não houve tempo para que essa alteração nos sistemas de informação fosse executada.

O resultado deste passo foi uma proposta de plano agregado de produção, com as sequências das famílias definidas para cada recurso crítico, e as capacidades reais de cada recurso. Na Figura 21 é possível visualizar uma representação deste plano.

Figura 21 - Representação do plano agregado de produção (recorte do período de um mês).

	1º Ciclo (11 dias)											2º Ciclo (9 dias)					3º Ciclo (10 dias)									
Cap (t/d)	Tecnologia	Cor	Data																							
35	Tec 1	Branco	01 sáb																							
35	Tec 1	Branco	02 dom																							
40	Tec 2	Branco 13 - 40	03 seg																							
40	Tec 2	Branco 13 - 40	04 ter																							
40	Tec 2	Branco 13 - 40	05 qua																							
40	Tec 2	50	06 qui																							
50	Tec 2	Azul Steel	07 sex																							
50	Tec 2	Azul Steel	08 sáb																							
50	Tec 2	Azul Steel	09 dom																							
50	Tec 2	Azul Steel	10 seg																							
50	Tec 2	GU	11 ter																							
35	Tec 1	Branco	12 qua																							
35	Tec 1	Branco	13 qui																							
8,0	Parada para substituição + preventiva			14 sex																						
40	Tec 2	Branco 13 - 40	15 sáb																							
40	Tec 2	Branco 13 - 40	16 dom																							
50	Tec 2	* Amarelo	17 seg																							
50	Tec 2	Azul Steel	18 ter																							
50	Tec 2	Azul Steel	19 qua																							
50	Tec 2	GU	20 qui																							
35	Tec 1	Branco	21 sex																							
35	Tec 1	Branco	22 sáb																							
40	Tec 2	Branco 13 - 40	23 dom																							
40	Tec 2	Branco 13 - 40	24 seg																							
40	Tec 2	Branco 13 - 40	25 ter																							
40	Tec 2	Branco 13 - 40	26 qua																							
50	Tec 2	Azul Steel	27 qui																							
50	Tec 2	Azul Steel	28 sex																							
50	Tec 2	Azul Steel	29 sáb																							
50	Tec 2	GM, GL, AA,	30 dom																							
50	Tec 2	GM, GL, AA,	31 seg																							

Fonte: Elaborado pelo autor.

Finalizado o planejamento de capacidade, ocorre o quarto passo do processo. De acordo com a literatura, este passo ocorre através de uma pré-reunião executiva, onde busca-se um consenso entre a área de vendas e de operações. No caso estudado, a área de PCP executa este passo através de reuniões com a área comercial onde estes ajustes são realizados. Estas reuniões possuem um foco grande no curto prazo (demanda do mês em questão), não obstante, os conflitos levantados no passo anterior passaram a ser trazidos para estas reuniões onde cenários são avaliados e alternativas para influenciar a demanda e para gerenciar o *backlog* de pedidos são discutidas. No período observado, diversos conflitos surgiram relacionados à incompatibilidade entre as datas de entrega solicitadas pelos clientes e às datas previstas de acordo com o plano agregado de produção.

O último passo foi a avaliação do plano agregado de produção na reunião executiva de *S&OP*. Para esta reunião os gestores entenderam que, assim como no passo de planejamento de demanda, não era necessária a apresentação do plano agregado em sua versão detalhada incluindo as famílias de produto. Optou-se por visualizar apenas a capacidade real de cada recurso crítico em cada período de agregação da demanda, explicitando as decisões que haviam

sido tomadas e os conflitos envolvidos entre a demanda e a capacidade. Nos três ciclos de planejamento acompanhados, foram executados ajustes importantes entre a demanda e a capacidade disponível. Parte destes conflitos emergiu pela introdução do novo método de elaboração de planos agregados de produção, pois a capacidade real apresentada passou a apresentar variações em determinados períodos e recursos (antes da aplicação do método a empresa estava operando basicamente projetando que a capacidade média total nos períodos anteriores se repetiria de maneira constante no futuro). Obviamente isto gerava incompatibilidade entre demanda e capacidade, e quando os conflitos ficavam evidentes já não havia tempo para solucioná-los.

Em algumas situações foi necessário realizar alterações no plano agregado que já havia sido aprovado, após a reunião executiva, devido à elevada volatilidade da demanda. Quando isto ocorreu, as alterações foram realizadas pelo PCP, que comunicou às demais áreas sobre estas alterações nos planos por e-mail, garantindo que as áreas afetadas pelas alterações pudessem reagir de forma adequada.

Um resumo dos principais fatos descritos acima, observados durante a aplicação do método, consta no Quadro 10.

*Quadro 10 - Fatos relevantes observados durante aplicação do método.*

<i>Etapa</i>	<i>Fatos relevantes observados</i>
<b>1 - Definição das famílias de produtos</b>	Nível baixo de maturidade dos sistemas de informação não impediu a aplicação do método Critérios para <i>setups</i> relevante tiveram que ser arbitrados em alguns casos
<b>2 - Definir recursos críticos</b>	Previsão de demanda sem restrições não estava disponível de maneira formal Houve um caso em que o RCC correto não era conhecido pela empresa A definição de um RCC ocorreu por questões estratégicas As restrições existentes limitaram as possíveis sequências de famílias, facilitando sua definição
<b>3 - Definir pulmões nos recursos críticos</b>	Pulmão de capacidade foi caracterizado na forma de subcontratação e horas-extras Foram identificadas poucas opções para pulmão de estoque (portfólio em grande parte <i>MTO</i> ) Pulmão de espaço foi caracterizado através de uma família de produtos em específico
<b>4 - Subordinar demais planos através do S&amp;OP</b>	Para o planejamento de demanda foi necessária uma versão simplificada do plano agregado O nível crítico de folga de capacidade pôde ser definido de forma uniforme para todos recursos Diversas restrições identificadas no planejamento de capacidade impactaram no plano agregado Restrições no <i>ERP</i> da empresa impactaram na definição de algumas famílias de produtos Para a reunião executiva foi utilizada uma versão simplificada do plano agregado Alterações ocorreram nos planos após a realização executiva

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 7. CONSIDERAÇÕES SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO E REVISÃO DO MÉTODO

Conforme foi explicado no capítulo 5, esperava-se que o método proposto gerasse impactos positivos em três indicadores do processo de S&OP: aderência na utilização de recursos, aderência aos planos e atendimento geral do cliente. No estágio atual de maturidade que a organização se encontra, não foi possível evidenciar melhora nos indicadores formalmente controlados pela empresa pois não é possível isolar os impactos que somente esta iniciativa gerou.

No caso dos indicadores de utilização dos recursos, a empresa mede a quantidade de horas paradas e a produtividade de seus recursos, não sendo possível isolar as causas das perdas que impactam nesta métrica. No quesito atendimento ao cliente, o principal indicador utilizado é o *OTIF (On Time in Full)*, indicador que mede o percentual de entregas realizadas na quantidade correta e no prazo correto, e que também é afetado por diversas causas. E no caso da aderência aos planos, não há nenhuma medida formal realizada pela empresa.

De qualquer forma, alguns fatos observados evidenciam melhoras obtidas nos três meses em que se observou o método sendo utilizado. São eles:

- A identificação das restrições de capacidade no nível agregado pavimentou o caminho que estes gargalos fossem explorados ao máximo, possibilitando que a organização direcionasse todos os recursos possíveis para os mesmos. Sem a aplicação do método esta capacidade passaria despercebida pela organização;
- As reuniões de planejamento de capacidade se tornaram mais produtivas, permitindo que diversas decisões de alocação de demanda em determinados centros de trabalho ocorressem, o que não teria acontecido sem um método estruturado para discussão destes temas;
- Impactos negativos em clientes foram evitados graças a identificação antecipada de conflitos, os quais na situação anterior somente seriam percebidos durante a etapa de elaboração dos planos mestres de produção, quando já não haveria tempo hábil para evitar um impacto em produtividade ou no mercado;

- A existência ciclos pré-determinados nos planos agregados de produção garante estabilidade e previsibilidade tanto para a operação quanto para a área de vendas, o que invariavelmente leva a uma maior aderência aos planos desenvolvidos a nível de S&OP.

Apesar dos efeitos positivos descritos acima, algumas oportunidades de melhoria no método de elaboração de planos agregados de produção foram identificadas durante sua aplicação. A discussão acerca destes pontos consta a seguir.

## 7.1 REVISÃO DO MÉTODO

A aplicação do método proposto para elaboração de planos agregados de produção em um caso real permitiu avaliar alguns aspectos relacionados a sua aplicabilidade. Com base nos fatos relevantes observados, os quais constam no Quadro 10, foi possível identificar alguns ajustes a serem executados no método inicialmente proposto.

De uma forma geral, verificou-se que o método pode ser utilizado quase que em sua totalidade. Mesmo em uma organização com baixa maturidade no que tange a sistemas de informação, o método pôde ser utilizado sem maiores problemas. Outrossim, dois ajustes foram executados no método conforme comentado a seguir.

O primeiro ajuste diz respeito à exploração dos RCC. A aplicação do método em um caso real demonstrou um potencial de aumento de *throughput* que inicialmente não havia sido previsto. Foi identificado durante a aplicação do método que havia uma situação em que a organização não havia mapeado corretamente o gargalo de uma determinada operação. De fato, ocorria um constante bloqueio no RCC neste local, e isto induzia a organização à conclusão equivocada de que o recurso após o verdadeiro RCC era a restrição. Ao identificar corretamente a restrição desta operação, a empresa foi capaz de aumentar o espaço físico a frente do gargalo e ajustar algumas de suas regras utilizadas para o sequenciamento fino de atividades nesta estação de trabalho, o que por consequência reduziu a ocorrência de bloqueios e elevou o *throughput* do sistema.

A ocorrência descrita acima ilustra a aplicação dos cinco passos de focalização da *TOC*. Baseado nisto, propõe-se uma tarefa adicional no método, a ser executada durante o planejamento de capacidade no processo de *S&OP*: verificação de alternativas disponíveis para elevar o *throughput* dos recursos críticos. A explicitação desta tarefa visa garantir a exploração do máximo potencial possível das restrições do sistema.

O segundo ajuste no plano diz respeito ao nível de detalhe a ser utilizado do plano agregado de produção a ser utilizado nas diferentes etapas do processo *S&OP*. Para as etapas de planejamento de demanda e para a reunião executiva de *S&OP* os gestores da empresa onde o método foi testado julgaram que o nível de detalhe inicialmente proposto era muito elevado, o qual envolvia 10 recursos críticos e mais de 40 famílias de produtos. Esta crítica levou à conclusão de que o nível de detalhe deveria ser compatibilizado para estes passos do *S&OP*.

Deve-se considerar que parte do nível elevado de detalhe se deve à complexidade da planta em que o método foi estudado. Em um caso mais simples, em que exista um número inferior de RCCs, o nível de detalhe apresentado poderia não ter sido questionado. De qualquer forma, apesar da definição de famílias com base nos roteiros de produção e nos tempos de *setup* constituírem um aspecto fundamental do método, deve-se avaliar o nível de detalhe a ser apresentado durante o processo de *S&OP*. Mesmo quando as sequências de famílias de produtos não estiverem explícitas em uma versão simplificada do plano utilizada no processo de *S&OP*, suas premissas estarão definindo a capacidade real e os pulmões existentes, e estarão guiando a elaboração do plano mestre de produção.

Para lidar com esta questão, propõe-se uma tarefa adicional no método: a criação de um modelo-base de plano. Neste modelo-base, constarão apenas os RCCs e suas capacidades produtivas, constituindo uma versão simplificada do plano agregado de produção, que poderá ser utilizado em cenários com muita complexidade de detalhes.

Isto posto, tem-se a versão final e revisada do método de elaboração de planos agregados de produção, que consta no Quadro 11. Não foi necessário executar nenhuma alteração radical em sua estrutura e as tarefas críticas adicionadas estão destacadas em negrito.

*Quadro 11 - Método de elaboração de planos agregados de produção revisado.*

<b>Etapa</b>	<b>Tarefas Críticas</b>
<b>1 - Definição das famílias de produtos</b>	Mapear roteiros de produção Definir famílias com base nos <i>setups</i> relevantes Avaliar aspectos estratégicos na escolha das famílias
<b>2 - Definir recursos críticos</b>	Carregar a previsão de demanda e pedidos nos recursos Identificar recursos críticos de capacidade Avaliar aspectos estratégicos na escolha dos recursos críticos Definir sequências de famílias nos recursos críticos
<b>3 - Definir pulmões nos recursos críticos</b>	Caracterizar pulmões de capacidade Caracterizar pulmões de estoque Caracterizar pulmões de espaço
<b>4 - Subordinar demais planos através do S&amp;OP</b>	<b>Definir modelo-base de plano (RCCs e capacidade)</b> Aquisição de dados Elaborar plano de vendas Elaborar proposta de plano agregado de produção <b>Avaliar alternativas para elevação dos RCCs</b> Avaliar e discutir cenários Validar plano agregado de produção

Fonte: Elaborado pelo autor.



## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal de elaborar um método estruturado de elaboração de planos agregados de produção foi alcançado, bem como os objetivos específicos de identificar os artefatos existentes na literatura do assunto, de aplicar a *TOC* no planejamento agregado de produção e de validar o método através de sua aplicação em um caso real.

O uso do paradigma da *Design Science* para condução do trabalho demonstrou-se pertinente. O conceito de artefato permitiu que se lançasse um olhar sobre a literatura existente focado em entender suas heurísticas de construção e suas heurísticas contingenciais, o que por consequência contribuiu de maneira decisiva para a elaboração do método de elaboração de planos agregados de produção. Além disso, destaca-se o conceito de solução satisfatória, que auxilia de forma relevante na condução de pesquisas que buscam resolver problemas reais, que é o caso deste trabalho. Ao mesmo tempo em que o rigor metodológico é garantido pelo conceito de validade pragmática das soluções, o foco na solução satisfatória garante a eficácia da pesquisa, no sentido de realmente contribuir para a solução do problema identificado.

No que se refere ao uso da *TOC* no planejamento agregado de produção, a aplicação baseou-se na aplicação dos cinco passos de focalização. Esta aplicação demonstrou-se totalmente compatível com o planejamento agregado, e permitiu o desenvolvimento de uma visão alternativa do processo, em que as restrições são visualizadas através da soma dos pedidos firmes com a previsão de demanda, em que estas restrições são protegidas através de pulmões que são controlados através da folga de capacidade, e onde todo o sistema é subordinado a estas restrições através do processo de *S&OP*.

A aplicação do método em um caso real foi bem-sucedida. No período em que foi observada a aplicação do método foram observadas uma série de melhorias relacionadas a melhor compatibilização da demanda com a capacidade existente (o *throughput* das restrições de capacidade pode ser mais bem explorado e aumentado, impactos negativos em algumas entregas foram evitados, e a aderência aos planos aumentou). Foi possível observar também que apesar dos parâmetros do sistema passarem por diversas alterações nos ciclos de planejamento acompanhados (alterações em famílias de produtos, transferência de produtos de

um centro de trabalho para outro, alterações causadas por restrições de matéria-prima), as premissas básicas do método se mantiveram válidas.

A principal sugestão para trabalhos futuros é a aplicação do método em diferentes contextos, incluindo diferentes ambientes de produção, diferentes indústrias e organizações com diferentes maturidades de *S&OP*, explorando outras limitações e oportunidades de melhoria que não tenham sido evidenciadas neste trabalho. Além disso, uma outra direção para pesquisas futuras é analisar o tema deste trabalho através de um outro paradigma, analisando mais a fundo os aspectos conceituais da *TOC* aplicados ao planejamento agregado da produção.

## REFERÊNCIAS

- AIASSI, R.; SAJADI, S. M.; MOLANA, S. M. H.; BABGOHARI, A. Z. **Designing a stochastic multi-objective simulation-based optimization model for sales and operations planning in built-to-order environment with uncertain distant outsourcing.** Simulation Modelling Practice and Theory, v. 104, 2020.
- AIASTUI, A.; EULATE, U.; GUIASOLA, M. **A strategic approach for bottleneck identification in make-to-order environments: A drum-buffer-rope action research based case study.** Journal of Industrial Engineering and Management. V. 13, 2020.
- ALGHAMDI, F.; ABDULAZIZ, A.; WEHEBA. **Application of Drum-Buffer-Rope (DBR) in a computer assembly plant.** The Journal of Management and Engineering Integration, v. 8, 2015.
- ALGHAMDI, F.; WEHEBA, G. **Economic approach for determining the time buffer in synchronous manufacturing.** The Journal of Management and Engineering Integration, v. 9, 2016.
- AMBROSE, S. C.; MATTHEWS, L. M.; RUTHERFORD, B. N. **Cross-functional teams and social identity theory: A study of sales and operations planning (S&OP).** Journal of Business Research, v. 92, p. 270-278, 2018.
- BELL, N.; WEHEBA. **A pilot implementation of the Drum-Buffer-Rope and reported reported benefits.** The Journal of Management and Engineering Integration, v. 11, 2018.
- BLACKSTONE, J. H. A review of literature on drum-buffer-rope, buffer management and distribution. In: COX, J. F.; Schleier, J. G. **Theory of constraints handbook.** New York. McGraw-Hill, 2010. P 259-311.
- BLACKSTONE, J. H. **APICS dictionary.** 14ed. Chicago, 2014.
- BOWER, P. **Integrated business planning: Is it a hoax or here to stay?.** Journal of Business Forecasting, v. 31 n. 1, p. 11-18, 2012.

BUXEY, G. **Aggregate planning for seasonal demand: Reconciling theory with practice.** International Journal of Operations & Production Management, v. 25 n. 11, p. 1083-1100, 2005.

CECERE, L., BARRET, J.; MOORAJ, H. **Sales and operations planning: Transformation from tradition,** AMR Research. Boston, 2009.

CHAPMAN, S. **The fundamentals of production planning and control.** 1 ed. New Jersey. Pearson Prentice Hall, 2006.

CHERAGHALIKHANI, A.; KHOSHALHAN F.; MOKHTARI, H. **Aggregate production planning: A literature review and future research directions.** International Journal of Industrial Engineering Computations, v. 10, p. 309-330, 2019.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Supply chain management: Strategy, planning, and operation.** 3 ed. New Jersey. Pearson Prentice Hall, 2007.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da Produção.** 6 ed. São Paulo. Atlas, 2019.

COSTAS, J.; PONTE, B.; FUENTE, D.; PINO, R.; PUCHE, J. **Applying Goldratt's Theory of Constraints to reduce the Bullwhip Effect through agente-based modeling.** Expert Systems with Applications, v. 42, 2015.

DAMAND, D.; DERROUCHE, R.; BARTH, M.; GAMOURA, S. **Supply chain planning: Potential generalization of parameterization rules based on a literature review.** Supply Chain Forum: An International Journal, 2019.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. A. **Design science research: Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia.** Porto Alegre. Bookman, 2015.

FENG, Y.; D'AMOURS, Y. S.; BEAUREGARD, R. **The value of sales and operations planning in oriented strand board industry with make-to-order manufacturing system: Cross functional integration under deterministic demand and spot market recourse.** International Journal of Production Economics, v. 115 n., p. 189-209, 2008.

GANSTERER, M. **Aggregate planning and forecasting in make-to-order production systems**. International Journal of Production Economics, v. 170, p. 521-528, 2015.

García, S. G.; García, M. G. **Predictive sales and operations planning based on a statistical treatment of demand to increase efficiency: a supply chain simulation case study**. Applied Sciences, v. 11, 2021.

GIL, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo. Atlas, 2002.

GREGOR, S.; JONES, D. **The anatomy of a design theory**. Journal of the Association for Information Systems, v. 8, n. 5, p. 312-335, 2007.

GOH, S. W.; ELDRIDGE, S. **Sales and Operations Planning: The effect of coordination mechanisms on supply chain performance**. International Journal of Production Economics, v. 214, p. 80-94, 2019.

GOLDRATT, E. M. Introduction to TOC: My perspective. In: COX, J. F.; Schleier, J. G. **Theory of constraints handbook**. New York. McGraw-Hill, 2010. P 46-56.

GOLDRATT, E. M. **Standing on the shoulders of giants**. The Manufacturer, 2009.  
Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/gp/a/nw43nPSMWtFFqr4x5jhJkJn/?lang=en>>.  
Acesso em: 4 de fevereiro de 2021.

GOLMOHAMMADI, D. **A study of scheduling under the theory of constraints**. International Journal of Production Economics, v.165, 2015.

GOLMOHAMMADI, D.; MANSOURI, A. **Complexity and workload considerations in product mix decisions under the theory of constraints**. Naval research logistics, v. 62, 2015.

GRIMSON, J. A.; PYKE, D. F. **Sales and operations planning: an exploratory study and framework**. The International Journal of Logistics Management, v. 18 n. 3, 2007.

HAMMAD, M. W.; ABBASI, A.; RYAN, J. M. **Developing a novel framework to manage schedule contingency using theory of constraints and earned schedule method**. Journal of Construction Engineering Management, V. 144, n.4, 2018.

HEIZER, J.; RENDER, B.; MUNSON, C. **Principles of operations management: Sustainability and supply chain Management**. 10 ed. Harlow. Pearson Education, 2017.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. **Design science in information systems research**. MIS Quarterly, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory physics: Foundations of manufacturing management**. 2 ed. New York. Irwin McGraw-Hill, 2000.

HUTHLÉN, H.; NÄSLUND, D.; NORRMAN, A. **Framework for measuring performance of the sales and operations planning process**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management v. 46 n. 9, p. 809-835, 2016.

IVERT, L. K.; JONSSON, P. **When should advanced planning and scheduling systems be used in sales and operations planning**. International Journal of Operations & Production Management, v. 34 n. 10, p. 1338-1362, 2014.

IVERT, L. K.; POPOVSKA, I. D.; FREDRIKSSON, A.; DREYER, H. C.; KAIPIA, R. **Contingency between S&OP design and planning environment**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v. 45 n. 8, p. 747-773, 2015.

JACOBS, F. R.; BERRY, W.; WHYBARK, D.; VOLLMAN, T. **Manufacturing planning and control for supply chain management**. 6 ed. New York. McGraw-Hill, 2011.

JAMES, N. **How to successfully use integrated business planning**. Financial Management, 2019. Disponível em: <https://www.fm-magazine.com/news/2019/mar/how-to-use-integrated-business-planning-201920599.html>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2021.

KAIPIA, R.; HOLMSTRÖM, J.; SMAROS, J.; RAJALA, R. **Information sharing for sales and operations planning: Contextualized solutions and mechanisms**. Journal of Operations Management, v. 52, p. 15-29, 2017.

KRISTENSEN, J.; JONSSON, P. **Context-based sales and operations planning (S&OP) research: A literature review and future agenda**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management v. 48 n. 1, p. 19-46, 2018.

LAPIDE, L. **Sales and operations planning part III: A diagnostic model.** Journal of Business Forecasting, v. 24 n. 1, p. 13-16, 2005.

LAPIDE, L. **S&OP: The linchpin planning process.** The Journal of Business Forecasting, v. 30 n.3, p. 4-5, 2011.

MABIN, V. J.; DAVIES, J. The TOC thinking processes: Their nature and use – reflections and consolidation. In: COX, J. F.; Schleier, J. G. **Theory of constraints handbook.** New York. McGraw-Hill, 2010. P 1000-1065.

MANSON, N. J. **Is operations research really research?** Orion, v. 22, n. 2, p. 155-180, 2006.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 5 ed. São Paulo. Atlas, 2003.

MOHAMMADI, H.; GHAZANFARI, M.; NOZARI, H.; SHAFIEZAD O. (2015) **Combining the theory of constraints with system dynamics: A general model (case study of the subsidized milk industry).** International Journal of Management Science and Engineering Management, v. 10, n. 2, p. 102-108, 2015.

NOROOZI, S.; WIKNER, J. **A modularized framework for sales and operations planning with focus on process industries.** Production & Manufacturing Research, v. 4, p. 65-89, 2016.

OLHAGER, J. **Evolution of operations planning and control: From production to supply chains.** International Journal of Production Research, v. 51, p. 6836-6843, 2013.

OROUJI, M. **Theory of constraints: A state-of-art review.** Accounting, v. 2, p. 45-52, 2016.

PACHECO, D.; PERGHER, I.; ANTUNES, J.; VACCARO, G. **Exploring the integration between lean and the theory of constraints in operations management.** International Journal of Lean Six Sigma, V. 10, N. 3, 2019.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. **A design science research methodology for information systems research**. Journal of Management Information Systems, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

PEREIRA, D. F.; OLIVEIRA, J. F.; CARRAVILLA, M. A. **Tactical sales and operations planning: A holistic framework and a literature review of decision making models**. International Journal of Production Economics, v. 228, 2020.

PLANK, R. E.; HOOKER, R. **Sales and operations planning: Using the internet and internet-based tools to further supply chain integration**. Journal of Research in Interactive Marketing, v. 8 n. 1, p. 18-36, 2014.

PONTE, B.; COSTAS, J.; PUCHE, J.; FUENTE, D.; PINO, R. **Holism versus reductionism in supply chain management: An economic analysis**. Decision Support Systems, v. 86, 2016.

SCHRAGENREIM, E. From DBR to simplified DBR for make to order. In: COX, J. F.; Schleier, J. G. **Theory of constraints handbook**. New York. McGraw-Hill, 2010. P 369-411.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. 3 ed. Cambridge. MIT Press, 1996.

SWAIN, J. A.; MALONI, M.; BOWER, P.; MELLO, J. **Antecedents to effective sales and operations planning**. Industrial Management & Data Systems, v. 116 n. 6, p. 1279-1294, 2016.

SCHLEGEL, A.; BIRKEL, H. S.; HARTMANN, E. **Enabling integrated business planning through big data analytics: A case study on sales and operations planning**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v. 51 n. 6, p. 607-633, 2021.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Operations Management**. 6 ed. Harlow. Pearson Education, 2010.



SRIKANTH, M. DBR, buffer management, and VATI flow classification. In: COX, J. F.; Schleier, J. G. **Theory of constraints handbook**. New York. McGraw-Hill, 2010. P 312-368.

STENTOFT, J.; RAJKUMAR, C.; FREYTAG, P. V.; MIKKELSEN, O. S. **Sales and operations planning: Empirical insights into perceived relevance and lack of implementation**. Supply Chain Forum: An International Journal, 2020.

TANAJURA, A. P.; CABRAL, S. **Planejamento de Vendas e Operações (S&OP) em uma Empresa Petroquímica**. TAC, 55-67. 2011.

TELLES, E.; LACERDA, D.; MORANDI, M.; PIRAN, F. **Drum-buffer-rope in an engineering-to-order system: An analysis of an aerospace manufacturer using data envelopment analysis (DEA)**. International Journal of Production Economics, v. 222, 2020.

THOMÉ, A.M. T.; SCAVARDA, L. F.; FERNANDEZ, N. S.; SCAVARDA, A. J. **Sales and operations planning and the firm performance**. International Journal of Productivity and Performance Management, v. 61 n.4, p. 359-381, 2011.

THOMÉ, A. M. T.; SCAVARDA, L. F.; FERNANDEZ, N. S.; SCAVARDA, A. J. **Sales and operations planning: A research synthesis**. International Journal of Production Economics, v. 138, p. 1-13, 2012.

THOMÉ, A.M. T.; SOUSA, R. S.; CARMO, L. F. R. R. S. **Complexity as contingency in sales and operations planning**. Industrial management & data systems, v. 114 n. 5, p. 678-695, 2014.

TOOR, P. S. T.; DHIR, T. **Benefits of integrated business planning, forecasting, and process management**. Business Strategy Series, v.12 n.6, p. 275-288, 2011.

TORABI, S. A.; EBADIAN, M.; AMINLOUEI, R. T. E. **Fuzzy hierarchical production planning (with a case study)**. Fuzzy Sets and Systems, v. 161 n.11, p. 1511-1529, 2010.

TUOMIKANGAS, N.; KAIPIA, R. **A coordination framework for sales and operations planning (S&OP): Synthesis from the literature.** International Journal of Production Economics, v. 154, p. 243-262, 2014.

VENTANA RESEARCH. **Sales and operations planning: measuring maturity and opportunity for operational performance management.** San Mateo, Ventana Research, 2006.

VEREECKE, A.; VANDERHEYDEN, K.; BAECKE, P.; STEENDAM, T. **Mind the gap: Assessing maturity of demand planning, a cornerstone of S&OP.** International Journal of Operations & Production Management, v. 38 n. 8, p. 1618-1639, 2018.

VISWANATHAN, N. **Sales and operations planning solutions.** Aberdeen, Aberdeen Group, 2009.

VOGEL, T.; LOBO, B. A.; ALMEDER, C. **Integrated versus hierarchical approach to aggregate production planning and master production scheduling.** OR Spectrum, v. 39, p. 193-229, 2017.

WAGNER, S. M.; ULRICH, K. K. R.; TRANSCHEL, S. **The game plan for aligning the organization.** Business Horizons, v. 57, p. 189-201, 2014.

WALLACE, T.F.; STAHL, R. A. **The demand planning process in executive planning S&OP.** Journal of Business Forecasting v. 27, p. 19–24, 2008.

WERY, J.; GAUDREAU, J.; THOMAS, A.; MARIER, P. **Simulation optimization based framework for sales and operations taking into account new products opportunities in a co-production context.** Computer in Industry, v. 94, p. 41-51, 2017.

WING, L.; PERRY, G. **Toward twenty-first century pharmaceutical sales and operations planning.** Pharmaceutical Technology, v. 25 n. 11, p. 20-26, 2001.