

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO – PPGA
CURSO DE MESTRADO**

**MODELO PARA DETERMINAÇÃO DO MIX DE PRODUÇÃO EM UM
AMBIENTE DE CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA**

TIAGO MARTINI RIBOLDI

Caxias do Sul, outubro de 2017

TIAGO MARTINI RIBOLDI

**MODELO PARA DETERMINAÇÃO DO MIX DE PRODUÇÃO EM UM
AMBIENTE DE CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Mestrado em Administração da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Administração. Área de concentração: Estratégia e Inovação. Linha de pesquisa: Estratégia e Operações.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Vidor

Caxias do Sul, outubro de 2017

R486m Riboldi, Tiago Martini

Modelo para determinação do mix de produção em um ambiente de customização em massa / Tiago Martini Riboldi. – 2017.

88 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Administração, 2017.

Orientação: Gabriel Vidor.

1. Customização em massa. 2. Mix de produção. 3. Indústria moveleira.
I. Vidor, Gabriel, orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UCS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

TIAGO MARTINI RIBOLDI

**MODELO PARA DETERMINAÇÃO DO MIX DE PRODUÇÃO EM UM
AMBIENTE DE CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Mestrado em Administração da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Administração. Área de concentração: Estratégia e Inovação. Linha de pesquisa: Estratégia e Operações.

Caxias do Sul, 26 de Outubro de 2017.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Gabriel Vidor (Orientador)
PPGA/UCS

Prof. Dr. Ademar Galelli
PPGA/UCS

Profa. Dra. Maria Emilia Camargo
PPGA/UCS

Prof. Dr. André Luis Korzenowski
UNISINOS

RESUMO

A estratégia de customização em massa (CM) caracteriza-se por possibilitar alta variedade e volume de produção com custos relativamente baixos. Contudo, a alta variedade causa dificuldades para planejar um *mix* de produção que otimize os recursos disponíveis na empresa. Esta dissertação tem como objetivo desenvolver um modelo de cálculo para mensurar quais os impactos da adoção do *mix* ideal de produção na estratégia de CM de uma empresa moveleira. No referencial teórico, são definidos os conceitos e níveis da CM, apresentados seus habilitadores e práticas que possibilitam o sucesso dessa estratégia; também é abordada a pesquisa operacional, tratando das ferramentas para o cálculo do *mix* ideal de produção. O método de pesquisa possui abordagem quantitativa; através de um estudo de caso, foram propostas dez etapas, nas quais foram considerados não mais os produtos, mas seus níveis inferiores; esses foram agrupados de acordo com sua similaridade, para posterior modelagem e otimização. Os resultados da otimização foram comparados com dados obtidos da produção real da empresa. Como resultados deste estudo, obtiveram-se um método para agrupar as partes do produto por similaridade de processo, um algoritmo para otimização do *mix* de produção e um modelo que mensure os impactos da adoção do *mix* ideal de produção na estratégia de CM. O modelo criado demonstra que, no caso estudado, a adoção do *mix* ideal de produção permite ampliar o valor faturado em até 44,27%.

Palavras-chave: Customização em massa. *Mix* de produção. Indústria moveleira.

ABSTRACT

A mass customization (MC) strategy is characterized by allowing high variety and volume of production with low costs, with a high variety of causes, difficulties in planning a production mix that optimizes the resources available in the company. This thesis aims to develop a model to measure the impacts in ideal mix of production on the MC strategy at furniture company. In the theoretical framework, the MC concepts and levels are defined, the MC enabled, the practices that enable the success of the strategy, also bring the theme of the operational research and the tools for the calculation of the ideal of production. The research method has a quantitative approach and a case study is proposed ten steps in which are taken into account not the products, but rather their lower levels, these are grouped according to their similarity to perform a modeling and optimization. Optimization results are compared with the data obtained from the actual production of the company. The main expected results are a method for analysis as parts of the product by process similarity, an algorithm for optimizing the production mix and a model that measures the impacts of adopting the ideal production mix in the MC strategy. Model created showed in the case that ideal mix production allows to increase revenue value by up to 44.27%.

Keywords: Mass customization. Production mix. Furniture industry.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Trabalhos publicados com o tema <i>mass customization</i> | 12 |
| Figura 2 - Faturamento do setor moveleiro 2007 a 2015 | 15 |
| Figura 3 - Produção de móveis em milhões de peças..... | 15 |
| Figura 4 - Desenvolvimento do mercado | 18 |
| Figura 5 - Níveis da cadeia de valor onde ocorre a CM..... | 20 |
| Figura 6 - Abordagens da CM..... | 21 |
| Figura 7 - Diagrama sequencial do método..... | 37 |
| Figura 8 - Separação do produto cadeira | 45 |
| Figura 9 - Estrutura interna da concha (plataforma)..... | 46 |
| Figura 10 - Múltiplos produtos a partir de uma mesma plataforma | 46 |
| Figura 11 - Separação do produto mesa | 47 |
| Figura 12 - Parâmetros do Solver..... | 66 |
| Figura 13 - Comparativo entre cenários com agrupamento | 75 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Definições do conceito da CM | 19 |
| Quadro 2 - Períodos dos cenários | 70 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Roteiro de módulo | 48 |
| Tabela 2 - Roteiro de módulo e tempos..... | 49 |
| Tabela 3 - Organização dos roteiros e temas..... | 50 |
| Tabela 4 - Comparativo com e sem separação por funcionalidade..... | 52 |
| Tabela 5 - Matriz comparativa entre módulos..... | 53 |
| Tabela 6 - Similaridade entre módulos..... | 54 |
| Tabela 7 - Similaridade entre módulos considerando todos os departamentos..... | 55 |
| Tabela 8 - Agrupamento conchas | 57 |
| Tabela 9 - Resultados do agrupamento..... | 58 |
| Tabela 10 - Roteiros e tempos dos módulos com agrupamento e demandas | 59 |
| Tabela 11 - Agrupamento mesas | 60 |
| Tabela 12 - Tempos médios | 62 |
| Tabela 13 - Média de tempos nos departamentos..... | 62 |
| Tabela 14 - Capacidade produtiva instalada..... | 63 |
| Tabela 15 - Abstração do modelo de otimização | 65 |
| Tabela 16 - Resultado da otimização sem arredondamento das quantidades..... | 68 |
| Tabela 17 - Resultado da otimização com arredondamento das quantidades | 69 |
| Tabela 18 - Dados da produção | 71 |
| Tabela 19 - Ociosidades no cenário 1 | 72 |
| Tabela 20 - Comparativo realizado e otimizado..... | 74 |
| Tabela 21 - Média de faturamento por minuto | 78 |
| Tabela 22 - Faturamento projetado..... | 79 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|---------|--|
| ABC | <i>Activity Based Costing</i> (Custeio Baseado em Atividades) |
| AMTs | <i>Advanced Manufacturing Technologies</i> (Tecnologias Avançadas em Manufatura) |
| CAD | <i>Computer Aided Design</i> (Desenho assistido por computador) |
| CAM | <i>Computer Aided Manufacturing</i> (Fabricação assistida por computador) |
| CM | Customização em Massa |
| CNC | <i>Computer Numeric Control</i> (Controle Numérico por Computador) |
| ERP | <i>Enterprise Resource Planning</i> (Planejamento de Recursos Empresariais) |
| MOVERGS | Associação das Indústrias de Móveis do Rio Grande do Sul |
| MRP | <i>Material Requirement Planning</i> (Planejamento de Requisitos de Materiais) |
| MTO | <i>Make To Order</i> (Fabricação por Pedido) |
| MTS | <i>Make To Stock</i> (Fabricação para Estoque) |
| PCP | Planejamento e Controle da Produção |
| PO | Pesquisa Operacional |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO | 11 |
| 1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA | 14 |
| 1.3 PROBLEMA E OBJETIVOS DA PESQUISA..... | 16 |
| 2.1 CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA..... | 17 |
| 2.1.1 Formação do conceito..... | 17 |
| 2.1.2 Níveis de customização em massa | 20 |
| 2.1.3 Habilitadores da customização em massa | 23 |
| 2.2 PESQUISA OPERACIONAL E O CÁLCULO DO <i>MIX</i> IDEAL DE PRODUÇÃO .. | 31 |
| 3 MÉTODO | 35 |
| 3.1 MÉTODO DE PESQUISA..... | 35 |
| 3.2 MÉTODO DE TRABALHO | 36 |
| 3.2.1 Etapa 1: organizar as estruturas dos produtos..... | 37 |
| 3.2.2 Etapa 2: realizar levantamento dos roteiros de produção | 38 |
| 3.2.3 Etapa 3: realizar levantamento dos tempos de produção | 38 |
| 3.2.4 Etapa 4: organizar os módulos com informações de roteiro e tempo..... | 39 |
| 3.2.5 Etapa 5: separar os módulos de acordo com a funcionalidade do produto | 39 |
| 3.2.6 Etapa 6: agrupar os módulos de acordo com a similaridade no processo | 39 |
| 3.2.7 Etapa 7: determinar a capacidade instalada..... | 40 |
| 3.2.8 Etapa 8: otimizar o <i>mix</i> de produção pelos grupos de similaridade no processo | 41 |
| 3.2.9 Etapa 9: realizar modelagem de cenários comparando realizado com otimizado | 42 |
| 3.2.10 Etapa 10: interpretar os resultados | 43 |
| 4 ESTUDO DE CASO | 44 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA | 44 |
| 4.2.1 Etapa 1: organizar as estruturas dos produtos..... | 45 |
| 4.2.2 Etapa 2: realizar levantamento dos roteiros de produção | 47 |
| 4.2.3 Etapa 3: realizar levantamento dos tempos de produção | 48 |
| 4.2.4 Etapa 4: organizar os módulos com informações de roteiro e tempo..... | 49 |
| 4.2.5 Etapa 5: separar os módulos de acordo com a funcionalidade do produto | 50 |
| 4.2.6 Etapa 6: agrupar os módulos de acordo com a similaridade no processo | 52 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.7 Etapa 7: determinar a capacidade instalada..... | 63 |
| 4.2.8 Etapa 8: otimizar o <i>mix</i> de produção pelos grupos de similaridade no processo | 63 |
| 4.2.9 Etapa 9: realizar modelagem de cenários comparando realizado com otimizado | 70 |
| 4.2.10 Etapa 10: interpretar os resultados | 73 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 80 |
| REFERÊNCIAS | 82 |

1 INTRODUÇÃO

A palavra customização tem origem no termo em inglês *customization*, o qual deriva da palavra *customer*, que significa cliente. Não existe uma tradução para *customization*, que apenas foi adaptada ao português como customização; segundo Pine (1993), significa atendimento das necessidades específicas dos clientes. Concebido por Davis (1987), o conceito de customização em massa (CM) refere-se a uma estratégia caracterizada pela capacidade de gerar produtos que atendam a necessidades individuais de clientes. Com a CM, é possível obter alta variedade e volume de produtos com custos relativamente baixos se comparados a produtos personalizados. Apesar de parecer um *trade-off*, novas tecnologias permitem à CM obter custo baixo juntamente com variedade de produtos (DAVIS, 1989).

Esse fato é confirmado no estudo de revisão da literatura a respeito da CM publicado por Silveira, Borenstein e Fogliatto (2001). O estudo analisou 72 documentos no período de 1989 até 1999 e identificou que a CM estava sendo utilizada como estratégia competitiva por um crescente número de empresas. Em 2012, os autores publicaram um novo trabalho, complementando o anterior, que considerou publicações de 2000 a 2010. Foram examinados 149 documentos e verificou-se que empresas obtinham sucesso com a aplicação da estratégia de CM.

Reforçando a importância da CM, Zhang e Tseng (2009) afirmam que há crescente demanda por variedade de produtos, o que também é apontado por Elmaraghy et al. (2013). Elmaraghy et al. demonstram que o aumento da diversidade de produtos ocorre devido ao surgimento de novos materiais e tecnologias, assim como exigências dos clientes por novas funcionalidades. Os autores ainda afirmam que a CM é um viabilizador que garante a sustentabilidade econômica das empresas no cenário de multiplicidade de produtos.

Observa-se que desde sua concepção, a CM foi discutida no meio acadêmico e utilizada com sucesso por organizações. Novos trabalhos a respeito do tema têm surgido, como o de Mourtzis (2016), que enfatiza a necessidade de uma abordagem sistemática para planejamento e operação de sistemas de manufatura que utilizam a CM. Essa necessidade ocorre devido à complexidade das atividades de produção, a qual advém da possibilidade de o cliente configurar os produtos, aumentando a variedade de itens.

Chryssolouris, Papakostas e Mavrikios (2008) afirmam que as empresas buscam oferecer uma ampla variedade de produtos com o mínimo de recursos possíveis. Relacionando essa afirmação com a CM, Doukas, Psarommatis e Mourtzis (2014) consideram que o gerenciamento do custo em produtos manufaturados através da customização deve ser realizado por meio de práticas sustentáveis que são economicamente e tecnologicamente viáveis. Esse objetivo deve ser alcançado através da redução dos custos operacionais.

Para alocação de baixo custo aos produtos, é preciso obter um *mix* de produção que otimize o máximo possível os recursos disponíveis na empresa, visando minimizar ociosidades (LUSTOSA, 2008). Entretanto, a alta variedade de produtos em ambientes de CM torna o *mix* de produção complexo, gerando dificuldades no planejamento e programação da produção; quanto maior variedade é oferecida aos clientes, maior é a complexidade para obter um *mix* de produção adequado (SHAMSUZZOHA; HELO, 2009). Outras vezes, para manter a flexibilidade e não prejudicar a eficiência de entrega, é preciso produzir lotes desequilibrados que não otimizam os recursos disponíveis, acarretando perdas para a empresa; essa ineficiência nem sempre é transferida para o preço do produto (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

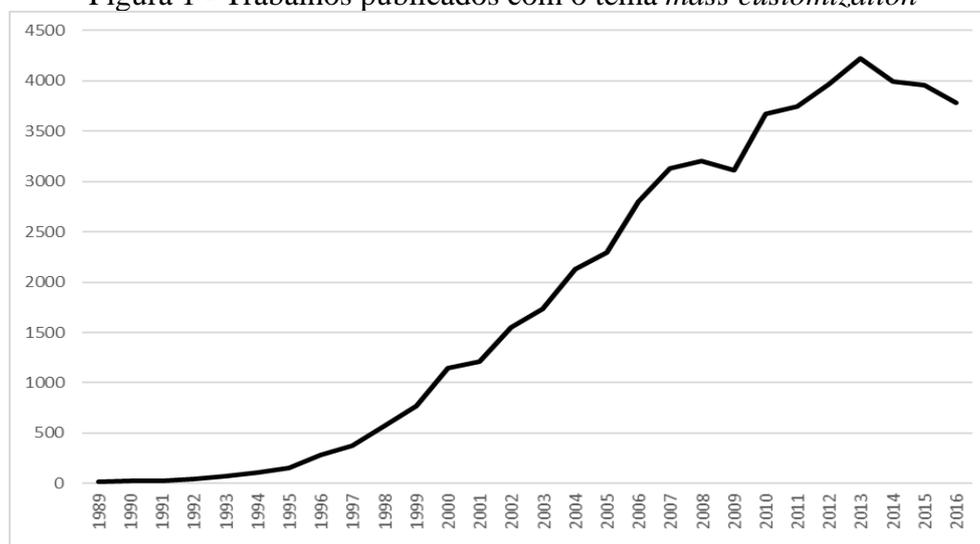
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO

O trabalho de Daaboul e Da Cunha (2014) mostrou que empresas famosas distribuídas em diferentes campos de atuação e possuidoras de grandes marcas, como Adidas, Nike, Dell, Louis Vuitton, Motorola e BMW, entre outras, estão utilizando a estratégia de CM para beneficiar-se simultaneamente da redução de custos e da possibilidade de oferecer produtos customizados. A pesquisa de Yoo e Park (2016) aponta que uma das tendências que está moldando a indústria de luxo é a CM. Os autores concluem que a satisfação do consumidor é positivamente influenciada pela criação de valor propiciada pela CM.

Conforme os estudos citados sinalizam, o tema CM tem atraído a atenção de pesquisadores que se empenham em explorar o assunto como solução para a quebra de paradigmas nos processos produtivos. Confirmando sua importância, um gráfico construído com dados do Google Acadêmico (Figura 1) mostra que o número de

publicações com o assunto *mass customization* aumentou consideravelmente a partir do ano 2003, sendo que, de 2006 até 2016, foram publicados, em média, 3.598 trabalhos por ano, o que demonstra que o tema é atual e ainda não foi esgotado.

Figura 1 - Trabalhos publicados com o tema *mass customization*



Fonte: O autor (2017).

Definir o *mix* de produção é uma decisão importante que impacta diretamente nos resultados da empresa. Para determiná-lo em ambientes com ampla diversidade de itens, são necessárias informações precisas. O problema do *mix* de produção é comum em indústrias, e estudos tratam desse problema desde a Primeira Guerra Mundial, época em que surgiu a Pesquisa em Operações. Essa área estuda modelos matemáticos para a otimização, auxiliando na tomada de decisão (ARENALES et al., 2015).

Trabalhos recentes, como o de Hadidi e Moawad (2016), utilizam métodos já consagrados para gerar modelos de otimização da produção, o que maximiza o rendimento de todo sistema. Esses estudos, porém, levam em consideração apenas o nível do produto, enquanto na CM o foco precisa estar nos níveis inferiores e intermediários da estrutura do produto, uma vez que, devido à grande variedade, não é possível otimizar o *mix* avaliando apenas os produtos finais.

Tratando mais especificamente do *mix* de produção em ambientes de CM, Zeltzer, Aghezzaf e Limère (2016) propõem um modelo para monitorar a complexidade do *mix* de modelos a serem processados em uma linha de montagem. Os autores afirmam que, nas últimas três décadas, a demanda por produtos que atendam a requisitos específicos

aumentou consideravelmente, o que resultou no aumento da complexidade do *mix* de produtos a serem processados nas estações de trabalho.

Embora já existam artigos publicados a respeito do gerenciamento do *mix* de produção em ambientes de CM, não são localizados trabalhos que mostrem como realizar seu cálculo nem como calcular a perda decorrente do desvio do *mix* ideal de produção nesse tipo de ambiente. Percebe-se que estudos que abordem a CM juntamente com o *mix* ideal de produção devem ser explorados. Nota-se também interesse prático, pois a aplicação do modelo gera informações facilitadoras para tomada de decisão, que podem proporcionar aumento da produtividade, uma vez que, em ambientes de CM, são identificadas perdas tanto por ineficiência da programação quanto por impossibilidade de melhor realizá-la pela necessidade de priorizar itens.

Sabendo quanto e onde a empresa está perdendo, ou deixando de ganhar, é possível verificar onde e como melhorar. Decisões podem ser tomadas com maior facilidade. Comercialmente falando, será possível saber as vendas de produtos que devem ser priorizadas, bem como se a exploração de determinado mercado ou segmento pode melhorar o *mix*. Estrategicamente, podem-se estudar novos lançamentos, colocando em linha produtos que ajudem a equilibrar o *mix*. Também é possível descobrir quais são produtos estão causando maior desvio no *mix* ideal de produção. Essas informações auxiliam na decisão do que deve ser retirado de linha ou até mesmo na opção de não atender determinado cliente ou segmento.

Não sendo possível fazer alterações no portfólio de produtos ou nas políticas de comercialização da empresa, o aspecto operacional também pode ser avaliado. Nesse caso, verifica-se a possibilidade de modificar as capacidades de produção de forma que alterem o *mix* ideal de produção, reduzindo as ociosidades e otimizando os ganhos. Como exemplos dessa aplicação, podem ser citadas a aquisição de novas máquinas, a expansão de um setor da empresa ou a redução de outro.

A estratégia da empresa precisa ajustar-se com a gestão dos processos operacionais nos diferentes ambientes produtivos; tão importante quanto a escolha da configuração produtiva é seu gerenciamento. Para que ocorra de maneira eficaz, a adoção de uma estratégia de CM exige uma série de alinhamentos estratégicos, assim como o conhecimento aprofundado tanto da estratégia como do sistema no qual ela está inserida, dominando suas variáveis e interligações. Tais proposições demonstram a aderência do tema estudado com a Linha de Pesquisa Estratégia e Operações.

1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

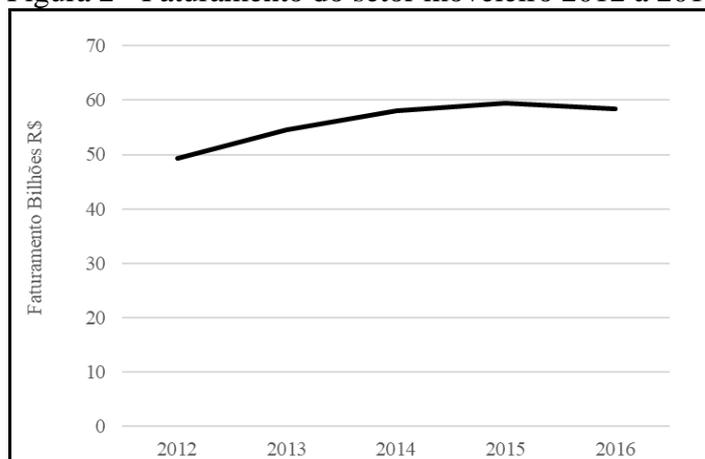
A delimitação deste trabalho está em estudar o *mix* ideal de produção em ambientes de CM e os impactos financeiros gerados para a empresa. O objeto empírico do estudo é uma empresa localizada na Serra Gaúcha, que atua na fabricação de móveis, produzindo principalmente cadeiras, poltronas e mesas. Possui uma estrutura física de 1.600 m² separados em 12 departamentos produtivos, e seu quadro funcional é composto por 29 pessoas. O *mix* de produtos abrange 80 modelos, todos customizáveis.

A empresa atende lojistas em todo o Brasil, os quais efetuam venda sob encomenda, correspondendo assim a um sistema de produção puxado, que se caracteriza por produzir somente o que já foi vendido. Uma análise mostrou que, para garantir a entrega rápida, a empresa trabalha com um número baixo de pedidos que são programados diariamente. Os lotes de produção nem sempre podem ser agrupados, devido à exigência de entrega rápida e à variedade de componentes que precisam ser produzidos.

É possível contextualizar o cenário moveleiro a partir de informações divulgadas pela MOVERGS (Associação das Indústrias de Móveis do Rio Grande do Sul). Os dados mostram que, ao final de 2015, o Rio Grande do Sul possuía 2.750 empresas atuando no setor moveleiro, equivalente a 13,3% das empresas do Brasil. Essas empresas respondem por 18,4% do total de móveis fabricados no país e por 31,1% das exportações, produzem aproximadamente 85,3 milhões de peças, faturaram R\$ 6,73 bilhões e exportaram mais de US\$ 183 milhões. Também foram responsáveis pela geração de mais de 35 mil postos de emprego. Tais indicadores demonstram o quão representativo é o segmento no contexto da economia, tanto pela geração de renda e tributos, quanto para números de postos de trabalho.

Apesar de representativo, o setor moveleiro vem sofrendo impactos de uma aparente crise diretamente ligada às dificuldades políticas, econômicas e institucionais que atingem o país. Elaborada a partir de dados da MOVERGS, a Figura 2 apresenta um gráfico com o faturamento do setor moveleiro de todo o Brasil nos últimos cinco anos. Observa-se que o setor apresentou crescimento por quatro anos, porém, em 2016, ocorreu uma retração de 1,71% em comparação ao ano anterior.

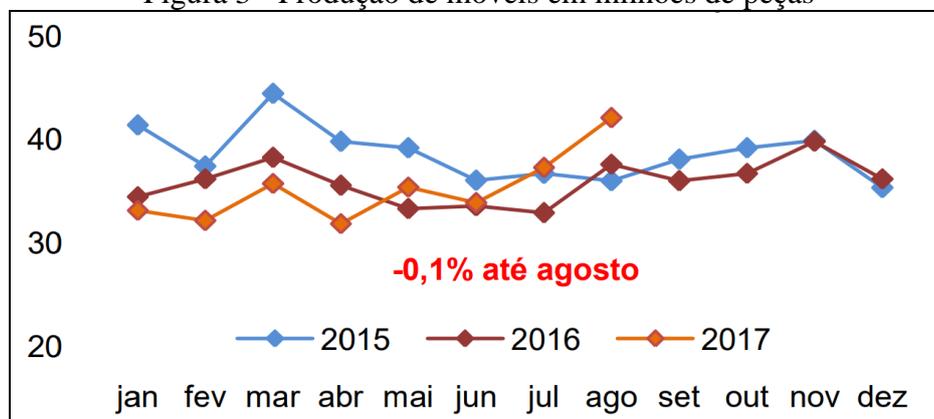
Figura 2 - Faturamento do setor moveleiro 2012 a 2016



Fonte: O autor (2017).

Dados de 2017, apresentados no relatório mensal da MOVERGS, mostram elevação na produção de móveis em agosto e setembro de 2017, comparando-se aos mesmos meses do ano anterior. Entretanto, um comparativo entre os oito primeiros meses de 2016 e 2017 revela uma retração de 0,1% no número de peças produzidas. Na Figura 3, é possível analisar a produção mensal do setor nos últimos três anos.

Figura 3 - Produção de móveis em milhões de peças



Fonte: MOVERGS (2017).

Diante de um cenário pessimista formado pela oscilação nas vendas, o setor moveleiro precisa tomar providências para vencer as dificuldades impostas pela configuração do mercado. É preciso obter o máximo de desempenho para oferecer produtos com preços atraentes a consumidores com o poder de compra cada vez mais limitado. Um dos princípios básicos da customização em massa é atender às necessidades individuais dos clientes, por isso ela é uma forma de vencer a concorrência viabilizando a oferta de produtos diferenciados que conquistem o cliente.

1.3 PROBLEMA E OBJETIVOS DA PESQUISA

O problema alvo do estudo relaciona-se com a área de produção da empresa, mais especificamente, o *mix* de produção em ambientes de CM, pois percebe-se, nos estudos já citados, que a possibilidade de configuração dos produtos impacta negativamente no desempenho produtivo, devido ao aumento na variedade de itens que torna o *mix* de produção complexo. Estudos como o de Fogliatto, Silveira e Borenstein (2012) indicam que habilitadores da CM permitem um melhor gerenciamento desse complexo *mix* de produção, contudo ainda existem questões a responder: a utilização de um *mix* otimizado de produção gera impactos na estratégia de CM de uma empresa? Esses efeitos ainda não são totalmente conhecidos, nem mensurados.

Partindo dessas questões, o objetivo geral desta dissertação é desenvolver um modelo de cálculo para mensurar quais os impactos da adoção do *mix* ideal de produção na estratégia de CM de uma empresa moveleira.

Para que seja possível alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos precisam ser cumpridos:

- a) organizar as estruturas dos produtos para a estratégia de customização;
- b) agrupar os produtos de acordo com a similaridade no processo;
- c) determinar a capacidade instalada;
- d) definir o *mix* ideal de produção para a estrutura instalada;
- e) modelar cenários com os dados coletados e calculados; e
- f) verificar quantitativamente os impactos da adoção do *mix* ideal.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os temas teóricos que fundamentam o projeto de dissertação. Inicialmente, são definidos os conceitos de CM, tratando-se, a seguir, sobre os níveis de CM e os habilitadores necessários para o sucesso de uma estratégia de CM. Em seguida, são abordadas a pesquisa operacional e a definição do *mix* ideal de produção, temas necessários para embasar o problema de pesquisa que relaciona a estratégia de CM e definição de *mix* ideal de produção.

2.1 CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA

Nesta seção é apresentada a teoria da CM, dividida em subseções. Demonstra-se como os conceitos evoluíram para dar origem à estratégia de CM da forma como é conhecida hoje, bem como seus níveis, classificação e habilitadores.

2.1.1 Formação do conceito

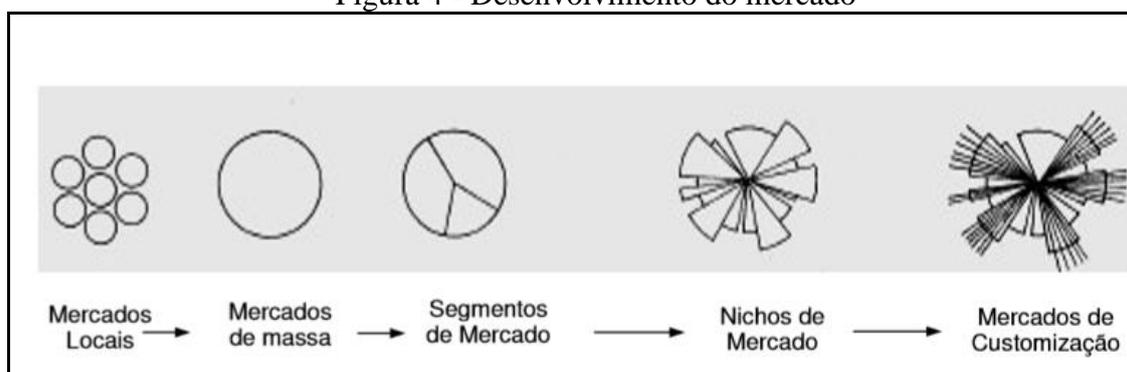
Em 1970, o livro *Future Shock*, de Toffler, já previa a tendência do aumento da individualização e procura de produtos e serviços personalizados. O autor afirmava que as empresas estavam apenas iniciando a caminhada em direção à despadronização dos bens em um mundo de produção em massa. Ele ainda disse que o processo de tomada de decisão do comprador estava se tornando cada vez mais complexo, demandando a oferta de maior diversidade de produtos para atender às demandas emergentes.

Seguindo a tendência da individualização de produtos e serviços, o termo customização em massa, do inglês *mass customization*, foi utilizado pela primeira vez por Davis (1987). O autor conceituou CM como habilidade de fornecer produtos projetados individualmente para cada consumidor através de processos ágeis, flexíveis e integrados. O novo termo fortificou-se com um artigo seminal intitulado *From "Future Perfect": Mass Customizing*, publicado em 1989 pelo mesmo autor; nesse texto, a CM foi tratada como um sistema capaz de atender às necessidades específicas de cada cliente.

Nos últimos anos da década de oitenta, Kotler (1989) aborda a crescente importância da segmentação do mercado, que precisa ser dividido em frações cada vez menores, indo ao encontro do nível do indivíduo. Sua visão antecipa a queda dos mercados

de massa, com seus bens padronizados, os quais estão evoluindo em direção à CM. Em seu trabalho de 1989, Kotler já identifica empresas na indústria automotiva norte-americana e no setor imobiliário japonês aplicando as recentes técnicas da CM. A Figura 4, adaptada do trabalho de Davis (1989), ilustra a evolução do mercado mencionada por Kotler.

Figura 4 - Desenvolvimento do mercado



Fonte: Adaptado de Davis (1989, p. 20).

Paralelamente aos trabalhos mencionados, Mintzberg (1988), com um enfoque estratégico, afirmou que os mercados de consumo estavam evoluindo de mercados de massa para uma diferenciação de produtos; essa mudança estava sendo forçada pela insatisfação dos consumidores que reclamavam da perda de individualidade devido à alta oferta de produtos padronizados. Dentro desse contexto, Lampel e Mintzberg (1996), embora não utilizem especificamente o termo CM, contribuíram para a formação do conceito ao descrever estratégias de customização e explicar como novas tecnologias de engenharia e manufatura ajudariam a romper a barreira imposta pela produção em massa.

Na abordagem do *marketing*, McKenna (1991) comenta que, dadas as rápidas mudanças no mercado, há cada vez menos motivos para se acreditar que o aspecto tradicional do *marketing*, que consiste em fazer pesquisas de mercado, desenvolver um produto, testar e, finalmente, lançá-lo, possa corresponder aos desejos e demandas dos consumidores. Segundo o autor, esse processo seria arriscado e lento para acompanhar os rigores da competição. Essa perspectiva, orientada para o cliente, foi definida por Peppers e Rogers (1993) como “*marketing* um a um”, o que passou a ser um pré-requisito para o sucesso competitivo, sendo que informações sobre desejos e expectativas dos clientes constituem o insumo básico para o processo. O tratamento pode vir a se tornar tão personalizado a ponto de cada cliente ser considerado um nicho específico.

Conforme exposto, diferentes autores e vertentes teóricas em áreas distintas como *marketing*, estratégia e produção apontam a nova tendência da produção de bens customizados para o atendimento individualizado dos clientes. Como solução, a então emergente estratégia de CM surge, trazendo os subsídios necessário para operacionalização e viabilização dessa tendência. Ao longo de quase três décadas, a CM foi conceituada por diferentes autores; o Quadro 1 apresenta onze definições de CM localizadas na literatura.

Quadro 1 - Definições do conceito da CM

| Ano | Autor | Conceito |
|------|-----------------------|--|
| 1987 | Davis | Habilidade de fornecer produtos projetados individualmente para cada consumidor através de processos ágeis, flexíveis e integrados. |
| 1989 | Davis | Sistema capaz de atender a necessidades específicas de cada cliente. |
| 1993 | Pine | Capacidade de oferecer rapidamente bens ou serviços customizados, em grandes volumes e a custos similares aos de produtos padronizados por meio da produção em massa. |
| 1996 | Tseng; Jiao; Merchant | Metodologia que proporciona satisfação do cliente através do aumento da variedade e personalização sem um correspondente aumento no custo e tempo de produção. |
| 1997 | Feitzinger; Lee | Abordagem que se baseia em três princípios principais: padronização, postergação e sequenciamento. |
| 2001 | Zipkin | Capacidade de oferecer produtos ou serviços customizados individualmente em grande escala. |
| 2002 | Duray | Oferecer produtos exclusivos em um ambiente de produção com alto volume e baixo custo. |
| 2004 | Simpson | Estratégia que proporciona variedade de produtos através do desenvolvimento baseado em famílias e plataformas. |
| 2010 | Helo | Estratégia adotada em ambientes de alta competitividade qualificando a segmentação de mercado. |
| 2012 | Fogliatto et al. | Estratégia caracterizada pela produção de itens padronizados com lotes e custos reduzidos. |
| 2016 | Yoo; Park | Abordagem que influencia positivamente a satisfação do consumidor através do prazer de criar algo novo que é propiciado pelo processo de personalização, assim como o atingimento das necessidades estéticas e funcionais. |

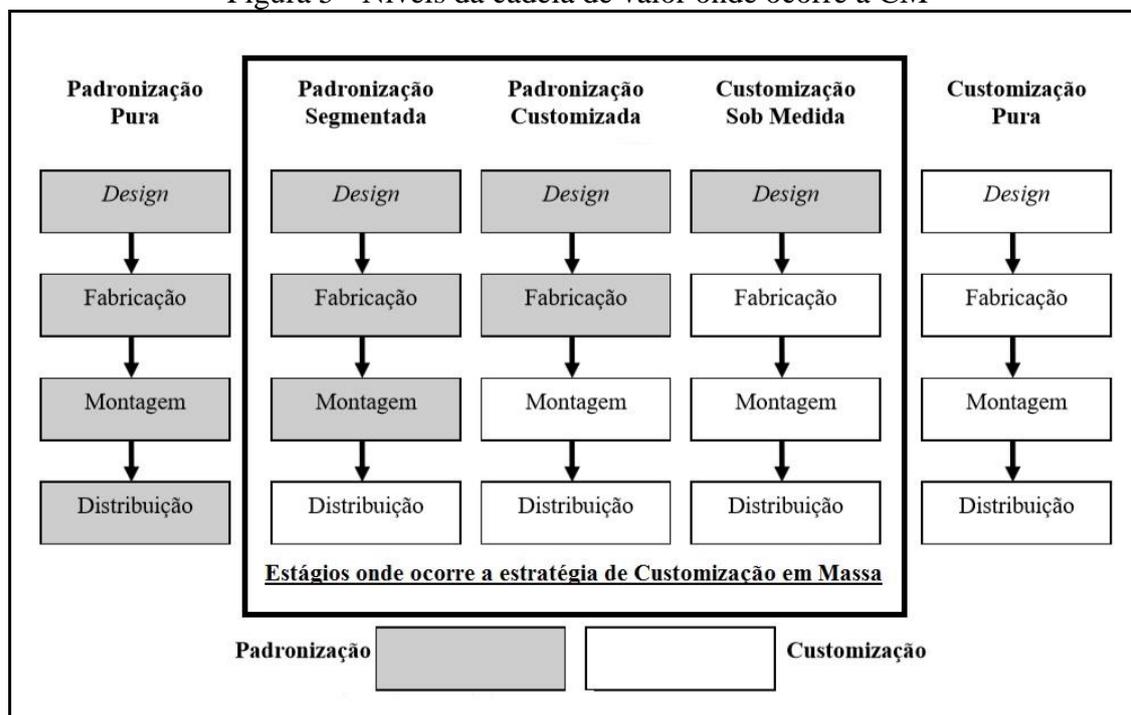
Fonte: O autor (2016).

O sucesso da estratégia de CM depende de fatores internos e externos à organização, identificados em uma revisão da literatura feita por Silveira, Borenstein e Fogliatto (2001). Através dessa revisão, foram elencados cinco fatores básicos: 1) os produtos devem permitir a customização; 2) deve existir uma demanda por variedade e customização; 3) a cadeia de suprimentos precisa estar capacitada; 4) a tecnologia necessária deve estar disponível; e 5) o conhecimento deve ser compartilhado.

2.1.2 Níveis de customização em massa

Analisando os estágios da cadeia de valor, Lampel e Mintzberg (1996) observaram que a empresa pode customizar seus produtos ao longo de quatro diferentes estágios: projeto (*design*), fabricação, montagem e distribuição. Essa análise permitiu a eles definir cinco níveis que foram chamados de *Continuum* de Estratégias: padronização pura, padronização segmentada, padronização customizada, customização sob medida e customização pura. A estratégia de CM contempla os níveis intermediários, de modo que a padronização pura seria contemplada pela produção em massa e a customização pura, pela personalização de produtos.

Figura 5 - Níveis da cadeia de valor onde ocorre a CM

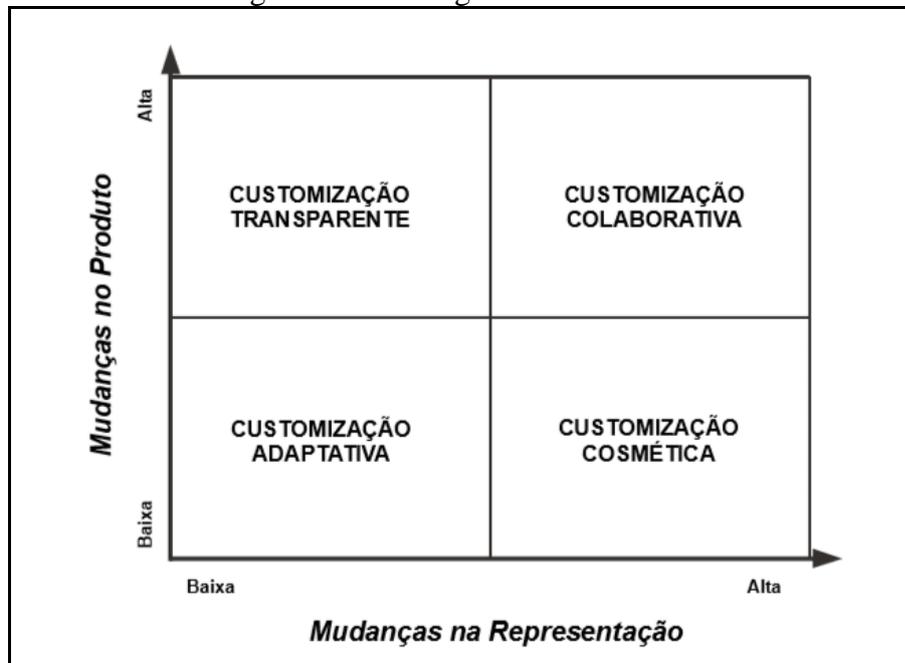


Fonte: Adaptado de Lampel e Mintzberg (1996, p. 24).

Com o objetivo de determinar meios de avaliar a CM e melhor adequar produto e processo, Gilmore e Pine (1997) classificam as abordagens da customização em massa em quatro tipos, que podem ser utilizados individualmente ou em conjunto:

- a) colaborativa: nesse tipo de customização se encontram as maiores mudanças na estrutura do produto e em sua apresentação. É utilizada em produtos que oferecem muitas opções e alto grau de complexidade nas escolhas. Dessa forma, as necessidades do consumidor são articuladas em conjunto com a empresa;
- b) adaptativa: nível com menor grau de customização, no qual o cliente pode escolher variações do produto que se adaptam às suas necessidades;
- c) cosmética: nessa abordagem é apresentado um produto padrão de formas distintas para diferentes consumidores, correspondendo a pequenas alterações no produto, principalmente em sua apresentação; e
- d) transparente: abordagem em que o produto tem altos níveis de diferenciação quanto à estrutura e menores mudanças quanto à aparência.

Figura 6 - Abordagens da CM



Fonte: Adaptado de Gilmore e Pine (1997, p. 95).

Após analisar os procedimentos utilizados para operacionalizar a CM em uma fábrica de sistemas de iluminação, Spira (1993) sugere quatro processos diferentes:

- a) montagem de produtos adotando uma combinação de componentes padronizados, resultando em diferentes variações de modelos;
- b) agregação de serviços especiais aos produtos disponibilizados;
- c) customização da embalagem; e
- d) trabalho de customização adicional, caso as opções disponibilizadas não atendam às necessidades do cliente.

Estudando a cadeia de suprimentos para CM, Pan e Holland (2006) sugerem que os níveis da CM podem ser classificados de acordo com o envolvimento do cliente. Eles sugerem seis níveis com grau de customização crescente, que são apresentados abaixo:

- a) captação do cliente: consiste em primeiro entender o mercado e, a partir dessas informações, planejar o sistema de manufatura, oferecendo ampla variedade de produtos para atender o cliente;
- b) alteração: nesse nível, a prática da customização precisa estar difundida entre os funcionários da empresa, que irão vendê-la como diferencial aos clientes;
- c) superficialidade: a partir desse nível, começa a ocorrer exigência de mudanças no sistema de distribuição e entrega, e a cadeia de suprimentos também precisa ser envolvida;
- d) transparência: esse nível proporciona aos clientes obter produtos únicos através do monitoramento das necessidades dos clientes;
- e) adaptação: os clientes se envolvem a nível de desenvolvimento do projeto, fornecendo informações ao pós-vendas e ao sistema de manufatura; e
- f) colaboração: nível mais alto da customização, no qual os clientes desenvolvem o projeto do produto juntamente com a empresa.

Silveira et al. (2010) sugerem que a CM pode ser classificada quanto ao produto e ao processo. Através de revisão da literatura, eles agruparam os diferentes estágios sugeridos pelos autores, dando origem a uma categorização de oito níveis de customização:

- a) padronização: refere-se à fabricação de produtos padronizados, sem customização; para determinados segmentos, essa opção ainda é interessante;

- b) utilização: o mesmo produto tem mais de uma utilização e pode ser aproveitado de diferentes formas de acordo com a necessidade de cada cliente;
- c) embalagem e distribuição: produtos similares são adequados com diferentes embalagens e configurações de distribuição;
- d) adição de serviços: a customização é propiciada através do oferecimento de um serviço adicional;
- e) adição de trabalho: nesse nível, o produto básico recebe complementos que são agregados antes da entrega ao cliente;
- f) montagem: produtos diferentes são obtidos por mudanças nos arranjos modulares;
- g) fabricação: nesse nível, o projeto não sofre alterações, porém permite adaptações para que se adeque às preferências do cliente; e
- h) projeto: esse é o nível máximo de customização, no qual o cliente participa de forma colaborativa no desenvolvimento do projeto e a empresa entrega um produto de acordo com as necessidades apontadas.

Como demonstrado, existem diferentes formas de classificar e nivelar a CM, tanto de acordo com o processo, quanto com o envolvimento do cliente. O importante é saber quanto a empresa deve customizar, pois o *mix* de produção terá seu nível de complexidade de acordo com o nível de customização escolhido. Analisando os níveis apresentados, é possível perceber que o *mix* de produção aumenta à medida que se aproxima da customização pura, incluindo também o projeto.

2.1.3 Habilitadores da customização em massa

Ao identificar os fatores por meio dos quais as empresas poderão implementar a estratégia de CM, percebe-se que eles têm sido tratados de uma forma fragmentada pela literatura. Fogliatto, Silveira e Borenstein (2012) realizaram um esforço para reunir esses fatores, que foram chamados de habilitadores da CM. A adoção de oito habilitadores identificados por eles é considerada necessária para executar com êxito a estratégia de CM. Nas próximas seções, os habilitadores da CM serão apresentados e comentados, segundo os principais autores do tema.

2.1.3.1 Metodologias

Segundo Fogliatto, Silveira e Borenstein (2012), o uso de princípios da produção enxuta (*lean production*) e da manufatura ágil tornam-se obrigatórios para tornar a CM acessível. A produção enxuta visa otimizar a empresa através da eliminação de perdas e agregação de valor aos produtos disponibilizados. Dessa forma, Kotha (1995), assim como Silveira, Borenstein e Fogliatto (2001), destacam a importância da adoção de práticas relacionadas à produção enxuta para habilitar a empresa a implementar com sucesso a estratégia de CM.

A manufatura ágil pode ser definida como capacidade de responder rapidamente em um ambiente competitivo de mudança contínua e imprevistos em mercados conduzidos pelo cliente, com base em valorização de produtos em rápida mutação (IACOCCA INSTITUTE, 1991). Práticas da manufatura ágil já foram identificadas em empresa de móveis estofados que realizam CM, através do trabalho de Yao e Carlson (2003).

Brown e Bessant (2003) afirmam que a capacidade de se tornar ágil em produzir bens de CM pode criar vantagem competitiva para as empresas, porém isso dependerá de habilidades em utilizar fatores simultaneamente, como qualidade, inventário, processo, tecnologia e habilidades humanas. Os autores ainda pontuam que uma empresa não pode prosseguir a estratégia de CM sem ter uma estratégia de manufatura adequada.

2.1.3.2 Elicitação das ordens

Com o sentido de extrair informações a partir dos pedidos recebidos (ordens), a elicitação de ordens visa à obtenção de informações dos clientes. É um dos principais fatores que estabelecem o resultado da estratégia de CM, pois é uma estratégia dinâmica que depende da habilidade de traduzir novas demandas de clientes e consumidores em produtos e serviços (SILVEIRA; BORENSTEIN; FOGLIATTO, 2001). Concordando com essa afirmação, Turowski (2002) afirma que o sucesso de uma estratégia de CM é determinado pela eficiência da transferência de informações entre clientes e fabricantes.

Para que ocorra o processo de CM, é necessário ter acesso às informações dos clientes através da utilização de técnicas para obtenção de dados junto aos usuários detentores das informações, com o objetivo de construção ou aprimoramento de um produto. A CM precisa basear-se nas especificações dos clientes para projetar e produzir

produtos customizados (FOGLIATTO; SILVEIRA; BORENSTEIN, 2012). Diante desse contexto, Zipkin (2001) comenta as dificuldades e importância de extrair informações específicas e indispensáveis para a customização.

Relacionado com a busca de informações nos clientes para realização da CM, o trabalho realizado por Helms et al. (2008) explorou o comércio eletrônico e a gestão do conhecimento. Com a pesquisa, percebeu-se que o comércio eletrônico é uma fonte de dados importante, porém, para a transformação desses dados em informações, é necessária a utilização de práticas de gestão do conhecimento. Dessa forma, é possível que uma empresa construa uma base de conhecimento organizacional que trará informações de processos do negócio, desenvolvimento de novos produtos, atendimento ao cliente e cadeia de suprimentos.

Tien (2006) também mobilizou esforços estudando técnicas para obtenção de informações necessárias para customizar produtos e serviços. O autor afirma que a customização só pode ser alcançada através de técnicas de mineração de dados que definam os requisitos de customização em uma perspectiva de cadeia de demanda; essas técnicas possibilitam obter informações pertinentes da massa de dados não homogênea, a fim de tomar decisões sobre os produtos e suas opções.

2.1.3.3 Postergação

A postergação corresponde ao retardamento das atividades de diferenciação do produto ou do serviço. Na perspectiva da manufatura, o objetivo da postergação é manter o produto em estado neutro até o último momento possível do processo de adição de valor (VAN HOEK, 2001), ou seja, consiste em adiar o máximo possível a customização. Nesse sentido, Fogliatto, Silveira e Borenstein (2012) elencaram a postergação como um habilitador indispensável a ser adotado para o alcance dos objetivos da CM.

Explicando o processo de postergação, Van Hoek (2001) disse que o ponto no qual ocorre a divisão entre a produção padronizada e a customizada é denominado ponto de desacoplamento do pedido do cliente. As atividades desempenhadas a partir desse ponto seriam customizadas para atender às necessidades específicas dos clientes, enquanto as atividades executadas antes do ponto de desacoplamento seriam padronizadas. Dessa forma, o ponto de desacoplamento revela quais atividades estão envolvidas na customização, surgindo assim diferentes níveis de postergação que podem ocorrer de

acordo com o local na cadeia de suprimentos em que o produto é customizado, tais como postergação da manufatura e da logística ou distribuição.

Yang, Burns e Backhouse (2004) realizaram uma revisão da literatura a respeito do tema postergação e sugerem fatores que contribuem para implementação desse conceito. Dentre os fatores ressaltados, afirmam que o *design* modular, que será tratado no próximo item deste trabalho, colabora para o aumento no nível de postergação da customização. Em sua análise, concluem que a postergação tem se identificado como uma abordagem importante para obtenção de agilidade, que, por sua vez, é indispensável em uma estratégia de CM.

O trabalho realizado por Jiao, Simpson e Siddique (2007) identificou que quanto mais a arquitetura do produto permitir o adiamento da customização, ou seja, a postergação, mais esse produto pode contribuir para a redução de custos. Em concordância com esses autores, Forza, Salvador e Trentin (2008) realizaram um estudo a respeito da postergação e identificaram que ela influencia positivamente o desempenho operacional.

2.1.3.4 Plataformas de produtos

O conceito de plataforma de produto pode ser definido como uma estrutura base de um produto formada por um conjunto de componentes comuns. Na plataforma, é feito o acoplamento de diferentes combinações de módulos; essas combinações possibilitam a derivação de um fluxo de produtos que é chamado de família de produtos (MEYER; LEHNERD, 1997). O desenvolvimento de produtos baseados em plataforma oferece benefícios, incluindo tempo de desenvolvimento reduzido, redução da complexidade do sistema, redução dos custos de produção e facilidade no *upgrade* de produtos (SIMPSON, 2004).

Com o objetivo de entregar uma crescente variedade de produtos, a CM consequentemente gera multiplicidade de itens para compor os produtos. Diante desse contexto, Jiao e Tseng (1999) dizem que o gerenciamento das famílias de produtos é um procedimento necessário para a redução dos custos decorrentes da CM. Os autores desenvolveram uma metodologia para gerar famílias de produtos e comentam a importância da plataforma de produtos no desenvolvimento modular. Em outro trabalho, Jiao, Zhang e Pokharel (2007) identificaram que as plataformas permitem respostas ágeis, ocasionando menos esforços e despesas no processo de CM.

A prática de famílias de produtos é bem aceita na indústria e tradicionalmente explora e utiliza semelhanças na fabricação e produção com foco no nível do componente e no domínio do processo. Concentrar esforços no *design* e domínio físico do projeto é o ponto inicial para possibilitar a geração de famílias de produtos que sejam viáveis de produzir em um ambiente de CM (JIAO; TSENG, 1999). Associado a essa ideia, há também o conceito de comunalidade de itens, que trata de diferentes combinações de componentes comuns para gerar múltiplos produtos, trazendo benefícios ao reduzir o número de itens a serem produzidos, o que facilita o gerenciamento da produção (MA; WANG; LIU, 2002).

O trabalho de Simpson (2004) mostrou que empresas estão utilizando famílias de produtos, a partir do desenvolvimento de plataformas que possibilitam o aumento da variedade de produtos, com o objetivo de encurtar os prazos e reduzir os custos. A chave para uma família de produtos de sucesso é a plataforma da qual os produtos derivam: adicionando, removendo ou substituindo um ou mais módulos na plataforma original, obtêm-se produtos para atingir necessidades específicas. Ainda segundo o autor, a utilização de plataformas e módulos é um esforço necessário para melhorar a capacidade de customização e atender ao mercado global altamente competitivo.

2.1.3.5 Fabricação

A customização dos produtos aumenta o número de variáveis na produção, o que gera impactos sobre os equipamentos de processo e trabalho. Tais impactos são traduzidos como restrições ao planejamento e controle de sistemas de fabricação em ambientes de CM. Sendo assim, o principal desafio ao implantar a estratégia de CM é ter um planejamento do processo produtivo que seja capaz de gerenciar essa variedade (JIAO; ZHANG; POKHAREL, 2007).

Zhang e Tseng (2007) realizaram um estudo para investigar a importância das implicações dos custos provenientes da variedade de produtos. Desenvolveram uma abordagem sistemática para estudar as relações entre a diversificação de produtos e custos. Na revisão da literatura, trouxeram abordagens para avaliação dos custos de variedade e citaram o custeio baseado em atividade (*Activity Based Costing* – ABC) como prática para rastrear os custos derivados da alta variedade. Outros autores, como Chen e Wang (2007), afirmam que informações provenientes da prática ABC podem ser utilizadas para melhorar

os produtos. O resultado da investigação mostrou que, para fornecer variedade de produtos, é preciso obter eficácia no gerenciamento dos custos.

Outra prática de fabricação habilitadora da CM é a produção baseada em tempo, pois um dos princípios da CM envolve a entrega rápida dos produtos. Nessa perspectiva, o estudo de Tu, Vonderembse e Ragu-Nathan (2001) indicou que altos índices de práticas de produção baseada em tempo estavam associados a altos níveis de CM. Seus resultados sugerem que o desempenho da estratégia de CM é afetado pela habilidade da empresa em implementar práticas de manufatura baseadas no tempo. Práticas de fabricação objetivando redução de tempo continuam a surgir, como o trabalho de Hadidi e Moawad (2016), que propõe um modelo para otimização de múltiplas linhas de produção.

Através de uma pesquisa realizada em 194 empresas praticantes da CM, Duray et al. (2000) identificaram que todos os participantes da pesquisa de alguma forma utilizavam a prática de produção por encomenda (*make-to-order* – MTO). A tendência da proliferação dos produtos diferenciados nas fábricas ocasiona a necessidade de uma correspondente mudança do planejamento de produção que precisa migrar de fabricação para estoque (*make-to-stock* – MTS) para produção por encomenda (MTO) (ZHANG; TSENG, 2009; JIANG et al., 2012).

2.1.3.6 Coordenação da cadeia de suprimentos

O trabalho de Fogliatto, Silveira e Borenstein (2012) identificou a expansão de pesquisas associando o termo CM com cadeia de suprimentos, que consiste em um fabricante e vários fornecedores cooperativos (ZHANG; HUANG, 2010). Aspectos como a utilização de múltiplos fornecedores, agendamento de entregas, prazos de entrega e coordenação logística de maneira eficiente serão abordados nesse habilitador, pois, como identificado por Ma, Wang e Liu (2002), um dos itens que impacta na redução de custos de inventário são as interações com a cadeia de suprimentos.

Fatores determinantes de sucesso para CM, externos à organização, já haviam sido definidos por Kotha (1996). Entre eles, o autor afirma que a empresa que pretende aplicar a CM precisa ter acesso a uma rede de fornecedores na proximidade, sendo que fabricantes, intermediários e outros elementos da cadeia de valor precisam estar conectados dentro de uma rede de informações eficiente. Salvador, Rungtusanatham e Forza (2004) acrescentam

que aumentar a proximidade geográfica entre fabricante e fornecedor é uma ação lógica para minimizar as desvantagens logísticas do processo de fornecimento.

Um ambiente orientado para o cliente, como o da CM, possui características como curto ciclo de vida dos produtos e demanda volátil, propriedades essas que implicam no aumento da tendência de terceirizações (MOURTZIS et al., 2014). Incertezas de demanda geram impactos nas ofertas da cadeia de abastecimento, dificultando a aquisição de materiais ao tempo e custo necessários para oferecer o preço de venda adequado ao nicho de mercado da CM. As empresas que são capazes de melhor gerenciar essas incertezas, em comparação a seus concorrentes, são capazes de atingir níveis mais elevados de habilidade em CM (LIU; SHAH; SCHROEDER, 2010).

Salvador, Rungtusanatham e Forza (2004) realizaram um estudo da configuração da cadeia de suprimentos em empresas que realizam CM. Os autores identificaram que o grau de liberdade do cliente em especificar o produto afeta consideravelmente como uma empresa configura o fornecimento e define sua cadeia de fornecimento. Devido ao alto grau de liberdade dos clientes, altos níveis de terceirização (*outsourcing*) são exigidos, permitindo transferir parte da responsabilidade da empresa para terceiros, tais como desenvolvimento de soluções para novos produtos e apoio técnico. Essa prática permite agilizar alguns processos, facilitando a gestão da empresa, permitindo a ela focar apenas nos principais processos de produção (YANG; BURNS; BACKHOUSE, 2004).

2.1.3.7 Tecnologias de fabricação

Para implementar a estratégia de CM, é necessário integrar diferentes tecnologias de fabricação em um quadro estruturado que seja capaz de combinar fatores humanos e tecnológicos (SILVEIRA; BORENSTEIN; FOGLIATTO, 2001). Nessa perspectiva, a utilização de sistemas de informação e tecnologias avançadas de produção (*Advanced Manufacturing Technologies* – AMTs), entendidas como *hardwares* e *softwares* avançados de manufatura, são um habilitador necessário para CM (KOTHA, 1996; SILVEIRA; BORENSTEIN; FOGLIATTO, 2001; DU; JIAO; TSENG, 2002).

Kotha (1996) verificou a presença da tecnologia de projeto auxiliada por computador (*Computer Aided Design* – CAD) e de sistemas de manufatura auxiliada por computador (*Computer Aided Manufacturing* – CAM) em uma empresa que customiza bicicletas. A pesquisa de Duray et al. (2000) em empresas praticantes da CM identificou a

utilização da tecnologia CAD e aponta que ela pode ser necessária para gerenciar a parte customizada da ordem de produção de uma maneira eficiente e econômica. Os autores observaram também a utilização de altos níveis de planejamento e controle da produção (PCP), assim como a utilização da ferramenta MRP (*material requirement planning*).

Para produzir peças altamente customizadas, são necessárias máquinas flexíveis e configuráveis que disponham de capacidade para realizar tarefas diversificadas. Nesse contexto, Du, Jiao e Tseng, (2002) comentam a respeito da flexibilidade e agilidade proporcionada por máquinas que trabalham a partir de comando numérico computadorizado (*Computer Numeric Control – CNC*).

Conforme mencionado anteriormente, a CM está afetando o planejamento e controle das operações de fabricação, exigindo altos níveis de PCP. No âmbito de tecnologias de fabricação para planejamento da produção, Zhang e Huang (2010) tratam de uma ferramenta integradora que realiza configuração simultânea de produtos no fabricante e em sua rede de suprimentos, na qual uma plataforma de *software* comum é compartilhada para configurar os produtos com módulos variantes.

2.1.3.8 Tecnologias de informação

Fornecendo o suporte necessário ao sucesso da implementação dos habilitadores, a utilização da tecnologia de informação é fundamental para capacitar os processos empresariais que são utilizados na CM (FOGLIATTO; SILVEIRA; BORENSTEIN, 2012). Nesse contexto, Zipkin (2001) afirma que existem muitos tipos de informações requeridas para sistemas de CM que podem ser tratadas de forma rápida e econômica, por meio do uso do computador e da internet, podendo ainda ser auxiliadas por meio de sistemas de gerenciamento do relacionamento com o cliente (*Customer Relationship Management – CRM*). Outra tecnologia abordada pelo autor é a ferramenta de configuração de produto.

Configuradores de produto são uma classe de aplicativos de computador projetados para ajudar as empresas a oferecerem variedade de produtos a partir da customização (HVAM; MORTENSEN; RIIS, 2008). Um estudo a respeito do configurador de produto, realizado por Trentin, Perin e Forza (2012), verificou o impacto do configurador na qualidade do produto. Por meio da pesquisa, percebeu-se que essas aplicações são indispensáveis em ambientes de CM e que a utilização do *software* melhora a compatibilidade entre a variedade e a qualidade dos produtos.

Tu, Xie e Fung (2007) apontam tecnologias de comunicação, computador, internet e engenharia simultânea como fornecedores de infraestrutura tecnológica necessária para realização da CM. Sua pesquisa concentra esforços no uso das tecnologias de comércio eletrônico (*e-commerce*) para gerenciar uma cadeia de desenvolvimento de produto, ligando clientes, fornecedores e fabricantes no desenvolvimento simultâneo de produtos customizados em curto espaço de tempo e em nível de custo de produção em massa. Relacionados com esse trabalho também estão Helms et al. (2008), que exploraram especificamente o comércio eletrônico, afirmando que ele facilita a aquisição de dados através da captura das interações dos clientes na internet.

O envolvimento do cliente no projeto é um requisito que caracteriza a CM. Nesse contexto, Mourtzis et al. (2014) apresentaram uma ferramenta baseada em *web* que se caracteriza pela redução dos custos envolvidos nos processos de transferência de informação entre cliente e fabricante. Sua proposta é uma espécie de configurador *web* que permite a integração do cliente na fase de projeto do produto. Relacionando esse contexto com a agilidade nas informações, Tu, Xie e Fung (2007) afirmam que, para garantir o sucesso da CM em uma cadeia de desenvolvimento de produto, é necessária uma estimativa de custo rápida, automática e precisa.

2.2 PESQUISA OPERACIONAL E O CÁLCULO DO *MIX* IDEAL DE PRODUÇÃO

A principal atribuição da produção e operações está vinculada com a forma pela qual as organizações produzem seus bens e serviços (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Segundo Arnold, Chapman e Clive (2007) o sistema de planejamento da produção é responsável por planejar o fluxo de materiais nos processos de manufatura. O planejamento apoia o processo de tomada de decisão ao identificar as atividades futuras e selecionar a melhor opção. Problemas de planejamento e programação da produção são comuns às organizações. Entre eles, está o problema do *mix* de produção, que envolve quando, quais e quantos produtos fabricar em um determinado período, tendo em vista a capacidade limitada de recursos (ARENALES et al., 2015).

Problemas de planejamento e programação da produção podem ser resolvidos por meio da pesquisa operacional (PO), cuja aplicação permite dar suporte à decisão em ambientes produtivos (PIDD, 1998). A PO trata da modelagem matemática de fenômenos; é um método científico que apoia a tomada de decisões. Consiste em descrever um sistema

organizado com o auxílio de um modelo, e, através da experimentação, busca-se descobrir a melhor forma de operar o sistema (SILVA et al., 1998). Em outras palavras, a PO baseia-se na criação de modelos matemáticos para a resolução de problemas reais (GOLDBARG, 2000).

Os primeiros estudos na área de operações surgiram na Inglaterra em 1934 com o nome de investigação de operações e estavam ligados à invenção do mecanismo de radar. Em 1938, surgiu o termo PO, durante estudos da eficiência de técnicas de operações em experimentos de interceptação de aviões inimigos em aparelhos de radar. Logo em seguida, durante a Segunda Guerra Mundial, foram reportados inúmeros casos de aplicação de PO para solução de problemas de carácter militar (ARENALES et al., 2015).

Nos EUA, em 1947, a PO foi impulsionada por George Dantzig, que desenvolveu o algoritmo Simplex, utilizado para solucionar problemas de programação linear, um dos pilares da PO (PIDD, 1998) e uma das técnicas mais utilizadas para solucionar problemas de operações (PRADO, 1999). O algoritmo Simplex permite a resolução manual de diversos problemas de PO, especialmente aqueles de baixa complexidade. Desde então, o crescente aumento da capacidade de memória e velocidade de processamento dos computadores motivaram o rápido desenvolvimento da PO (BELFIORE; FAVERO, 2012). No século XXI, a PO tem desempenhado um importante papel na área de planejamento, devido à crescente complexidade dos sistemas de produção e incertezas decorrentes de fenômenos como globalização, telecomunicações, internet e economia eletrônica (ARENALES et al., 2015).

Segundo Moreira (2011), um modelo matemático da programação linear se resume em duas etapas. A primeira etapa condiz com a função objetivo, que busca a maximização ou a minimização dos resultados, por exemplo, maximizar o lucro da empresa; ela é composta basicamente pelas variáveis de decisão, cujo valor será descoberto com a resolução do problema. Já a segunda etapa diz respeito ao conjunto de restrições, associadas, por exemplo, à disponibilidade de matérias-primas, mão de obra e não negatividade.

Trabalhos como o de Romauch e Klemmt (2015) utilizam a programação linear para resolver problemas de programação da produção, respeitando limites de demanda e restrições. Para a realização do cálculo do *mix* ideal de produção, a quantidade de restrições utilizadas e a complexidade das interações depende de cada organização (ARENALES et al., 2015). Com o intuito de facilitar o entendimento da modelagem

matemática utilizada para determinação do *mix* ideal de produção, Lea (2007) traz o exemplo de uma equação utilizada para determinar o *mix* ideal de produção em uma de suas formas mais simplistas, que é apresentada na Equação 1.

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{j=1}^n (P_j - c_j)x_j \quad (1)$$

$$\text{sujeito } \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$x_j \leq D_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Onde:

P_j – Representa o preço de venda do produto;

c_j – Representa o custo do produto;

a_{ij} – Representa a quantidade de recurso requerida para produzir o produto;

b_i – Representa a quantidade máxima disponível do recurso produtivo;

x_j – Representa a quantidade do produto a ser produzido;

D_j – Representa a demanda de mercado prevista para o produto;

m – Representa a quantidade de produtos; e

n – Representa a quantidade de recursos produtivos.

Problemas de programação linear geralmente são resolvidos por meio de *softwares* (PRADO, 1999). Entre eles está a ferramenta Solver, que faz parte de um conjunto de programas chamados de ferramentas de análise, presentes no *software* Microsoft Excel. Com essa ferramenta, é possível determinar a melhor solução, também chamada de solução ótima ou valor ideal, em problemas de programação linear que contenham múltiplas variáveis e envolvem diferentes restrições (MONTINI, 2004).

Segundo a Microsoft (2017), para resolução de um problema de programação linear no Solver do Excel, os passos apresentados de uma forma resumida iniciam com a definição da célula objetivo que buscará maximização ou minimização do resultado, conforme selecionado durante a programação. O próximo passo é indicar o intervalo de células variáveis, ou seja, as células que terão seus valores alterados em busca do objetivo indicado, respeitando as restrições informadas. Também é preciso indicar qual o método de solução do problema; segundo Pidd (1998), problemas de programação da produção podem ser resolvidos pelo LP Simplex. Após todos os parâmetros configurados, é necessário clicar no botão Resolver, que trará os valores para as células variáveis.

3 MÉTODO

Neste capítulo são apresentados o método de pesquisa e o método de trabalho. As diretrizes para execução do estudo foram estabelecidas de modo que resultam do desdobramento dos objetivos propostos neste trabalho.

3.1 MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa científica adotada neste trabalho de dissertação é de natureza aplicada, gerando conhecimentos para a solução de problemas reais (CERVO; BERVIAN, 2002). Possui abordagem quantitativa, que se caracteriza pela objetividade (BRYMAN, 1988), permitindo a mensuração e constatações numéricas dos resultados encontrados (ROSENTAL; FRÉMONTIER-MURPHY, 2001), sendo que as análises geralmente são apresentadas por meio de tabelas e gráficos (FACHIN, 2003).

Na fase inicial da pesquisa, foi realizado levantamento bibliográfico acerca do tema em estudo e, durante a execução, será estudado em profundidade o que afeta o *mix* ideal de produção. Com isso, a pesquisa aborda o nível exploratório, que, segundo Malhotra (2011), possui o intuito de explorar ou examinar determinado problema ou situação para proporcionar conhecimento e compreensão. Durante a pesquisa, foram delineadas as características da estratégia de CM no caso selecionado; dessa forma, além do nível exploratório, a pesquisa caracteriza-se em nível descritivo, possuindo a finalidade de observar e registrar os fenômenos, descrevendo as características da amostra pesquisada (VERGARA, 2015).

Por fim, a pesquisa busca explicar a ocorrência dos fenômenos identificados na amostra e enquadra-se também em nível explicativo, onde registram-se, analisam-se e interpretam-se os fatos de modo que a interpretação dos resultados permitem aprofundar o conhecimento da realidade através da busca pela explicação da razão da ocorrência dos fenômenos (MARCONI; LAKATOS, 2011).

Quanto ao método de pesquisa, foi adotado o estudo de caso, que pode ser definido como uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo da vida real, sendo utilizado quando os limites do fenômeno não estão claramente definidos. Devido à natureza do problema e da questão de pesquisa deste trabalho, ao elaborar o projeto do método, foi definido como estudo de caso único, permitindo que os investigadores

detenham o foco em um “caso” e retenham uma perspectiva holística e do mundo real (YIN, 2015).

Com o objetivo de fortalecer a confiabilidade dos resultados obtidos, os dados da produção real da empresa foram coletados em três períodos de tempo, de modo que possam ser comparados. Essa metodologia concede a este estudo de caso uma abordagem longitudinal, segundo Yin (2015): são coletados os dados de um caso único em períodos de tempo distintos e pré-definidos, esperando-se que eles reflitam as proposições teóricas abordadas na pesquisa.

Quanto à sua forma, este estudo também pode ser classificado como de modelagem e simulação, pois modelos são desenvolvidos para auxiliarem a tomada de decisão e aperfeiçoar o desempenho do sistema (MORABITO; PUREZA, 2012), o que será realizado na etapa 9 do método de trabalho. Segundo Harrel, Ghosh e Bowden (2004) uma das vantagens da modelagem e simulação é que cenários podem ser construídos através de uma representação virtual, sem a necessidade de alterar a realidade, ou seja, é possível testar novos conceitos ou sistemas antes de implementá-los.

A simulação de cenários, segundo Wright e Spers (2006), consiste em uma ferramenta de prospecção do futuro, por meio da qual são feitas descrições plausíveis e consistentes de possíveis situações futuras. É uma técnica possível de ser utilizada para auxiliar as decisões em ambientes complexos e marcados pela incerteza (SILVA; SPERS; WRIGHT, 2012). Como observado na revisão da literatura deste trabalho, essas características estão presentes em ambientes de CM.

3.2 MÉTODO DE TRABALHO

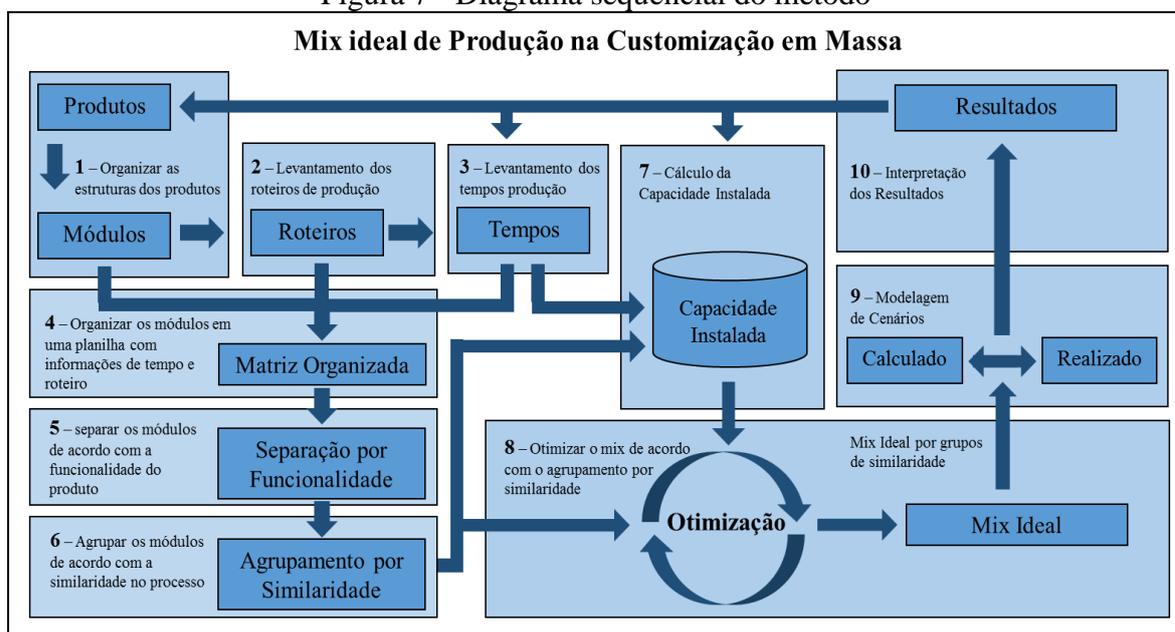
A partir da fundamentação teórica, apresentada nos capítulos anteriores, é proposta uma metodologia com o objetivo de desenvolver um modelo de cálculo para mensurar quais os impactos da adoção do *mix* ideal de produção em ambientes de CM, tratando mais especificamente do setor moveleiro. A metodologia é constituída das seguintes etapas:

- a) etapa 1: organizar as estruturas dos produtos;
- b) etapa 2: realizar levantamento dos roteiros de produção;
- c) etapa 3: realizar levantamento dos tempos de produção;
- d) etapa 4: organizar os módulos com informações de roteiro e tempo;

- e) etapa 5: separar os módulos de acordo com a funcionalidade do produto;
- f) etapa 6: agrupar os módulos de acordo com a similaridade no processo;
- g) etapa 7: fazer o levantamento da capacidade instalada;
- h) etapa 8: otimizar o *mix* de produção pelos grupos de similaridade no processo;
- i) etapa 9: realizar modelagem de cenários comparando realizado com otimizado; e
- j) etapa 10: interpretar os resultados.

Por meio do diagrama apresentado na Figura 7, é possível visualizar o método através de uma apresentação sequencial de suas etapas. Cada retângulo na cor cinza enquadra uma etapa. O detalhamento das etapas é apresentado nas seções que seguem. A metodologia foi proposta para ser aplicada preferencialmente em indústrias de móveis que façam CM.

Figura 7 - Diagrama sequencial do método



Fonte: O autor (2017).

3.2.1 Etapa 1: organizar as estruturas dos produtos

A etapa inicial da metodologia proposta consiste em organizar as estruturas dos produtos da empresa de acordo com a hierarquia básica proposta pela literatura, ou seja, os elementos que compõem os produtos precisam ser dispostos de modo que permitam ser

classificados em plataformas, módulos e componentes. Segundo a literatura, a plataforma básica deve dar origem a uma multiplicidade de produtos. Essa diversificação de produtos é obtida através do acoplamento da combinação de diferentes módulos na plataforma básica. Os produtos que derivam de uma mesma plataforma devem ser agrupados em famílias de produtos.

Utilizando essa metodologia, não é considerado o nível de produto, mas sim os níveis inferiores. Conforme apresentou-se na justificativa deste trabalho, para calcular o *mix* ideal de produção na CM, o foco precisa estar nos níveis inferiores e intermediários da estrutura do produto, pois, devido à grande variedade de produtos gerados em um ambiente de CM, não é possível otimizar o *mix* ideal de produção avaliando apenas os produtos finais.

O resultado da etapa 1 é a relação de módulos utilizados na composição dos produtos. A partir deles, é realizada a etapa 2, na qual deve ser feito o levantamento dos roteiros de produção de cada módulo. A etapa 4, que realiza a organização desses módulos, também utiliza as informações resultantes da etapa 1, como pode ser observado no diagrama sequencial do método anteriormente apresentado (Figura 7).

3.2.2 Etapa 2: realizar levantamento dos roteiros de produção

Após dividir todos os produtos de modo que seja possível identificar os módulos que o constituem, a etapa seguinte é apontar os roteiros de produção. Na perspectiva da engenharia do processo, os roteiros de produção consistem em definir a sequência de processamento do produto ao longo dos departamentos produtivos. Neste trabalho, é apontado o roteiro de produção para cada módulo, uma vez que são considerando os níveis inferiores dos produtos, ou seja, os módulos. É necessário apontar em quais departamentos produtivos cada módulo precisa passar para ser produzido.

3.2.3 Etapa 3: realizar levantamento dos tempos de produção

Entende-se que uma maneira de apontar os tempos de produção dos módulos é somar o tempo de todas as operações que são realizadas em cada departamento produtivo, obtendo assim o tempo total de processamento dos módulos em cada setor. Essa

metodologia é necessária em função do nível de detalhamento exigido para realizar o cálculo da capacidade instalada.

Com a etapa 3 concluída, o resultado é a relação dos tempos de processamento de todos os módulos em cada departamento produtivo. Essas informações, juntamente com o agrupamento dos módulos de acordo com a similaridade no processo (etapa 6), são utilizadas na etapa 7, na qual os tempos apontados são empregados para calcular a capacidade instalada.

3.2.4 Etapa 4: organizar os módulos com informações de roteiro e tempo

O objetivo dessa etapa é a identificação e organização lógica das partes que integram o produto; conforme proposto pela literatura, ainda serão acrescentadas as informações de roteiro e tempos de processamento. Após concluída, pode ser considerado atendido o primeiro objetivo específico proposto neste trabalho, que consiste em organizar as estruturas dos produtos para a estratégia de customização adotada pela empresa.

3.2.5 Etapa 5: separar os módulos de acordo com a funcionalidade do produto

Essa etapa consiste em separar os módulos de acordo com a funcionalidade do produto. Segundo Rozenfeld et al. (2006), uma maneira de definir especificações para componentes e módulos é com base na funcionalidade do produto final ao qual eles serão acoplados; dessa forma, torna-se possível definir uma classificação dos módulos de acordo com a questão fundamental da existência do produto que eles integram.

As famílias de produtos compostas por itens que derivam de uma mesma plataforma são separadas em grandes grupos, definidos de acordo com sua funcionalidade. Essa separação é necessária, pois, quando a empresa possuir produtos com funcionalidades distintas, os módulos precisam ser separados de modo que garantam um bom agrupamento por similaridade, o que será realizado na etapa seguinte.

3.2.6 Etapa 6: agrupar os módulos de acordo com a similaridade no processo

Com o objetivo de reduzir a complexidade e variedade de itens em ambientes de CM, Jiao e Tseng (2000) realizaram um estudo para compreender as famílias de produtos.

Os autores identificam duas fontes de comunalidade entre os produtos: nos componentes e no processo. Considerando como base a ideia da comunalidade de processos, a etapa 6 utiliza os tempos e roteiros como critérios para agrupar os módulos de acordo com sua similaridade no processo produtivo.

Para a execução dessa etapa, são utilizadas as informações da matriz de módulos roteiros e tempos. A conclusão da etapa atende ao segundo objetivo específico deste trabalho, que consiste em agrupar os produtos de acordo com a similaridade no processo. Os resultados provenientes são utilizados para calcular a capacidade, juntamente com os tempos de produção, e fazer a otimização do *mix* ideal de produção.

Para agrupar os módulos de acordo com a similaridade no processo produtivo, é necessário abandonar a separação convencional de produtos, pautada em suas características visuais, ou seja, o gênero do produto, por exemplo, cadeiras, poltronas e mesas. É preciso criar novas famílias, de modo que se agrupem os módulos de acordo com a similaridade no processo produtivo, critério fundamental para o departamento produtivo.

O *mix* ideal de produção é indicado pelos grupos de similaridade, uma vez que tratar diretamente dos produtos finais seria inviável em função da elevada quantidade de produtos decorrentes do processo de customização. Outro motivo para utilizar grupos por similaridade nos processos é que matérias primas e componentes que são utilizados no processo produtivo geralmente são obtidos de fornecedores, e esses possuem disponibilidade de fornecimento além da demanda da empresa, enquanto os processos produtivos internos dependem da mão-de-obra disponível na empresa, ou seja, a capacidade instalada, e esse recurso é o que limita a produção da empresa.

3.2.7 Etapa 7: determinar a capacidade instalada

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), em empresas de bens de consumo, a medida de capacidade e volume de produção geralmente é apresentada por produto. Entretanto, quando existe uma gama ampla de produtos, como no caso de ambientes de CM, é inviável estimar a capacidade instalada por produtos, devido às inúmeras possibilidades de composição do *mix*. Nesse caso, outra forma de definir a capacidade instalada, segundo os autores, é utilizar médias baseadas em insumos; uma dessas medidas é o tempo disponível em cada departamento produtivo.

A etapa 7 consiste em calcular a capacidade instalada. Para a realização dessa tarefa, o tempo em minutos homem disponível em cada departamento produtivo é o elemento referencial utilizado; também são utilizadas as informações dos tempos de processamentos dos módulos que foram levantados na etapa 3, assim como o agrupamento dos módulos por similaridade no processo, realizado na etapa 6. O resultado dessa etapa é uma planilha organizada com o levantamento de minutos disponível em cada departamento produtivo. As informações geradas atendem ao terceiro objetivo específico proposto neste trabalho, que visa determinar a capacidade instalada. Os resultados dessa etapa são utilizados na etapa 8, que consiste em otimizar o *mix* ideal de produção.

3.2.8 Etapa 8: otimizar o *mix* de produção pelos grupos de similaridade no processo

A etapa 8 é construída de forma que atenda ao quarto objetivo específico proposto neste trabalho, que consiste em definir o *mix* ideal de produção para a estrutura instalada. A modelagem da otimização é realizada por meio da programação linear, utilizando a ferramenta Solver do *software* Microsoft Excel. Como essa ferramenta possui limitação de 200 variáveis, caso ela não contemple todo o problema, será utilizado como alternativa o Solver do BrOffice, por permitir a adição de um número maior de variáveis.

Para modelagem do cálculo é necessário montar uma planilha com os grupos de similaridade no processo e seu tempo médio de processamento, respeitando restrições de capacidade disponível, demandas mínimas e máximas. Como resultado dessa etapa, obtém-se um algoritmo de otimização para definir o *mix* ideal de produção por grupos de similaridade no processo em ambientes de CM.

A otimização objetiva a minimização da soma do tempo total ocioso nos departamentos produtivos. Modelando o problema, são apontadas as restrições para composição do *mix* que envolvem questões de capacidade e demandas. Com a ferramenta desenvolvida, é possível indicar o *mix* ideal de produção por grupos de similaridade no processo, dentro das melhores condições de aproveitamento da capacidade instalada.

O *mix* ideal indica quantos itens de cada grupo devem ser produzidos e não a quantidade de módulos. Dessa forma, múltiplas configurações de produtos podem fazer parte da composição do *mix* ideal de produção. Por exemplo, o *mix* ideal indicou que são 50 produtos do grupo 1; esses 50 produtos podem ser distribuídos de qualquer forma entre

os 12 modelos que compõem o grupo, pois esses produtos têm similaridade nos processos produtivos.

Na CM, os níveis inferiores devem ser avaliados em lugar dos produtos finais. Com um *mix* ideal indicado por grupos de similaridade no processo, torna-se possível a otimização da capacidade instalada juntamente com a flexibilidade exigida pela área comercial, que precisa vender a customização com um diferencial e derivar múltiplos produtos a partir dela. Essa abordagem para definir o *mix* de produção a partir de grupos de produtos similares garante versatilidade em gerar um *mix* diversificado. Também não seria lógico, em um portfólio de produtos customizados, indicar o *mix* ideal por produto final, pois o número de produtos finais é muito alto se comparado a sistemas de produção convencionais; essa limitação também reduziria o poder de negociação do setor comercial.

3.2.9 Etapa 9: realizar modelagem de cenários comparando realizado com otimizado

Essa etapa foi elaborada de modo que cumpra com o quinto objetivo específico deste projeto, que propõe modelar cenários com os dados coletados na empresa e calculados na etapa de otimização. Primeiramente, é preciso realizar a coleta de dados da produção real da empresa, os quais posteriormente são confrontados com o cenário otimizado, que simula a fabricação do *mix* ideal de produção. Como já mencionado anteriormente, utiliza-se uma abordagem longitudinal: os dados do *mix* de produção real da empresa são coletados em períodos de tempo distintos, para posteriores comparações entre eles e com o cenário otimizado.

Para a coleta de dados, devem ser utilizados dados fornecidos pelo PCP da empresa; também é necessário verificar o horizonte de tempo do planejamento da produção. Os dados devem ser coletados em períodos que apresentam características distintas nas vendas, com média de venda, baixa, média e alta. O objetivo de coletar os dados em diferentes períodos de tempo é analisar se ocorrem os impactos gerados ao *mix* de produção pelas dificuldades de programação por falta de pedidos, bem como quais são esses impactos.

Nos dados fornecidos pelo PCP da empresa, devem constar a data e as quantidades produzidas de cada módulo; essas quantidades precisam ser agrupadas de acordo com a similaridade no processo, ou seja, nos grupos que foram constituídos na etapa 6. Esse agrupamento é necessário, pois o *mix* ideal calculado também é informado

por grupos de similaridade no processo. Para realizar o agrupamento, deve ser elaborada uma planilha com a relação dos módulos produzidos e uma fórmula de procura, que permite buscar cada módulo pelo nome do grupo a que pertence. Ao final da planilha, adiciona-se uma fórmula que soma a quantidade de módulos produzidos em cada grupo de similaridade no processo.

3.2.10 Etapa 10: interpretar os resultados

A etapa 10 consiste na realização de cálculos comparativos entre os cenários elaborados com dados da produção realizada pela empresa com o cenário otimizado que utiliza os dados do cálculo do *mix* ideal de produção efetuado na etapa 8. Os cenários são analisados de modo que seja possível identificar medidas que possam ser executadas no presente, para aumentar as probabilidades de ocorrência de cenários que sejam favoráveis à empresa no futuro.

A interpretação dos resultados provenientes do comparativo entre os cenários permite apoiar o processo decisório. Por exemplo, departamentos que, no cenário otimizado, apresentam ociosidade podem estar com sua capacidade mal dimensionada. Também é possível analisar os produtos que não aparecem nos resultados da otimização, os quais podem prejudicar o aproveitamento dos recursos produtivos; caso não seja estratégico mantê-los em linha, eles devem deixar de integrar o portfólio de produtos oferecidos pela empresa.

Conforme pode ser visualizado no diagrama sequencial do método (Figura 7), as setas que se originam na etapa 10 representam as saídas que derivam da interpretação dos resultados. A etapa 10 é a etapa final proposta neste trabalho, porém, como pode ser observado no diagrama, as setas apontam novamente para as primeiras etapas; dessa forma, o processo não finaliza, mas tornando-se cíclico, pois os resultados permitem realizar inferências nas primeiras etapas, o que interfere positivamente em todo o sistema, gerando um processo de melhoria contínua.

Com a conclusão da etapa 10, o propósito geral desta dissertação é atendido: desenvolver um modelo de cálculo para mensurar quais os impactos da adoção do *mix* ideal de produção na estratégia de CM de uma empresa moveleira.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, apresenta-se o estudo de caso realizado em uma empresa moveleira que customiza em massa, com o objetivo de validar a metodologia proposta. O capítulo está dividido em duas sessões; na primeira, caracteriza-se a empresa; na segunda, analisa-se o caso.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

O objeto empírico deste estudo é uma empresa localizada na cidade de Garibaldi, na Serra Gaúcha, que atua na fabricação de móveis, produzindo banquetas, cadeiras, poltronas e mesas. Possui uma estrutura física de 1.600 m², dividida em 12 departamentos produtivos; seu quadro funcional é composto por 29 pessoas. O *mix* de produtos oferecido pela empresa é composto por 93 modelos, todos customizáveis; através da configuração desses modelos, é possível gerar uma variação aproximada de 3.000 produtos.

A empresa atende lojistas de todo Brasil, que efetuam venda sob encomenda, correspondendo assim a um sistema de produção “puxado” (*make-to-order* – MTO), que se caracteriza por produzir somente o que já foi vendido. Visto isso, as dificuldades para compor o *mix* ideal de produção tornam-se ainda maiores, pois fica descartada a possibilidade de produzir para estoque.

O processo de customização inicia na loja, no momento em que o consumidor final interage com o profissional de vendas, que identifica suas necessidades específicas em termos de produto e as características de utilização. O processo é dinâmico: o vendedor interpreta as necessidades do cliente e configura o produto. Uma vez realizada a venda, o lojista encaminha o pedido para a empresa, que fabrica os produtos, os quais posteriormente são enviados através de transportadora para a loja. Logo que recebidos, a loja faz a conferência e encarrega-se de entregá-los ao consumidor final.

Uma análise mostrou que a empresa possui alta rotatividade nos pedidos, sendo que os valores dos pedidos em carteira correspondem a aproximadamente 15 dias de produção. Por isso, os pedidos são programados semanalmente para garantir a entrega rápida. Os lotes de produção nem sempre podem ser agrupados devido à exigência pela entrega rápida e também à variedade de módulos que precisam ser produzidos.

4.2 ANÁLISE DO CASO

Nesta sessão, as etapas do método de trabalho são aplicadas na empresa estudada, de modo que, ao final da última etapa, estejam atendidos todos os objetivos propostos neste trabalho.

4.2.1 Etapa 1: organizar as estruturas dos produtos

Como descrito anteriormente no método de trabalho desta dissertação, o primeiro passo para execução do trabalho é organizar as estruturas dos produtos da empresa. Através de uma análise nas estruturas dos produtos, é possível entender que cadeiras, banquetas e poltronas podem ser separadas em duas partes principais, chamadas pela empresa de concha e base. Essas duas partes são produzidas separadamente e acopladas no departamento de montagem ao final da linha produtiva. A Figura 8 traz um produto servindo de exemplo para demonstrar essa separação.

Figura 8 - Separação do produto cadeira



Fonte: Imagens da empresa (2017).

Observando o portfólio de produtos ofertados pela empresa, percebe-se que eles são agrupados de acordo com suas características visuais. O procedimento adotado pela empresa é conceder o mesmo nome a produtos que derivam de uma mesma estrutura interna de concha. Neste trabalho, seguindo os pressupostos da literatura apresentados, a estrutura interna da concha será considerada a plataforma do produto; a mesma pode ser visualizada na Figura 9, na qual se observa a estrutura interna da concha do produto que foi apresentado na Figura 8.

Figura 9 - Estrutura interna da concha (plataforma)



Fonte: Imagem da empresa (2017).

Na plataforma do produto, podem ser adicionados diferentes modelos de estofaria, que caracterizam diferentes acabamentos visuais. De acordo com a literatura, os mesmos podem ser classificados como módulos; são apresentados nos assentos e encostos dos produtos da Figura 10. Depois de acionado o módulo de estofaria à plataforma do produto, o segundo módulo a ser acoplado é a base que foi apresentada na Figura 8. O acoplamento do módulo base permite multiplicar as variações do produto, conforme pode ser observado na Figura 10, que mostra 5 possíveis variações de um produto que utiliza a mesma plataforma.

Figura 10 - Múltiplos produtos a partir de uma mesma plataforma



Fonte: Imagens da empresa (2017).

A escolha do revestimento em que será confeccionado o módulo de estofaria também constitui uma customização oferecida pela empresa. São 80 opções de revestimentos oferecidos. No entanto, a escolha do revestimento não é levada em consideração para diferenciar os módulos nem entra no cálculo do *mix* ideal de produção,

uma vez que o revestimento não altera os roteiros nem os tempos de produção. O processo de corte de revestimentos é realizado manualmente, e a alteração do revestimento não gera alterações significantes no tempo; nos demais departamentos produtivos, o revestimento também não impacta no tempo de produção.

Outro grupo de produtos ofertados pela empresa são as mesas, seguindo a mesma lógica do restante dos produtos: a estrutura da mesa é considerada a plataforma básica e os módulos a serem acoplados são tampos com diferentes acabamentos e dimensões. A customização dos produtos é obtida pela combinação da estrutura da mesa com as diferentes opções de tampos. A Figura 11 ilustra como é feita essa separação.



Fonte: Imagens da empresa (2017).

A maioria das plataformas dos produtos são componentes adquiridos de terceiros; das 95 plataformas que integram o portfólio de produtos da empresa, apenas 7 são produzidas internamente. Como essas plataformas possuem módulos com compatibilidade exclusiva a elas, os roteiros e tempos de produção das mesmas são incluídos em seus módulos. Dessa forma, é possível avaliar o *mix* ideal de produção a partir da relação dos módulos que são ofertados pela empresa.

4.2.2 Etapa 2: realizar levantamento dos roteiros de produção

A empresa utiliza um *software* configurador de produtos que monta a estrutura do produto de acordo com opções de customização preestabelecidas pela fábrica e escolhidas pelo cliente. A estrutura gerada pelo *software* é composta por diferentes módulos que, para serem fabricados, dependem de operações em determinados departamentos produtivos da empresa. Por esse motivo, no cadastro de cada módulo, consta uma lista ordenada dos departamentos produtivos em que ele precisa passar para ser concluído, considerando todas

as atividades necessárias para a produção do módulo. Dessa forma, cada módulo dá origem a um grupo de ordens de produção, uma para cada departamento produtivo.

Para realizar o apontamento dos roteiros de produção, são utilizadas informações fornecidas pelo departamento de PCP (Planejamento e Controle da Produção) da empresa. Esse departamento busca informações nos cadastros dos produtos configurados para gerar ordens de produção que posteriormente são enviadas aos departamentos produtivos. A Tabela 1 apresenta o exemplo de roteiro de um módulo que utiliza 8 dos 12 departamentos produtivos da empresa.

Tabela 1 - Roteiro de módulo

| | |
|-------------------|-----------------|
| Descrição: | Banqueta Carina |
| Ref.: | 30:026: |
| Roteiro | |
| Marcenaria | |
| Corte Tecidos | |
| Costura | |
| Estofaria | |
| Colagem A | |
| Colagem B | |
| Montagem | |
| Embalagem | |

Fonte: Dados da empresa (2017).

Segundo o PCP da empresa, a maioria dos módulos não possui operações em todos os departamentos produtivos, como foi visto no exemplo da Tabela 1; no entanto, todos os módulos seguem a mesma sequência de produção ao longo dos 12 departamentos produtivos, por exemplo, as operações sempre são realizadas antes na marcenaria e depois no corte de tecidos. Embora este trabalho não trate de sequenciamento de produção, essa informação é utilizada para a organização dos dados na etapa 4.

4.2.3 Etapa 3: realizar levantamento dos tempos de produção

Não é necessário que os tempos de produção sejam separados por atividades, pois na empresa não são identificadas máquinas que atuem como gargalos. Isso porque o processo produtivo é em grande parte manual, e o recurso que limita a produção são as horas homem disponíveis em cada departamento produtivo.

Os tempos de produção dos módulos são conhecidos e mantidos atualizados pela empresa, uma vez que essas informações são utilizadas pelo departamento de custos para gerar as tabelas de preço. Dessa forma, não foi necessário realizar cronoanálises na empresa, o que poderia inviabilizar o trabalho, considerando que há grande quantidade de módulos e sazonalidade em sua produção e, para realizar a medição do tempo, é preciso produzir o módulo.

Uma vez obtidas as informações de tempo, elas são complementares aos roteiros de produção apontados na etapa anterior. A informação tempo de processamento total em cada departamento produtivo é adicionada, como pode ser visualizado em exemplo com um módulo, na Tabela 2.

Tabela 2 - Roteiro de módulo e tempos

| Descrição: | Banqueta Carina |
|-------------------|-----------------------|
| Ref.: | 30:026: |
| Roteiro | Tempos Minutos |
| Marcenaria | 3 |
| Corte Tecidos | 10 |
| Costura | 5 |
| Estofaria | 40 |
| Colagem A | 15 |
| Colagem B | 10 |
| Montagem | 5 |
| Embalagem | 1 |

Fonte: Dados da empresa (2017).

4.2.4 Etapa 4: organizar os módulos com informações de roteiro e tempo

As três primeiras etapas fornecem as informações necessárias para a realização da etapa 4, que consiste em utilizar uma planilha para dispor de maneira organizada todos os módulos, seus roteiros e respectivos tempos de processamento. É elaborada uma planilha em formato de matriz, na qual os módulos são relacionados nas linhas e os departamentos produtivos, nas colunas, ordenados da esquerda para direita, de acordo com o sequenciamento de produção. Os tempos de produção dos módulos são colocados na coluna relativa a cada departamento produtivo.

Aos módulos que, em seu roteiro de produção, não utilizam determinados departamentos produtivos será atribuído o tempo 0 (zero). A Tabela 3 traz uma extração da

planilha principal que permite visualizar 5 módulos e 5 departamentos produtivos. Seu objetivo é demonstrar a maneira como os dados são dispostos. Nota-se que, com a adição do tempo 0 (zero), a planilha assume o formato de matriz.

Tabela 3 - Organização dos roteiros e tempos

| Roteiros e Tempos | | Departamentos | | | | |
|------------------------------|------------|---------------|---------|------------|---------|-------|
| Descrição dos Módulos | Referência | Metalúrgica | Injeção | Marcenaria | Pintura | Corte |
| Módulo Banqueta Carina | 30:026: | 0 | 0 | 3 | 0 | 10 |
| Módulo Banqueta Cris | 30:013: | 0 | 0 | 3 | 0 | 12 |
| Módulo Banqueta Cris Gomada | 30:013:G: | 0 | 0 | 3 | 0 | 12 |
| Módulo Banqueta Cris Lâmina | 30:013:L: | 0 | 0 | 3 | 10 | 10 |
| Módulo Banqueta Cris Madeira | 30:013:M: | 0 | 0 | 3 | 70 | 10 |

Fonte: O autor (2017).

4.2.5 Etapa 5: separar os módulos de acordo com a funcionalidade do produto

A etapa 5 prevê a separação dos módulos de acordo com a funcionalidade do produto final. Devido à quantidade de customizações ofertadas pela empresa, são necessários 273 módulos para compor o portfólio de produtos. Esses módulos foram separados de acordo com a funcionalidade do produto que integram. Dessa separação, surgiram dois grupos, um com mesas, e outro com cadeiras, banquetas e poltronas; o grupo de mesas possui a função de apoiar, e o grupo de cadeiras, banquetas e poltronas, chamado grupo de conchas, a função de sentar.

Para realizar a separação dos produtos, todos os módulos utilizados para compor as mesas foram separados do restante dos módulos, constituindo duas planilhas de roteiros e tempos: uma para mesas e outra para conchas. Na etapa 6, é realizado o procedimento de agrupamento por similaridade, que é executado duas vezes, uma para o grupo de conchas e outra para o grupo de mesas. Posteriormente, na etapa 8, os dados provenientes desses dois grupos serão reunidos novamente.

Com o objetivo de demonstrar a necessidade desta etapa, foi realizado um teste comparativo entre as ociosidades geradas pelos módulos agrupados com e sem a separação por funcionalidade. O teste aproveitou as informações do cenário 1, que é apresentado detalhadamente na etapa 9; nesse cenário, foram utilizados dados do período de 05 a 09 de dezembro de 2016. O primeiro passo para a realização do teste foi calcular a ociosidade real da fábrica no período. Para a realização desse cálculo, foi descontado da capacidade disponível no período o somatório dos tempos individuais demandados por todos os

módulos produzidos; o resultado foi transformado em percentual, obtendo-se uma ociosidade de 23,20%.

O segundo passo do teste comparativo foi reunir todos os módulos que compõem os produtos da empresa sem fazer distinção de funcionalidade e executar a etapa 6, que agrupa os módulos por similaridade no processo. Para chegar à ociosidade, não foi utilizado o tempo individual de cada módulo produzido, mas a média de tempo dos módulos que compõem cada grupo gerado na etapa 6; essa média foi multiplicada pela quantidade de itens produzidos de cada grupo. O percentual de ociosidade encontrado para o mesmo período foi de 8,61%. Desse percentual, é subtraída a ociosidade real de 23,20%, chegando a um resultado de -14,59%. Esse resultado pode ser interpretado como perda de precisão na informação devido ao agrupamento por similaridade sem a separação por funcionalidade. Evidentemente, essa diferença no resultado é considerável e comprometeria os resultados do trabalho.

No terceiro passo do teste, foi realizada a separação dos módulos por funcionalidade; após, executou-se a etapa 6 duas vezes, sendo uma para cada grupo de funcionalidade – mesas e conchas. Para chegar à ociosidade, a quantidade de cada grupo produzido no período foi multiplicada pela média de tempo dos módulos que compõem cada grupo gerado na etapa 6; nessa etapa, criaram-se grupos para as mesas e para as conchas. O percentual de ociosidade encontrado para o mesmo período foi de 18,49%. Desse resultado, é subtraída a ociosidade real de 23,20%, chegando a um resultado de -4,71%, que pode ser considerado como perda de precisão devido à separação por funcionalidade e ao agrupamento por similaridade.

A separação por funcionalidade adiciona precisão ao agrupamento por similaridade. Em função das características da empresa estudada, o novo resultado torna-se aceitável, uma vez que essa diferença não será decisiva nos resultados finais desta dissertação. Com o intuito de facilitar a interpretação dos dados obtidos com o teste, a Tabela 4 traz as informações do comparativo; à direita, encontram-se os dados sem a separação por funcionalidade; à esquerda, com a separação por funcionalidade; destacado em verde está o resultado aceitável de -4,71%.

Tabela 4 - Comparativo com e sem separação por funcionalidade

| Comparativo com e sem separação por funcionalidade | | | |
|---|----------------|---|---|
| Sem separação por funcionalidade | | Com separação por funcionalidade | |
| Ociosidade real calculada individualmente | 23,20% | 23,20% | Ociosidade real calculada individualmente |
| Ociosidade por ter apenas agrupamento por similaridade | 8,61% | 18,49% | Ociosidade com separação por funcionalidade e agrupamento por similaridade |
| Perda de precisão por ter apenas agrupado por similaridade | -14,59% | -4,71% | Perda de precisão por ter separado por funcionalidade e agrupado por similaridade |
| Dados do Cenário 1 correspondendo ao Período de 05 a 09 de dezembro de 2016 | | | |

Fonte: O autor (2017).

A interpretação dos resultados indica que reunir os módulos antes de fazer o agrupamento por similaridade prejudica o desempenho final do agrupamento, pois são agrupados itens com diferenças de tempos de produção consideráveis. Isso ocorre porque o processo de fabricação das mesas é totalmente diferenciado do processo das conchas, sendo que poderiam inclusive ser caracterizadas duas fábricas diferentes – uma para mesas e outra para conchas.

Os módulos utilizados para compor os produtos mesas são em sua totalidade diferenciados dos módulos de conchas; sendo assim, o algoritmo desenvolvido para agrupamento acaba gerando poucos grupos de mesas, pois de fato elas são similares se comparadas às conchas. Porém, se comparadas a elas mesmas, ou seja, comparando os módulos que compõem esse grupo, é possível perceber baixa similaridade. Essa relação prejudica a média de tempo, principalmente no departamento produtivo de pintura, onde a variação de tempo demandado para produção é maior.

4.2.6 Etapa 6: agrupar os módulos de acordo com a similaridade no processo

Nessa etapa, os módulos que compõem os produtos foram agrupados de acordo com a similaridade no processo produtivo, visando atender ao segundo objetivo específico proposto. Devido à complexidade, a etapa foi dividida em 8 passos, de modo a facilitar o entendimento das operações utilizadas.

4.2.6.1 Passo 1: definir a similaridade por departamento

Nesse passo, foi elaborada uma planilha para cada departamento produtivo, na qual consta uma matriz que faz a comparação entre os tempos dos módulos, dispostos em linhas e colunas, sendo que todos os módulos são comparados entre si. A comparação é feita de acordo com o tempo de processamento no departamento produtivo. Devido ao problema da divisão por zero, foi elaborada a fórmula com três funções SE encadeadas, conforme a sintaxe apresentada abaixo:

=SE(D\$2=\$C3;100%;SE(D\$2=0;0%;SE(\$C3>D\$2;D\$2/\$C3;\$C3/D\$2)))

O resultado de cada planilha é um percentual de similaridade entre os módulos no mesmo departamento produtivo. Na Tabela 5, apresenta-se um exemplo com 8 módulos, comparando os módulos no departamento de costura. É possível perceber que as referências dos módulos que estão dispostas na coluna chamada de “Referência” são transpostas para a linha superior, dando origem a uma matriz recíproca, na qual a diagonal principal o resultado sempre será de 100%, pois o módulo é comparado com ele mesmo. A matriz original de onde foi extraído esse exemplo possui o tamanho de 174x174, pois são 174 módulos de conchas que foram comparados no caso estudado.

Tabela 5 - Matriz comparativa entre módulos

| Departamento Costura | | | 30:026: | 30:013: | 30:013:G: | 30:013:L: | 30:013:M: | 30:013:R: | 30:008:B: | 30:008:G: |
|-----------------------|------------|-------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Descrição dos Módulos | Referência | Tempo | 5 | 20 | 25 | 10 | 10 | 25 | 12 | 12 |
| Banqueta Carina | 30:026: | 5 | 100% | 25% | 20% | 50% | 50% | 20% | 42% | 42% |
| Banqueta Cris | 30:013: | 20 | 25% | 100% | 80% | 50% | 50% | 80% | 60% | 60% |
| Banqueta Cris Gomada | 30:013:G: | 25 | 20% | 80% | 100% | 40% | 40% | 100% | 48% | 48% |
| Banqueta Cris Lâmina | 30:013:L: | 10 | 50% | 50% | 40% | 100% | 100% | 40% | 83% | 83% |
| Banqueta Cris Madeira | 30:013:M: | 10 | 50% | 50% | 40% | 100% | 100% | 40% | 83% | 83% |
| Banqueta Cris Retrô | 30:013:R: | 25 | 20% | 80% | 100% | 40% | 40% | 100% | 48% | 48% |
| Banqueta Juli Bordada | 30:008:B: | 12 | 42% | 60% | 48% | 83% | 83% | 48% | 100% | 100% |
| Banqueta Juli Gomada | 30:008:G: | 12 | 42% | 60% | 48% | 83% | 83% | 48% | 100% | 100% |

Fonte: O autor (2017).

4.2.6.2 Passo 2: média de similaridade considerando todos os departamentos

Para obter a similaridade entre módulos considerando todos os departamentos produtivos, também foi elaborada uma planilha. Essa planilha calcula, de maneira automática, a média dos percentuais de similaridade do módulo em cada departamento apontado em seu roteiro de produção. Dessa forma, foi obtido um percentual de similaridade geral, o que pode ser observado no exemplo da Tabela 6, que compara dois módulos e obtém como resultado 94% de similaridade.

Tabela 6 - Similaridade entre módulos

| Similaridade entre 30:013 e 30:013G | |
|---|--------------|
| Departamento Produtivo | Similaridade |
| Metalúrgica | 100% |
| Injeção | 100% |
| Marcenaria | 100% |
| Pintura | 100% |
| Corte Tecidos | 100% |
| Costura | 80% |
| Costura M. | 100% |
| Estofaria | 100% |
| Colagem A | 100% |
| Colagem B | 50% |
| Montagem | 100% |
| Embalagem | 100% |
| Média de similaridade considerado todos os departamentos | 94% |

Fonte: O autor (2017).

Após calculadas todas as médias de similaridade considerando os departamentos produtivos, os percentuais de similaridade foram novamente dispostos em uma matriz igual à da Tabela 5; essa nova matriz, porém, considera todos os departamentos produtivos. O resultado pode ser visto em um exemplo na Tabela 7, em que são apresentados 9 dos 174 módulos que foram comparados. O resultado é novamente uma matriz recíproca, na qual, na diagonal principal, o valor é sempre 100%. O percentual de 94% de similaridade encontrado no exemplo da Tabela 6 foi destacado com o objetivo de facilitar o entendimento; as posições acima da diagonal principal repetem os valores das posições abaixo.

Tabela 7 - Similaridade entre módulos considerando todos os departamentos

| Médias de Similaridade (todos os departamentos) | | 30:026: | 30:013: | 30:013:G: | 30:013:L: | 30:013:M: | 30:013:R: | 30:008:B: | 30:008:G: | 30:008:Q: |
|--|------------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Descrição dos Módulos | Referência | | | | | | | | | |
| Banqueta Carina | 30:026: | 100% | 80% | 83% | 69% | 66% | 83% | 55% | 72% | 72% |
| Banqueta Cris | 30:013: | 80% | 100% | *94% | 64% | 61% | 94% | 61% | 72% | 72% |
| Banqueta Cris Gomada | 30:013:G: | 83% | *94% | 100% | 65% | 62% | 100% | 60% | 74% | 74% |
| Banqueta Cris Lâmina | 30:013:L: | 69% | 64% | 65% | 100% | 90% | 65% | 48% | 62% | 62% |
| Banqueta Cris Madeira | 30:013:M: | 66% | 61% | 62% | 90% | 100% | 62% | 50% | 65% | 65% |
| Banqueta Cris Retrô | 30:013:R: | 83% | 94% | 100% | 65% | 62% | 100% | 60% | 74% | 74% |
| Banqueta Juli Bordada | 30:008:B: | 55% | 61% | 60% | 48% | 50% | 60% | 100% | 83% | 83% |
| Banqueta Juli Gomada | 30:008:G: | 72% | 72% | 74% | 62% | 65% | 74% | 83% | 100% | 100% |
| Banqueta Juli Quadril. | 30:008:Q: | 72% | 72% | 74% | 62% | 65% | 74% | 83% | 100% | 100% |

Fonte: O autor (2017).

4.2.6.3 Passo 3: agrupar os itens com similaridade

Tendo calculadas as similaridades, o próximo passo é agrupar os itens que obtiveram percentual de similaridade maior ou igual ao definido. Para tal, foi elaborada uma nova planilha em formato de matriz com o mesmo tamanho da matriz de similaridade entre módulos. Cada posição da nova matriz realiza o processo de busca por uma similaridade igual ou maior que a exigida em posições equivalentes. Essas posições são identificadas na nova matriz com o número 1 (um).

O percentual de similaridade definido foi indicado em uma célula e pode ser alterado de forma simples. Dessa forma, é possível simular cenários com diferentes percentuais de similaridade que agrupem os módulos por outros percentuais de similaridade; evidentemente, quanto maior o percentual de similaridade exigido, maior é o número de grupos criados.

Para realizar esse processo de busca e marcação, foi desenvolvida uma fórmula que agrupa três funções SE, de modo que a busca pela similaridade entre os módulos é condicionada a três restrições:

- primeira restrição: na célula da coluna à esquerda da qual está sendo buscada a similaridade, o valor deve ser diferente de 1 (um);

- b) segunda restrição: a célula da coluna à esquerda da qual está sendo buscada a similaridade não deve estar em branco;
- c) terceira restrição: o valor da célula correspondente na matriz de similaridade entre módulos considerando todos os departamentos deve ser igual ao percentual de similaridade definido ou maior que ele.

A sintaxe da função é a seguinte:

=SE(B4=1;" ";SE(B4=" ";" ";SE(Similaridade!C3>=B\$2;1;0)))

A primeira restrição garante que o mesmo módulo não seja identificado em dois grupos distintos, pois, após ele ser marcado em sua respectiva coluna com o número 1 (um), a fórmula traz o resultado em branco (“ ”) para a célula. Conforme a segunda restrição, a fórmula não procura mais pela similaridade em células que estejam em branco, pois quando a célula da coluna à esquerda da qual está sendo buscada a similaridade está em branco, o processo torna-se cíclico e a linha da matriz é toda preenchida com espaços em branco da esquerda para direita.

Caso a fórmula não identifique na célula vizinha à esquerda o número 1 (um) ou a célula em branco, a fórmula executa o terceiro comando SE. Esse comando busca por um percentual de similaridade igual ou maior que o definido na célula correspondente da matriz da Tabela 7. Caso seja encontrado, o resultado é o número 1 (um), identificando similaridade. Caso não seja localizado um número igual ou superior ao percentual de similaridade definido, o resultado é 0 (zero), o que permite à fórmula dar andamento na busca por similaridade na próxima coluna.

O resultado de todas as buscas é uma matriz com valores de 1 (um) para módulos similares por coluna, resultado 0 (zero) para módulos que ainda não foram agrupados e células em branco indicando que o módulo já foi agrupado, o que também interrompe o processo de busca. Como as buscas por similaridade são efetuadas em uma matriz recíproca, os resultados com números 0 (zero) e 1 (um) aparecem na nova matriz apenas abaixo da diagonal principal.

Após a conclusão da matriz, o passo seguinte é nomear os grupos e adicionar essa informação à referência do módulo. Para isso, foi preciso incluir uma coluna chamada “Nome do Grupo”, na qual foi adicionada a função CONT.NÚM, que conta quantos

números aparecem na linha, ou seja, conta os 0 (zeros) e os 1 (um). Dessa forma, é possível nomear os módulos, separando-os de acordo com o agrupamento. No exemplo da Tabela 8, é extraída da planilha principal uma matriz de 9x9, na qual foi definido o percentual de similaridade de 85%. Esses 9 módulos formam 5 grupos, como pode ser identificado na célula chamada de “Total”, que conta apenas nomes de grupos diferentes.

Tabela 8 - Agrupamento conchas

| Agrupamento Conchas | | Total | 30:026: | 30:013: | 30:013:G: | 30:013:L: | 30:013:M: | 30:013:R: | 30:008:B: | 30:008:G: | 30:008:Q: |
|----------------------------|------------|---------------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Percentual de similaridade | 85% | 5 | | | | | | | | | |
| Descrição dos Módulos | Referência | Nome do Grupo | | | | | | | | | |
| Banqueta Carina | 30:026: | 1 | 1 | | | | | | | | |
| Banqueta Cris | 30:013: | 2 | 0 | 1 | | | | | | | |
| Banqueta Cris Gomada | 30:013:G: | 2 | 0 | 1 | | | | | | | |
| Banqueta Cris Lâmina | 30:013:L: | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | |
| Banqueta Cris Madeira | 30:013:M: | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | |
| Banqueta Cris Retrô | 30:013:R: | 2 | 0 | 1 | | | | | | | |
| Banqueta Juli Bordada | 30:008:B: | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | | |
| Banqueta Juli Gomada | 30:008:G: | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| Banqueta Juli Quadril. | 30:008:Q: | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |

Fonte: O autor (2017).

4.2.6.4 Passo 4: definir o percentual de similaridade

Para definir o valor do percentual de similaridade utilizado no agrupamento, foram simulados cenários, os quais foram obtidos através da alteração dos valores percentuais de similaridade variando em 5%. O processo foi realizado na planilha de conchas e de mesas. O resultado do agrupamento pode ser visualizado na Tabela 9, na qual se percebe que, por aumentar a similaridade de 85% para 90%, o número de grupos formados passa de 68 para 103 – um acréscimo de 51,4%. Reduzindo a similaridade para 80%, o número de grupos formados diminuiu para 55 – uma redução de apenas 19,1%.

Os resultados do agrupamento, assim como a composição de cada grupo, foram apresentados ao departamento de PCP da empresa. O responsável pelo departamento foi questionado sobre a confiabilidade do agrupamento, no sentido de os módulos agrupados corresponderem a itens que realmente possuem similaridade no processo produtivo. Através de uma análise qualitativa, considerando a experiência e o conhecimento do departamento de PCP, foi obtido o resultado positivo.

Devido às proporções na variação no número de grupos conforme a similaridade exigida, juntamente com a análise feita pelo departamento de PCP da empresa, o percentual de 85% de similaridade foi definido como a melhor opção. Esse percentual agrupa itens parecidos e reduz 273 módulos em apenas 68 grupos, o que facilita o entendimento dos produtos quanto à ocupação da fábrica, assim como o trabalho de programação da produção que é realizado semanalmente.

Tabela 9 - Resultados do agrupamento

| Resultados do Agrupamento | | | |
|---------------------------|-------------------|-------|-------|
| % de Similaridade | Números de Grupos | | |
| | Conchas | Mesas | Total |
| 90% | 83 | 20 | 103 |
| 85% | 53 | 15 | 68 |
| 80% | 45 | 10 | 55 |
| 75% | 31 | 9 | 40 |

Fonte: O autor (2017).

4.2.6.5 Passo 5: adicionar informação nome do grupo e demandas na relação de módulos

Com a Tabela 8, é possível saber a que grupo cada módulo pertence. O passo seguinte foi inserir essa informação na planilha construída anteriormente, chamada “Organização dos roteiros e tempos” (Tabela 3), que relaciona todos os módulos e seus roteiros em uma matriz. Para isso, foi adicionada a essa tabela a coluna “Grupo” e, em suas células, utilizou-se a função PROCV do Excel. A função realiza a busca pela referência, verticalmente, na planilha “Agrupamento” que foi apresentada na Tabela 8, trazendo a informação do nome dos respectivos grupos de cada módulo.

Para o cálculo da otimização que será realizado posteriormente na etapa 8, são necessárias as informações de demanda mínima e máxima de cada módulo; por isso essa informação também foi adicionada na Tabela 3. Após as inserções das novas informações, a planilha está pronta para o próximo passo. A Tabela 10 é uma extração da planilha principal; nela é possível verificar que os módulos, além de possuírem a informação de tempo em cada departamento produtivo, também possuem o nome do grupo a que pertencem e suas demandas mínima e máxima.

Tabela 10 - Roteiros e tempos dos módulos com agrupamento e demandas

| Roteiros e Tempos dos Módulos | | | Demanda | | Tempos nos Departamentos | | |
|-------------------------------|------------|-------|---------|--------|--------------------------|---------|------------|
| Descrição | Referência | Grupo | Mínima | Máxima | Metalúrgica | Injeção | Marcenaria |
| Banqueta Carina | 30:026: | 1 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 |
| Banqueta Cris | 30:013: | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 |
| Banqueta Cris Gomada | 30:013:G: | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 |
| Banqueta Cris Lâmina | 30:013:L: | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 |
| Banqueta Cris Madeira | 30:013:M: | 4 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 |
| Banqueta Cris Retrô | 30:013:R: | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 |
| Banqueta Juli Bordada | 30:008:B: | 7 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 |
| Banqueta Juli Gomada | 30:008:G: | 8 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 |
| Banqueta Juli Quadri. | 30:008:Q: | 8 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 |

Fonte: O autor (2017).

4.2.6.6 Passo 6: repetir os procedimentos anteriores para as mesas

Os mesmos procedimentos são realizados para os módulos que compõem as mesas. Esses módulos foram separados das conchas na etapa 5. Para nomear os grupos dos módulos que compõem as mesas de forma que a nomenclatura não entre em conflito com o nome dos grupos de conchas, foi adicionada à sintaxe da função que nomeia os grupos o comando “Somar 500” (quinhentos), conforme a seguinte sintaxe:

=CONT.NÚM(D4:CR4)+500

Ao todo, 273 módulos foram agrupados, sendo 174 módulos que compõem conchas e 99, mesas. Os grupos são nomeados pela contagem de numerais em cada linha das planilhas de agrupamento; como o agrupamento das conchas é feito a partir de uma matriz com tamanho de 174x174, a última possibilidade de nome de grupos é 174, por isso, somando-se 500 ao resultado da contagem do agrupamento das mesas, obtém-se nomes de grupos a partir de 500 todos diferentes dos anteriores, não existindo a possibilidade de os nomes conflitarem. O resultado do agrupamento de mesas pode ser visto na Tabela 11, que traz 9 módulos como exemplo

Tabela 11 - Agrupamento mesas

| Agrupamento Mesas | | Total | 40:024:44: | 40:024:44P: | 40:025: | 40:026: | 40:055: | 40:056: | 40:051: | 40:052: | 40:053: |
|----------------------------|-------------|---------------|------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Percentual de Similaridade | 85% | 5 | | | | | | | | | |
| Descrição dos Módulos | Referência | Nome do Grupo | | | | | | | | | |
| Base Mesa Bar DF03 | 40:024:44: | 501 | 1 | | | | | | | | |
| Base Mesa Bar DF03 Pintada | 40:024:44P: | 502 | 0 | 1 | | | | | | | |
| Base Mesa Bar Tampo Vidro | 40:025: | 501 | 1 | | | | | | | | |
| Base Mesa Cone | 40:026: | 504 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | |
| Base Mesa Cone Elíptica | 40:055: | 505 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | |
| Base Mesa Cone E. Lâmina. | 40:056: | 504 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | |
| Base Mesa Cone Lâmina | 40:051: | 504 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | |
| Base Mesa Cone Pequena | 40:052: | 504 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | |
| Base Mesa Cone P. Lâmina | 40:053: | 509 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Fonte: O autor (2017).

4.2.6.7 Passo 7: calcular as médias de tempos dos módulos de cada grupo

Com os grupos nomeados e sabendo quais módulos compõem cada grupo, o passo seguinte foi calcular a média dos tempos dos módulos que compõem o grupo por departamento produtivo. Para obter esse resultado, foi elaborada uma planilha chamada “Tempos médios”, apresentada na Tabela 12, que, além de calcular os tempos médios dos grupos, faz o somatório das quantidades de demanda mínima e máxima de cada grupo; essas informações são necessárias para realizar a otimização, na etapa 8.

A primeira coluna da Tabela 12 é um índice numérico que vai de 1 a 174, pois a matriz de similaridade das conchas é de 174x174. Esse índice serve como base para a função existente na próxima coluna da tabela, chamada “Itens por grupo”; nessa coluna, foi adicionada a função CONT.SE, que calcula quantas vezes aparece o número do índice na coluna “Grupo” da Tabela 10; caso esse número não apareça nenhuma vez, é utilizado o número 0 (zero), indicando que não existe nenhum grupo com esse nome. Essa informação é necessária para a função existente na próxima coluna. A sintaxe da função que conta os itens por grupo é a seguinte:

=CONT.SE('Roteiros e Tempos'!\$E\$3:\$E\$176;"Tempos Médios"!A3)

A próxima coluna da planilha “Tempos médios” é chamada “Nome do grupo”; nela, utiliza-se a função SE. Se, na coluna “Itens por grupo”, os resultados forem maior que zero, indicando que existem grupos com esse nome, apresenta-se como valor do índice o nome do grupo. Caso o valor não for maior que zero, apresenta-se um espaço em branco, o que desativa as funções dessa linha para as próximas colunas. Por isso, na Tabela 12, são percebidas linhas em branco, indicando que não existem grupos com o número do índice. Esse procedimento é adotado para que, no próximo passo, em que os dados são classificados, essas linhas em branco sejam deixadas para o final da classificação para não atrapalhar a manipulação dos dados. A sintaxe da função responsável por deixar o restante da linha em branco é:

```
=SE(B3>0;A3;" ")
```

As demandas são cumulativas entre os módulos que compõem um grupo, por isso elas são somadas através da função SOMASE. Entretanto, primeiramente é executada a função SE, que deixa a célula em branco caso a célula da coluna anterior na mesma linha também estiver em branco. A sintaxe da função é:

```
=SE($B3>0;SOMASE('Roteiros e Tempos'!$E$3:$E$176;$A3;'Roteiros e Tempos'!F$3:F$176);" ")
```

Os tempos não são cumulativos, sendo necessário fazer a média dos tempos de todos os módulos que compõem o grupo. Para isso, foi preciso primeiro somar os tempos dos módulos do grupo e dividir o resultado pela contagem de todos os itens que compõem o mesmo grupo. Da mesma forma que na função anterior, primeiramente aplica-se o comando SE, com o objetivo de manter a linha em branco caso necessário. Dessa forma, a sintaxe da função é:

```
=SE($B3>0;SOMASE('Roteiros e Tempos'!$E$3:$E$176;$A3;'Roteiros e Tempos'!H$3:H$176)/CONT.SE('Roteiros e Tempos'!$E$3:$E$176;$A3);" ")
```

Tabela 12 - Tempos médios

| Tempos Médios dos Grupos | | | Demanda | | Tempos | |
|--------------------------|-----------------|---------------|---------|--------|-------------|---------|
| Índice | Itens por grupo | Nome do Grupo | Mínima | Máxima | Metalúrgica | Injeção |
| 1 | 18 | 1 | 0 | 69 | 0 | 0 |
| 2 | 13 | 2 | 0 | 70 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | | | | | |
| 4 | 8 | 4 | 0 | 46 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | | | | | |
| 6 | 0 | | | | | |
| 7 | 4 | 7 | 0 | 20 | 0 | 0 |
| 8 | 8 | 8 | 0 | 75 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | | | | | |
| 10 | 2 | 10 | 0 | 8 | 0 | 0 |

Fonte: O autor (2017).

4.2.6.8 Passo 8: classificar os dados

Para classificação dos dados, é preciso trabalhar apenas com valores, não sendo possível classificar funções. Dessa forma, para executar a classificação, os dados da planilha precisam ser convertidos em valores. Para conversão, foram utilizados os procedimentos de cópia dos dados e colagem especial, sendo que apenas os valores foram transportados para uma nova planilha em branco. Posteriormente, esses dados foram classificados de acordo com o nome do grupo. Esse procedimento além de classificar os dados pelo nome do grupo elimina as linhas em branco que ficam no final da planilha após a classificação. O resultado pode ser visto na Tabela 13.

Tabela 13 - Média de tempos nos departamentos

| Tempos Médios | Demanda | | Média de Tempos nos Departamentos | | | | |
|---------------|---------|--------|-----------------------------------|---------|------------|---------|-------|
| | Mínima | Máxima | Metalúrgica | Injeção | Marcenaria | Pintura | Corte |
| 1 | - | 69 | - | - | 3 | - | 10 |
| 2 | - | 70 | - | - | 6 | - | 11 |
| 4 | - | 46 | - | - | 6 | 29 | 10 |
| 7 | - | 20 | - | - | 1 | - | 5 |
| 8 | - | 75 | - | - | 1 | - | 5 |
| 10 | - | 8 | - | - | 8 | - | 10 |

Fonte: O autor (2017).

4.2.7 Etapa 7: determinar a capacidade instalada

Na etapa 7, foi determinada a capacidade instalada da empresa, o que atende ao terceiro objetivo específico deste trabalho. Como previsto no método de trabalho, a capacidade foi indicada por disponibilidade de insumo e não por produto, devido ao processo de customização que é realizado pela empresa. Dessa forma, a capacidade foi apurada utilizando o tempo total disponível em cada departamento produtivo. Em função das características da empresa estudada e dos atributos de fabricação dos produtos, o fator limitante da produção é a hora homem; sendo assim, o detalhamento dos processos e das atividades necessárias para fabricação dos módulos não é importante para estimar a capacidade instalada.

As informações necessárias para calcular as capacidades dos departamentos produtivos foram obtidas com o setor de PCP da empresa, que utiliza essas informações para realizar as programações de produção, semanalmente. Essas informações estão separadas por departamento produtivo e dispostas em uma tabela que multiplica o número de funcionários do departamento pelos minutos disponíveis no dia e, posteriormente, pelos dias úteis da semana. Na Tabela 14, pode ser visualizado o modelo utilizado pela empresa para calcular a capacidade produtiva. O resultado final obtido é apresentado na última linha da tabela e refere-se aos minutos homem disponíveis em cada departamento produtivo.

Tabela 14 - Capacidade produtiva instalada

| Capacidade Departamento de Pintura | |
|--|--------------|
| Número de funcionários | 3 |
| Minutos disponíveis por dia | 520 |
| Número de dias úteis na semana | 5 |
| Capacidade disponível na semana em minutos | 6.630 |

Fonte: Dados da empresa (2017).

4.2.8 Etapa 8: otimizar o *mix* de produção pelos grupos de similaridade no processo

Nessa etapa, é atendido o quarto objetivo específico proposto neste trabalho, que consiste em definir o *mix* ideal de produção para a estrutura instalada. O primeiro passo para definir o *mix* de produção a partir do agrupamento por similaridade é juntar os dados classificados provenientes dos agrupamentos de conchas e mesas na planilha de otimização. O horizonte de tempo para definição do *mix* de produção deverá ser de uma

semana, uma vez que o prazo de entrega dos pedidos da empresa tem média de 15 a 20 dias, o que exige programações rápidas e pequenos lotes de produção.

Para realizar a otimização, utilizou-se a ferramenta Solver do Microsoft Excel. Para executar essa ferramenta, foi desenvolvida uma planilha com todos os grupos de módulos criados na etapa de agrupamento e todos os departamentos produtivos. A fim de facilitar a explicação do funcionamento da planilha, foi criado um modelo resumido com apenas quatro grupos de módulos e três departamentos produtivos. Essa abstração utiliza valores simbólicos e pode ser visualizada na Tabela 15; apesar de não ser completa, segue a mesma lógica da planilha principal. Na primeira coluna da Tabela 15, consta o nome do grupo; em seguida, as demandas mínima e máxima dos itens de cada grupo; logo após, o tempo médio de cada departamento produtivo. Na parte central da planilha, repetem-se os nomes dos grupos, porém seguidos da quantidade a ser produzida; à direita, aparece o tempo total utilizado em cada departamento para a quantidade apontada. Esses valores são produto da multiplicação entre quantidade e tempo em cada departamento.

No final da planilha, a linha denominada “Demanda” faz o somatório do tempo total utilizado em cada departamento produtivo. A segunda linha, chamada “Disponibilidade”, indica o tempo disponível para cada departamento produtivo no horizonte de tempo em que será feita a programação. O resultado da linha “Ociosidade” é resto da disponibilidade subtraída da demanda; na linha “Ociosidade Total”, somam-se as ociosidades individuais de cada departamento produtivo. As duas linhas finais tratam de demonstrar o resultado das ociosidades individuais e total em formato de percentual para facilitar o entendimento.

Tabela 15 - Abstração do modelo de otimização

| Otimização | Demanda | | Tempos Médio nos Departamentos | | |
|---------------------------|------------|--------|---------------------------------|---------|------------|
| Nome do Grupo | Mínima | Máxima | Metalúrgica | Injeção | Marcenaria |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 501 | 1 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| Otimização | Quantidade | | Tempos Totais nos Departamentos | | |
| Nome do Grupo | | | Metalúrgica | Injeção | Marcenaria |
| 1 | 1 | | 1 | 2 | 3 |
| 2 | 1 | | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 1 | | 1 | 2 | 3 |
| 501 | 1 | | 1 | 2 | 3 |
| Demanda | | | 4 | 8 | 12 |
| Disponibilidade | | | 4 | 10 | 15 |
| Ociosidade | | | - | 2 | 3 |
| Ociosidade Total | | | 5 | | |
| % Ociosidade | | | 0% | 20% | 21% |
| % Ociosidade Total | | | 17,62% | | |

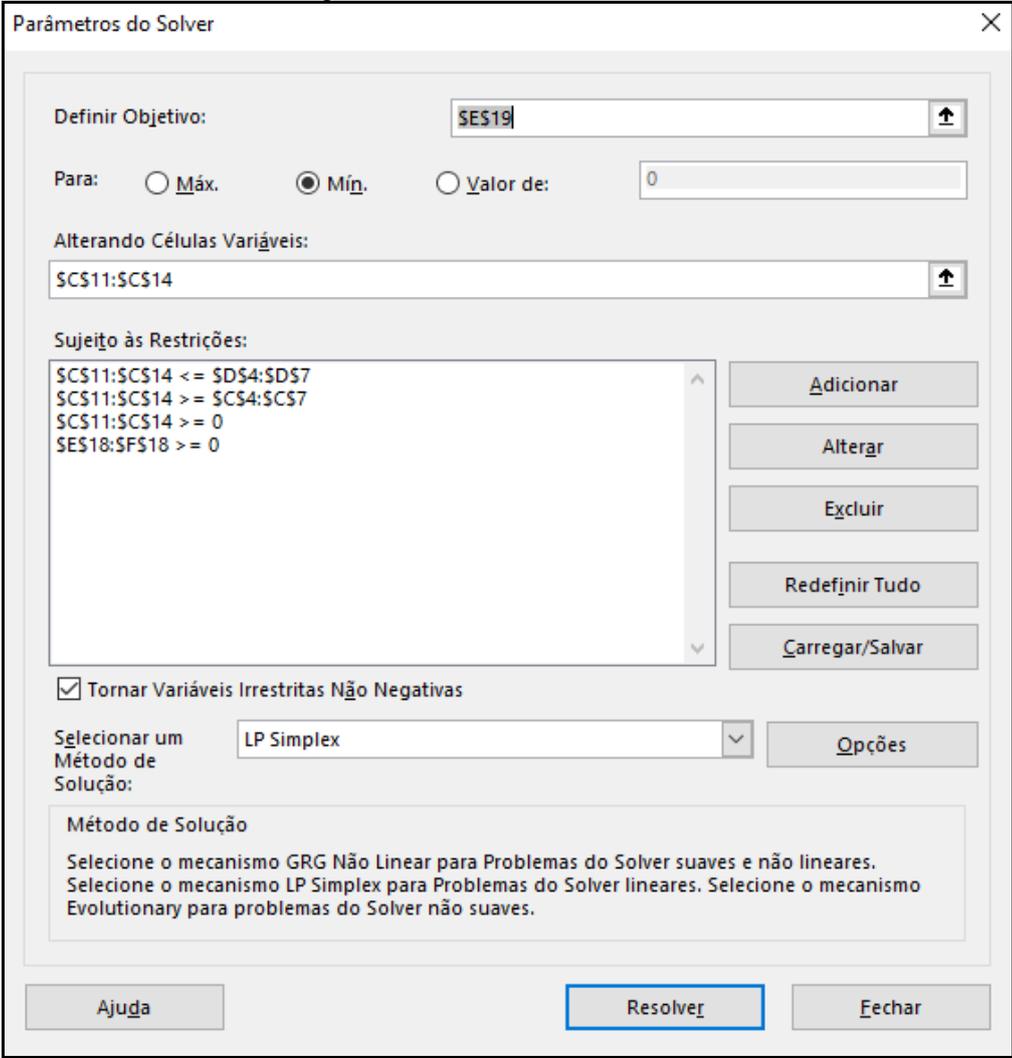
Fonte: O autor (2017).

Os parâmetros do Solver foram configurados de acordo com a Figura 12, sendo que o objetivo é minimizar a ociosidade total, garantido que os departamentos produtivos sejam aproveitados ao máximo. Esse critério é adotado em virtude de que, neste estudo de caso, a margem de contribuição de cada produto é proporcional à mão-de-obra utilizada para a produção, ou seja, à demanda. Na otimização, são alteradas as células da quantidade produzida de cada grupo, denominadas células variáveis. O método de solução selecionado é o LP Simplex, indo ao encontro da teoria citada no referencial teórico deste trabalho. As quantidades são calculadas de modo que atendam a quatro restrições estabelecidas:

- o intervalo correspondente à quantidade deve ser menor ou igual à demanda máxima, garantindo que a produção não ultrapasse a capacidade de venda;
- o intervalo correspondente à quantidade deve ser maior ou igual à demanda mínima, garantido que o mínimo necessário seja produzido;
- o intervalo correspondente à quantidade deve ser maior ou igual a zero, garantido que não sejam geradas quantidades negativas de produção; e

d) o intervalo correspondente à ociosidade deve ser maior ou igual a zero, garantido que não ocorra demanda maior que a disponibilidade, o que caracterizaria horas extras.

Figura 12 - Parâmetros do Solver



Fonte: O autor (2017).

Para fabricação, não podem ser considerados módulos não completos, ou seja, é obrigatório que as quantidades sejam números inteiros. Esse problema poderia ser resolvido adicionando a restrição de números inteiros para a quantidade a ser produzida, porém, devido a problemas com o Solver, não foi possível adicionar essa restrição, sendo preciso arredondar manualmente os valores obtidos pelo cálculo da otimização.

Foram realizados testes executando o Solver com a restrição para gerar apenas números inteiros. O primeiro teste foi realizado em um *notebook* com processador de marca Intel, modelo Atom Z3775; após 45 min de processamento, o programa parou de

responder e foi preciso finalizar a tarefa. A primeira hipótese para explicar esse fato foi a interferência da baixa capacidade de processamento do computador na resolução do problema. Por isso, um segundo teste foi realizado com um processador de marca Intel, modelo i5-2450M. No entanto, o problema persistiu; após aproximadamente 12 horas de processamento, o programa parou de responder.

A Tabela 16 é uma extração do resultado da otimização, sendo apresentado o nome de cada grupo na primeira coluna e a quantidade a ser produzida, na coluna seguinte. As demais colunas são o produto da multiplicação entre a quantidade apontada pelo Solver e o tempo médio do grupo no departamento produtivo. Na parte central da planilha, aparecem as reticências (...), indicando que não são apresentados todos os dados devido ao tamanho total da tabela. Ao final da planilha, na linha denominada “Demanda”, é realizado o somatório da coluna de cada departamento produtivo. A linha chamada “Disponibilidade” corresponde ao tempo disponível de departamento produtivo no período; a linha “Ociosidade” é a disponibilidade subtraída da demanda, correspondendo ao tempo ocioso de cada departamento no período. As duas últimas linhas têm o objetivo de facilitar as análises e transformam a ociosidade em percentual, por departamento e total.

No resultado da otimização gerado pelo Solver, as quantidades não são números inteiros e ainda precisam ser arredondadas. Nesse caso, a ociosidade total da empresa seria de 1,68%. Os valores fracionados foram arredondados manualmente, utilizando-se a Tabela 17; com isso, o total de ociosidade passou para 2,65% – um aumento de 0,97%.

Tabela 16 - Resultado da otimização sem arredondamento das quantidades

| Otimização sem arredondamento das quantidades | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|--------------------------|---------|------------|---------|-------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Grupo | Quantidade | Departamentos Produtivos | | | | | | | | | | | |
| | | Metalur. | Injeção | Marcenaria | Pintura | Corre | Costura | Costura M | Estofaria | Colag. A | Colag. B | Montagem | Embalag. |
| 1 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 46,00 | 0 | 0 | 253 | 1351 | 460 | 460 | 0 | 1121 | 242 | 690 | 518 | 138 |
| 7 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 70,89 | 0 | 0 | 71 | 0 | 381 | 1329 | 0 | 1790 | 576 | 824 | 213 | 71 |
| 10 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 15,51 | 0 | 0 | 112 | 0 | 209 | 523 | 58 | 523 | 221 | 78 | 47 | 16 |
| 16 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 29,00 | 0 | 0 | 445 | 930 | 251 | 278 | 0 | 737 | 302 | 314 | 428 | 87 |
| 18 | 3,00 | 0 | 0 | 48 | 220 | 24 | 25 | 0 | 65 | 35 | 30 | 45 | 9 |
| 19 | 40,00 | 1509 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 66,90 | 502 | 0 | 485 | 1338 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| . . . | | | | | | | | | | | | | |
| Demanda | 2600 | 590 | 1820 | 7800 | 2600 | 6500 | 1300 | 6500 | 2181 | 2600 | 2600 | 2000 | 574 |
| Disponibilidade | 2600 | 780 | 1820 | 7800 | 2600 | 6500 | 1300 | 6500 | 2600 | 2600 | 2000 | 600 | 600 |
| Ociosidade | 0 | 190 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 419 | 0 | 0 | 0 | 26 |
| Ociosidade Total | 634 | | | | | | | | | | | | |
| % Ociosidade | 0% | 24% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 16% | 0% | 0% | 0% | 4% |
| % Ociosidade Total | 1,68% | | | | | | | | | | | | |

Fonte: O autor (2017).

Tabela 17 - Resultado da otimização com arredondamento das quantidades

| Otimização com arredondamento das quantidades | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|--------------------------|---------|------------|---------|-------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Grupo | Quantidade | Departamentos Produtivos | | | | | | | | | | | |
| | | Metalur. | Injeção | Marcenaria | Pintura | Corte | Costura | Costura M | Estofaria | Colag. A | Colag. B | Montagem | Embalag. |
| 1 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 46,00 | 0 | 0 | 253 | 1351 | 460 | 460 | 0 | 1121 | 242 | 690 | 518 | 138 |
| 7 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 70,00 | 0 | 0 | 70 | 0 | 376 | 1313 | 0 | 1768 | 569 | 814 | 210 | 70 |
| 10 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 16,00 | 0 | 0 | 116 | 0 | 216 | 540 | 60 | 540 | 228 | 80 | 48 | 16 |
| 16 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 29,00 | 0 | 0 | 445 | 930 | 251 | 278 | 0 | 737 | 302 | 314 | 428 | 87 |
| 18 | 3,00 | 0 | 0 | 48 | 220 | 24 | 25 | 0 | 65 | 35 | 30 | 45 | 9 |
| 19 | 40,00 | 1509 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 67,00 | 503 | 0 | 486 | 1340 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 32 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Demanda | | 2591 | 581 | 1813 | 7690 | 2580 | 6436 | 1249 | 6459 | 2172 | 2577 | 1984 | 570 |
| Disponibilidade | | 2600 | 780 | 1820 | 7800 | 2600 | 6500 | 1300 | 6500 | 2600 | 2600 | 2000 | 600 |
| Ociosidade | | 9 | 199 | 7 | 110 | 20 | 64 | 51 | 41 | 428 | 23 | 16 | 30 |
| Ociosidade Total | | 998 | | | | | | | | | | | |
| % Ociosidade | | 0% | 26% | 0% | 1% | 1% | 1% | 4% | 1% | 16% | 1% | 1% | 5% |
| % Ociosidade Total | | 2,65% | | | | | | | | | | | |

Fonte: O autor (2017).

4.2.9 Etapa 9: realizar modelagem de cenários comparando realizado com otimizado

A etapa 9 concretiza o quinto objetivo específico deste estudo: modelar cenários com os dados coletados da produção realizada pela empresa, juntamente com dados calculados na etapa de otimização. Como já mencionado, a realização da programação da produção na empresa é feita semanalmente; dessa forma, o *mix* de produtos a ser fabricado compreende o horizonte de tempo de uma semana.

Para modelagem de cenários, foram coletados dados da produção realizada pela empresa em três períodos de tempo distintos. Esses períodos foram selecionados de acordo com a quantidade de pedidos que a empresa possuía em carteira. Isso reflete em melhores programações da produção, pois, quanto maior o número de pedidos disponíveis, maiores as possibilidades de escolha para elaboração de um *mix* de produção adequado pelo departamento de PCP. Através de uma análise em relatórios da empresa, considerando-se os períodos com maior venda, definiram-se os períodos de tempo para modelagem dos cenários conforme descrito no Quadro 2.

Quadro 2 - Períodos dos cenários

| Cenários | | |
|-----------|-------|-----------------------------|
| Cenário | Venda | Período |
| Cenário 1 | Alta | 05 a 09 de dezembro de 2016 |
| Cenário 2 | Média | 13 a 17 de março de 2017 |
| Cenário 3 | Baixa | 22 a 26 de maio de 2017 |

Fonte: O autor (2017).

Para chegar ao número de cada módulo produzido, foram extraídos do sistema ERP da empresa relatórios com a produção semanal. Entretanto, o relatório traz apenas a informação do produto final, tendo sido necessário, de forma manual, decompor os produtos em módulos, respeitando a nomenclatura utilizada nas planilhas anteriores. Parte do resultado é apresentado na Tabela 18, que é uma extração da planilha original e traz cinco módulos como exemplo. O mesmo procedimento foi adotado para os outros dois períodos estudados.

Tabela 18 - Dados da produção

| Produção de 05 a 09 de dezembro de 2016 | | |
|---|---|------------|
| Referência | Descrição | Quantidade |
| 30:013:L: | BANQUETA CRIS LAMINA 35 FC051 DF03 260/370 REG G APO INOX | 2 |
| 30:020:EL: | BANQUETA ISLA COMPOSE NO104 FC058 ADM05 COL 370 C/ APOIO | 3 |
| 30:008:B: | BANQUETA JULI BORDADA DE LUXO CF597 ADM05 COL 370 C/ A | 8 |
| 30:008:B: | BANQUETA JULI BORDADA DE LUXO FC047 DF03 260/370 REG APO | 3 |
| 30:008:B: | BANQUETA JULI BORDADA LOSANGO FC049 ADM05 COL 370 C/ | 4 |

Fonte: Dados da empresa (2017).

As quantidades individuais de cada módulo foram agrupadas de acordo com os grupos de similaridade no processo criados anteriormente, na etapa 6. Para realizar o agrupamento, utilizou-se a função SOMASE, que as quantidades produzidas na Tabela 18 e realizou um somatório das quantidades de mesmo grupo. Posteriormente, as quantidades foram multiplicadas pelo tempo médio de cada grupo em cada departamento produtivo, que já foram calculados anteriormente, como apresentado na Tabela 12. O mesmo procedimento foi realizado para os outros dois cenários.

A Tabela 19 é uma extração da planilha do cenário 1 e segue o mesmo padrão de apresentação das tabelas de otimização apresentadas anteriormente (Tabela 16 e Tabela 17). Nela é possível visualizar a quantidade total de tempo demandado pelos grupos de módulos em cada departamento produtivo, a disponibilidade que cada departamento tinha no período e a ociosidade gerada. Com o intuito de facilitar a interpretação ao final da planilha, as ociosidades são transformadas em percentual.

4.2.10 Etapa 10: interpretar os resultados

Nessa etapa, realizaram-se cálculos comparativos entre os cenários elaborados com os dados coletados na produção da empresa e o cenário otimizado criado com dados do cálculo do *mix* ideal de produção, atingindo o sexto objetivo específico do trabalho, que compreende verificar quantitativamente os impactos da adoção do *mix* ideal. Nessa etapa, também foram feitos cálculos para validar o agrupamento dos módulos, assim como projeções de faturamento, de forma que seja possível mensurar os impactos da adoção do *mix* ideal de produção.

Com o objetivo de validar os agrupamentos criados na etapa 6, criou-se a Tabela 20. Ela valida os agrupamentos, apresentando a diferença de precisão dos dados em percentual ao trabalhar com os módulos agrupados por similaridade e não individualizados. Para realização do cálculo, foi desenvolvida para cada cenário uma planilha que utiliza as quantidades e tempos individuais de cada módulo. Na planilha, as quantidades produzidas de cada módulo são multiplicadas pelo tempo em cada departamento produtivo; do somatório desses tempos, é descontada a disponibilidade, o que dá origem à ociosidade de cada departamento; as ociosidades são somadas e transformadas em percentuais.

Analisando a Tabela 20, nota-se que, no cenário 1, a ociosidade sem agrupamento apresentou percentual de 23,20%. Os mesmos dados, agrupados e multiplicados pela média de tempo, apresentam um novo percentual de 18,49%, nomeado na Tabela 20 como “Ociosidade com agrupamento”. A diferença entre os percentuais com e sem agrupamento pode ser interpretada como perda de precisão dos dados, é chamada de “Diferença por ter agrupado” e apresenta percentual de 4,71%, no cenário 1.

Embora exista uma diferença nos tempos obtidos ao ter agrupado os itens por similaridade, ela não é expressiva perante a significativa redução na quantidade de itens a serem avaliados para programação da produção proporcionada pelo agrupamento, que permitiu trabalhar com 68 grupos em lugar de 273 módulos. Os percentuais de ociosidade encontrados são altos se comparados às perdas de precisão.

Para fins de comparação, foi adicionada uma linha com a ociosidade gerada pelo *mix* ideal de produção, chamada, na Tabela 20, de “Ociosidade otimizando pelos grupos”; essa apresenta valor de 2,65%. Nas últimas duas linhas da planilha, subtraiu-se a ociosidade otimizada considerando os tempos sem agrupamento e com agrupamento, respectivamente. Como a otimização foi realizada pelos grupos de similaridade, considera-

se a última linha da planilha a redução de ociosidade que ocorreria caso fosse adotado o *mix* ideal de produção. Verificam-se, nessa situação, ganhos de 15,84% a 29,45%, considerando os cenários menos e mais ociosos.

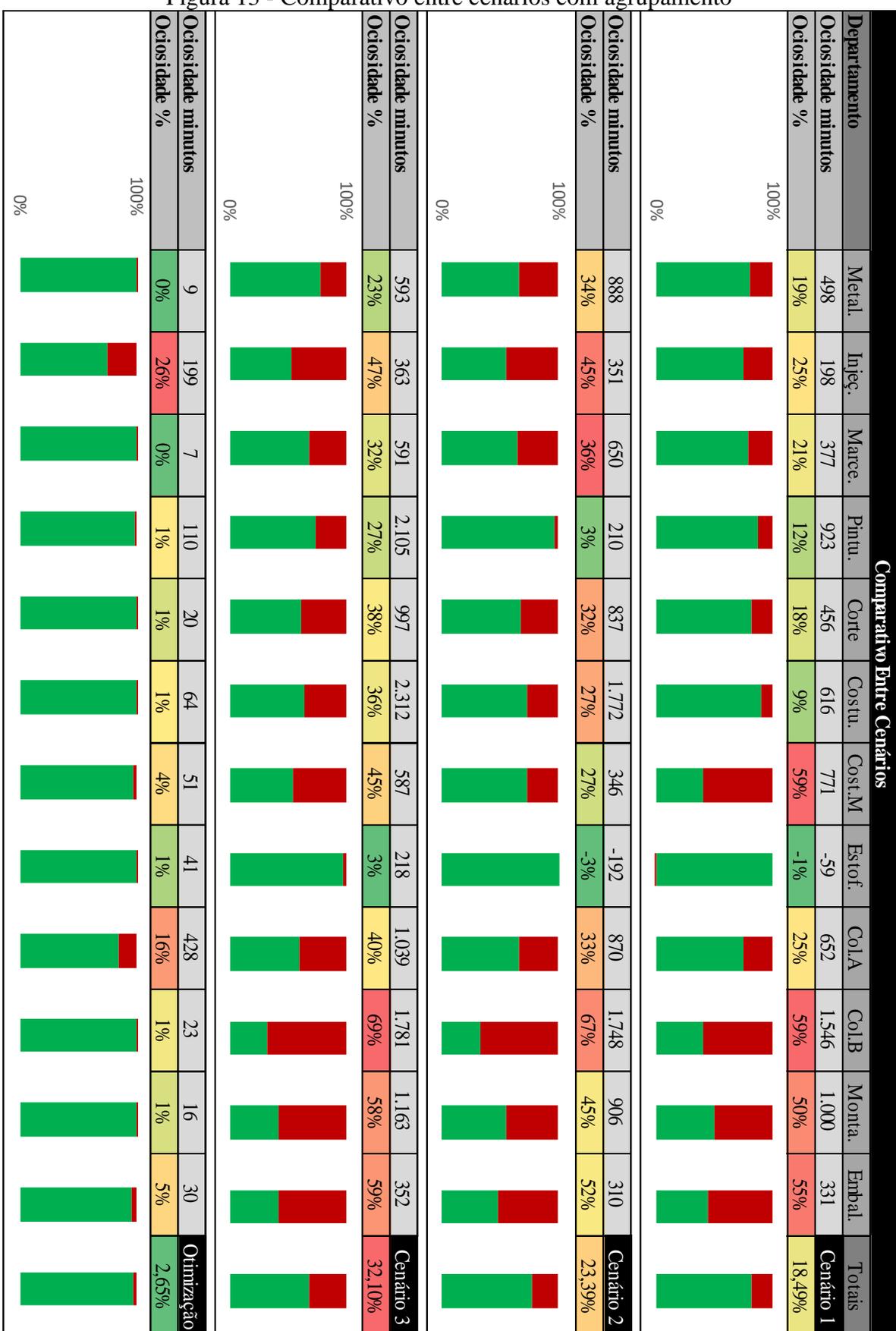
Tabela 20 - Comparativo realizado e otimizado

| Comparativo realizado e otimizado | Cenário 1 | Cenário 2 | Cenário 3 |
|---|---------------|---------------|---------------|
| Período | 05 a 09-12-16 | 13 a 17-03-17 | 22 a 26-05-17 |
| Ociosidade sem agrupamento | 23,20% | 28,61% | 32,52% |
| Ociosidade com agrupamento | 18,49% | 23,39% | 32,10% |
| Diferença por ter agrupado | -4,71% | -5,22% | -0,42% |
| Ociosidade otimizando pelos grupos | 2,65% | 2,65% | 2,65% |
| Ociosidade gerada por não ter otimizado | | | |
| Considerando sem agrupamento | -20,55% | -25,96% | -29,87% |
| Considerando com agrupamento | -15,84% | -20,74% | -29,45% |

Fonte: O autor (2017).

Com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados, foram criados quatro gráficos de barras, sendo um para cada cenário; os três primeiros gráficos demonstram os dados coletados na produção, e o quarto simula um cenário de produção com as quantidades otimizadas. Esses gráficos são apresentados na Figura 13. Cada cenário possui treze barras, sendo uma para cada departamento produtivo; a última barra, localizada à direita, representa o somatório do tempo de disponibilidade e ociosidade. Nos gráficos, a parte vermelha representa o tempo ocioso, enquanto a parte verde representa a ocupação.

Figura 13 - Comparativo entre cenários com agrupamento



Fonte: O autor (2017).

Analisando os três cenários, juntamente com as informações da empresa, é possível perceber que, quanto mais elevado o valor da carteira de pedidos, mais assertivo consegue ser o PCP, gerando um *mix* de produção que aproveita melhor os recursos da fábrica. Segundo o responsável pelo departamento de PCP da empresa, isso ocorre devido ao fato de que, quanto maior a carteira de pedidos, maiores as possibilidades de escolha para fazer o *mix* de produção, sendo possível gerar lotes de produção mais equilibrados, que preenchem melhor as disponibilidades da empresa.

Comparando os percentuais de ociosidade por cenário, fica evidente que os índices de ociosidade foram mais elevados no cenário 3, correspondente ao período de 22 a 26 de maio de 2017. Nesse período, a ociosidade total atingiu 32,10%. Esse fato ocorreu porque, nessa semana, o PCP não conseguiu gerar um *mix* adequado; a empresa não tinha opções para escolher entre módulos a serem produzidos e precisou programar basicamente todos os pedidos que possuía em carteira.

O cenário 1, em comparação aos cenários 2 e 3, foi favorecido de duas formas: primeiramente, pelo alto valor da carteira de pedidos se comparado aos demais cenários; em segundo lugar, pelo fato de o departamento de estofaria ter trabalhado no regime de horas extras, com um tempo adicional de 540 minutos, o que contribuiu para um melhor aproveitamento dos demais departamentos. Comparando o cenário 1 com o cenário otimizado, percebe-se que, apesar das horas extras, não foi possível obter um resultando próximo ao cenário otimizado, que obteve 15,84% menos de ociosidade.

Verificando a ociosidade verticalmente, por departamento produtivo, percebe-se que o setor de estofaria é o que possui os menores percentuais, inclusive com índices negativos em dois cenários. A negatividade ocorre por dois motivos: pela perda de precisão nos dados devido ao agrupamento por similaridade e por ganhos produtivos, nos quais peças são concluídas em tempo menor do que o previsto. O fato de a estofaria não possuir ociosidade permite identificá-la como o departamento gargalo e responsável por não permitir uma melhor ocupação nos demais departamentos. Melhorias realizadas nesse departamento contribuiriam para um melhor desempenho de todo o sistema produtivo.

Os maiores percentuais de ociosidade são no departamento de colagem B, o que é recorrente nos três primeiros cenários. Segundo a empresa, essa ociosidade permite que o funcionário que trabalha nesse setor exerça outras atividades, como recebimento e armazenagem de espumas. No departamento, existe apenas um funcionário, que muitas vezes é remanejado para outros departamentos devido à carência de serviço.

Observando os resultados sugeridos para fabricação pelo cálculo do *mix* ideal no cenário otimizado, percebeu-se um aumento nas quantidades de dois grupos. Nesses grupos estão os módulos com bordados eletrônicos que demandam tempo no departamento, chamado “Costura M.”. Interpretando a sugestão do algoritmo, entende-se que ela ocorreu para preencher a ociosidade no departamento. A ociosidade foi recorrente nos três cenários elaborados com os dados da produção da empresa. Essa análise indica que a empresa pode articular meios para promover a venda desses produtos, pois ajudam a equilibrar o *mix* ideal de produção, agregando valor ao faturamento da empresa.

Novos produtos podem ser lançados com o intuito de equilibrar o *mix* ideal de produção. Para isso, novos critérios de avaliação para lançamentos devem ser analisados, considerando não somente a dimensão de mercado, mas também a parte produtiva da empresa. Os resultados deste trabalho permitiram à empresa estudada perceber que oferece peças para decoração, domina toda a parte de costura e tem ociosidade nesse departamento produtivo; nada a impede de lançar uma linha de almofadas. A nova linha de produtos irá agregar faturamento, utilizando a ociosidade de um setor sem prejudicar o restante dos produtos que serão confeccionados. Com isso, a empresa terá faturamento extra.

Com a finalidade de obter a média de faturamento por minuto demandado, construiu-se a Tabela 21. Como a empresa estudada trabalha com o custeio por absorção utilizando a prática do custo minuto, os produtos vendidos possuem margem de contribuição proporcional ao tempo que demandam na produção; dessa forma, é possível obter o valor do faturamento por minuto demandado. Para a realização do cálculo da média de faturamento por minuto, primeiramente foi verificada a disponibilidade total em minutos de cada cenário; desta, foi descontada a ociosidade; o resultado da subtração é a demanda em minutos que o cenário precisou para obter o faturamento do período.

Obteve-se, junto à empresa, o valor faturado em cada cenário. O procedimento seguinte foi dividir esse valor pelos minutos demandados; o resultado é o faturamento por minuto demandado de cada cenário. Como podem ser observados na Tabela 21, os resultados ficaram muito próximos, variando, no máximo, de R\$4,49 para R\$4,75, o que confirma a proporcionalidade do faturamento pelos minutos demandados. Finalizando o cálculo, é feita a média do faturamento por minuto demandado de cada cenário; o resultado é R\$ 4,59.

Tabela 21 - Média de faturamento por minuto

| Média de faturamento por Minuto | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|
| Descrição | Cenário 1 | Cenário 2 | Cenário 3 |
| Disponibilidade minutos | 39.540 | 37.180 | 37.700 |
| Ociosidade minutos | 9.172 | 10.637 | 12.260 |
| Ociosidade % | 23,20% | 28,61% | 32,52% |
| Demanda minutos | 30.368 | 26.543 | 25.440 |
| Faturamento semanal R\$ | 137.944,76 | 119.137,26 | 120.766,92 |
| Faturamento por minuto demandado R\$ | 4,54 | 4,49 | 4,75 |
| Média de faturamento por minuto demandado R\$ | 4,59 | | |

Fonte: O autor (2017).

As disponibilidades de tempo foram diferentes nos cenários elaborados com os dados da empresa. Esse fato ocorreu devido à realização de horas extras no cenário 1; no cenário 2, foi registrada a falta ao trabalho de um funcionário; no cenário 3, a disponibilidade é considerada padrão da empresa. Para analisar a projeção de faturamento, as disponibilidades de tempos foram padronizadas, de modo que seja possível comparar os cenários. Para padronização, utilizou-se o valor da disponibilidade do cenário 3, a mesma utilizada para a realização dos cálculos de otimização.

Com o objetivo de atender ao último objetivo específico deste trabalho, que consiste em verificar quantitativamente os impactos da adoção do *mix* ideal, foi elaborada a Tabela 22. Nessa tabela, são apresentados os quatro cenários com disponibilidade padronizada; foram descontadas a ociosidade identificada nos cenários reais e a calculada no cenário otimizado. A disponibilidade sem ociosidade foi multiplicada pela média de faturamento por minuto demandado, apresentado na Tabela 21; o produto desse cálculo é o faturamento projetado para disponibilidade de cada cenário. Evidentemente, quanto maior a ociosidade, menor a projeção de faturamento.

Com o objetivo de mensurar o impacto da adoção do *mix* ideal de produção, os valores dos faturamentos projetados padronizados nos cenários reais foram subtraídos do valor do cenário otimizado; o resultado corresponde à adição de faturamento que ocorreria no período caso fosse produzido o *mix* ideal de produção. Esse valor pode ser identificado na Tabela 22 e foi chamado “Faturamento adicional”. Para facilitar a análise dos resultados, esses valores foram transformados em percentuais e representados graficamente na parte inferior da Tabela 22.

Tabela 22 - Faturamento projetado

| Faturamento Projetado | | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| Descrição | Cenário 1 | Cenário 2 | Cenário 3 | Cenário Otimizado |
| Disponibilidade padronizada minutos | 37.700 | 37.700 | 37.700 | 37.700 |
| Ociosidade dos cenários % | 23,20% | 28,61% | 32,52% | 2,65% |
| Disponibilidade sem ociosidade minutos | 28.955 | 26.914 | 25.440 | 36.702 |
| Média de faturamento por minuto demandado R\$ | 4,59 | 4,59 | 4,59 | 4,59 |
| Faturamento projetado para disponibilidade R\$ | 132.980,11 | 123.608,34 | 116.837,68 | 168.560,39 |
| Faturamento adicional R\$ | 35.580,29 | 44.952,05 | 51.722,72 | 0,00 |
| Faturamento adicional % | 26,76% | 36,37% | 44,27% | 0,00% |
| Representação Gráfica | | | | |
| Legenda | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Faturamento adicional R\$ ■ Faturamento projetado para disponibilidade R\$ | | | | |

Fonte: O autor (2017).

Analisando os resultados, é possível verificar que a diferença de faturamento pode chegar a até R\$ 51.722,72 por semana, segundo os dados coletados no período. Com os resultados da Tabela 22, considera-se atendido o propósito geral desta dissertação, que objetivou desenvolver um modelo de cálculo para mensurar os impactos da adoção do *mix* ideal de produção na estratégia de CM de uma empresa moveleira.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das dificuldades de implementar a estratégia de CM é obter um *mix* de produção que otimize ao máximo possível os recursos disponíveis na empresa, visando baixo custo. Derivados da metodologia que busca atingir os objetivos propostos neste trabalho, os quatro principais resultados são:

- a) um método para agrupar as partes que compõem os produtos de acordo com a similaridade no processo produtivo;
- b) um algoritmo capaz de otimizar o *mix* ideal de produção por grupos de similaridade no processo;
- c) um modelo para mensurar os impactos da adoção do *mix* ideal de produção na estratégia de CM através da simulação de cenários; e
- d) uma sistemática de melhoria contínua em que a empresa pode manter em constante evolução seus produtos, processos, tempos e capacidades produtivas.

Através da análise dos dados coletados e calculados, foi possível constatar quantitativamente quanto a empresa perde por não adotar o *mix* ideal de produção. A interpretação desses resultados apresenta dados essenciais ao processo decisório, envolvendo três principais questões:

- a) produtos: os resultados permitem identificar produtos que utilizam a disponibilidade de departamentos com ociosidade, cuja produção melhora o *mix* de produção; esses itens podem ter campanhas de *marketing* ou de descontos intensificadas para que suas vendas sejam ampliadas, agregando faturamento sem prejudicar a produção do restante dos produtos. Também é possível realizar um estudo de novos lançamentos, identificando quais produtos precisam ser lançados para ajudar a equilibrar o *mix*, assim como quais produtos devem deixar de integrar o portfólio da empresa para que não atrapalhem seu desempenho;
- b) tempos: os resultados também envolvem decisões estruturais da empresa, pois é possível identificar os módulos cujos tempos de produção atrapalham o desempenho do *mix*; dessa forma, é possível criar uma rotina de melhoria contínua, buscando a redução dos tempos de produção através do

aprimoramento das atividades exercidas e da utilização de novas tecnologias;
e

- c) capacidade instalada: quanto às capacidades de produção instaladas na fábrica, é possível observar qual departamento produtivo é gargalo e qual está muito ocioso; essas constatações influenciam em decisões de ampliação ou redução de departamentos produtivos, contratações, aquisições de máquinas e até mesmo na opção de terceirizar determinados módulos ou atividades de fabricação.

Os resultados desta pesquisa permitem melhor compreender os aspectos associados ao *mix* ideal de produção em ambientes de CM. A metodologia proposta permite à empresa monitorar seus resultados e, ao mesmo tempo, gerar um ciclo de melhoria contínua, visando obter o melhor *mix* de produção. Com um *mix* de produção otimizado, a empresa pode maximizar sua rentabilidade ou ajustar seus preços para competir em nichos de mercado antes não atingidos.

O entendimento mais acurado deste tema, por sua vez, permite identificar oportunidades para o empreendimento de futuras pesquisas, como, por exemplo, verificar quanto o nível de customização interfere no desempenho do *mix*. Outros estudos podem também utilizar o agrupamento por similaridade para fins diferentes do estudo do *mix* e da CM, assim como podem aperfeiçoar essa ferramenta adicionando novos critérios para o agrupamento, além do tempo de produção, como a adoção de dimensões de qualidade e valor. A metodologia desta dissertação possui robustez suficiente para que seja aplicada em empresas não moveleiras que realizem a CM; ao mesmo tempo, o método possui flexibilidade para possíveis adaptações a melhorias.

REFERÊNCIAS

- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional para cursos de engenharia: para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- ARNOLD, J. R. T.; CHAPMAN, S. N.; CLIVE, L.M.; **Introduction to Materials Management**. New Jersey: Prentice Hall, 2007.
- BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. **Pesquisa Operacional: para cursos de administração, contabilidade e economia**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2012.
- BROWN, S.; BESSANT, J. The manufacturing strategy-capabilities links in mass customization and agile manufacturing – an exploratory study. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 23, n. 7, p.707-730, 2003.
- BRYMAN, A. **Quantity and quality in social research**. London: Routledge, 1988.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- CHEN, Z.; WANG, L. A generic activity-dictionary-based method for product costing in mass customization. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 18, n. 6, p. 678-700, 2007.
- CHRYSSOLOURIS, G.; PAPAKOSTAS, N.; MAVRIKIOS, D. A perspective on manufacturing strategy: produce more with less. **Carp Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 1, n. 1, p. 45-52, 2008.
- DAABOUL, J.; DA CUNHA, C. P. Differentiation and customer decoupling points: key value enablers for mass customization. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, p. 43-50, 2014.
- DAVIS, S.M. **Future perfect**. Reading: Addison-Wesley Publishing, 1987.
- DAVIS, S. M. From the future perfect: Mass customizing. **Planning Review**, p. 16-21, 1989.
- DOUKAS, M.; PSAROMMATIS, F.; MOURTZIS, D. Planning of manufacturing networks using an intelligent probabilistic approach for mass customized products. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 74, n. 9-12, p. 1747-1758, 2014.
- DU, X.; JIAO, J.; TSENG, M. M. Graph grammar based product family modeling. **Concurrent Engineering: Research and Application**, v. 10, n. 2, p. 113-128, 2002.

DURAY, R.; WARD, P. T.; MILLIGAN, W.; BERRY, W. L. Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. **Journal of Operations Management** v. 18, p. 605–625, 2000.

DURAY, Rebecca. Mass customization origins: mass or custom manufacturing? **International Journal of Operations e Production Management**, v. 22, n. 3, p. 314-328, 2002.

ELMARAGHY, H. et al. Product variety management. **Cirp Annals - Manufacturing Technology**, v. 62, n. 2, p. 629-652, 2013.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2003.

FEITZINGER, E.; LEE, H. L. Mass customization at Hewlett-Packard: the power of postponement. **Harvard Business Review**, v. 75, p. 116-123, 1997.

FOGLIATTO, F. S.; SILVEIRA, G. J. C.; BORENSTEIN, D. The mass customization decade: an updated review of the literature. **International Journal of Production Economics**, v. 138, n. 1, p. 14-25, 2012.

FORZA, C.; SALVADOR, F.; TRENTIN, A. Form postponement effects on operational performance: a typological theory. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 28, n. 11, p. 1067-1094, 2008.

GILMORE, J. H.; PINE, J. B. The Four Faces of Mass Customization. **Harvard Business Review**, v.75, p.87-106, 1997.

GOLDBARG, M. C. **Otimização Combinatória e Programação Linear: modelos e algoritmos**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

HADIDI, L. A.; MOAWAD, O. A. The product-mix problem for multiple production lines in sequenced stages: a case study in the steel industry. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2016.

Harrel, C. R.; Ghosh, B. K.; Bowden, R. **Simulation Using Promodel**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2004.

HELMS, M.; AHAMADI, M.; JIH, W. J. K.; ETTKIN, L. P. Technologies in support of mass customization strategy: exploring the linkages between e-commerce and knowledge management. **Computers in Industry**, v. 59, n. 4, p. 351-363, 2008.

HELO, P. T.; XU, Q. L.; KYLLÖNEN, S. J., JIAO, R. J. Integrated Vehicle Configuration System: Connecting the domains of mass customization. **Computers in Industry**, v. 61, n. 1, p. 44-52, 2010.

HVAM, L.; MORTENSEN, N. H.; RIIS, J. **Product Customization**. Berlin: Springer Science & Business Media, 2008.

IACOCCA INSTITUTE. **21st Century Enterprise Strategy**. Bethlehem: Lehigh University Press, 1991.

- JIAO, J.; TSENG, M. M. A methodology of developing product family architecture for mass customization. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 10, n. 1, p. 3-20, 1999.
- JIAO, J.; TSENG, M. M. Understanding product family for mass customization by developing commonality indices. **Journal of Engineering Design**, v. 11, n. 3, p. 225-243, 2000.
- JIAO, J.; SIMPSON, T. W.; SIDDIQUE, Z. Product family design and platform-based product development: a state-of-the-art review. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 18, n. 1, p. 5-29, 3, 2007.
- JIAO, J.; ZHANG, L.; POKHAREL, S. Process platform planning for variety coordination from design to production in mass customization manufacturing. **Institute of Electrical and Electronics Engineers**, v. 54, n. 1, p. 112-129, 2007.
- JIANG, Z.; LI, L.; LI, Z. Order-oriented cooperative sequencing optimization in multi-mix-model assembly lines. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 24, p. 7198-7209, 2012.
- KOTHA, S. Mass customization: Implementing the emerging paradigm for competitive advantage. **Strategic Management Journal**, v. 16, p. 21-42, 1995.
- KOTHA, S. From mass production to mass customization: the case of the national industrial Bicycle Company of Japan. **European Management Journal**, v. 14, n. 5, p. 442-450, 1996.
- KOTLER, P. From mass marketing to mass customization. **Planning Review**, v. 17, n. 5, p. 10-13, 1989.
- LAMPEL, J.; MINTZBERG, H. Customizing customization. **Sloan Management Review**, 1996.
- LEA, B. Management accounting in ERP integrated MRP and TOC environments. **Industrial Management & Data Systems**, v. 107, n. 8, p. 1188-1211, 2007.
- LIU, G.; SHAH, R.; SCHROEDER, R. G. Managing demand and supply uncertainties to achieve mass customization ability. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 21, n. 8, p. 990-1012, 2010.
- LUSTOSA, L. J.; DE MESQUITA, M. A.; OLIVEIRA, R. J. **Planejamento e controle da produção**. Elsevier Brasil, 2008.
- MA, S.; WANG, W.; LIU, L. Commonality and postponement in multistage assembly systems. **European Journal of Operational Research**, v. 142, n. 3, p. 523-538 2002.
- MALHOTRA, N., K. **Pesquisa de marketing - uma orientação aplicada**. 6 ed. Bookman, 2011.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2011.

MCKENNA, R. **Relationship marketing: successful strategies for the age of the customer**. Reading: Addison-Wesley Publishing, 1991.

MEYER, M.; LEHNERD, A. P. **The Power of Product Platform: building value and cost leadership**. New York: Free Press, 1997.

MICROSOFT. **Definir e resolver um problema usando o Solver** Disponível em: <<https://support.office.com/pt-br/article/Definir-e-resolver-um-problema-usando-o-Solver-9ed03c9f-7caf-4d99-bb6d-078f96d1652c>> Acesso em: 20 jan. 2017.

MINTZBERG, H. Generic strategies: toward a comprehensive framework. In: LAMB, R. B.; SHRIVASTAVA, P. **Advances in strategic management**. Greenwich: Jay Press, 1988.

MONTINI, D. A. **Universidade Excel**. São Paulo: Degerati, 2004.

MORABITO N. R.; PUREZA, V. Modelagem e Simulação. In: Cauchick Miguel, P. A. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. p. 170-196 Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MOREIRA, D. A. **Pesquisa Operacional: curso introdutório**. 2 ed. Cengage Learning edições Ltda., 2011.

MOURTZIS, D. Challenges and future perspectives for the life cycle of manufacturing networks in the mass customization era. **Logistics Research**, v. 9, n. 1, p. 1-20, 5, 2016.

MOVERGS (associação das indústrias de móveis do Rio Grande do Sul). **dados do setor moveleiro**. Disponível em: <<http://www.movergs.com.br/dados-setor-moveleiro>> Acesso em: 20 fev. 2017.

PAN, B.; HOLLAND, R. A mass customised supply chain for the fashion system at the design-production interface. **Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal**, v. 10, n. 3, p. 345-359, 2006.

PEPPERS, D.; ROGERS, M. **The one to one future: building relationships one customer at a time**. New York: Doubleday, 1993.

PIDD, M. **Modelagem Empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre: Bookman, 1998.

PINE, B. J. **Mass Customization: the new frontier in business competition**. Boston: Harvard Business School Press, 1993.

PRADO, D. **Programação Linear**. Belo Horizonte: Editora DG, 1999.

- ROMAUCH, M.; KLEMMT, A. Product mix optimization for a semiconductor fab: modeling approaches and decomposition techniques. **Computers & Operations Research**, v. 53, p. 338-352, 2015.
- ROSENTAL, C.; FRÉMONTIER-MURPHY, C. **Introdução aos métodos quantitativos em ciências humanas e sociais**. Porto Alegre: Instituto Piaget, 2001.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência Para Melhoria do Processo**, 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SALVADOR, F.; DE HOLAN, P. M.; PILLER, F. Cracking the code of mass customization. **MIT Sloan Management Review**, v. 5, n.3 p. 71-78, 2009.
- SALVADOR, F.; RUNGTUSANATHAM, M.; FORZA, C. Supply-chain configurations for mass customization. **Production Planning e Control**, v. 15, n. 4, p. 381-397, 2004.
- SHAMSUZZOHA, A. H. M.; HELO, P. T. Managing product variety through component commonality: concept and application. **International Journal of Management and Enterprise Development**, v. 7, n. 2, p. 183-199, 2009.
- SILVA, A. T. B.; SPERS, R. G.; WRIGHT, J. T. C. A elaboração de cenários na gestão estratégica das organizações: um estudo bibliográfico. **Revista de Ciências da Administração**, v. 14, n. 32, p.21-54, 2012.
- SILVA, E. M.; SILVA, E. M.; GONÇALVES, V.; MUROLO, A. C. **Pesquisa Operacional: para os cursos de economia, administração e ciências contábeis**, 3 ed. São Paulo: Atlas, 1998.
- SILVEIRA, G. J. C.; BORENSTEIN, D.; FOGLIATTO, F. S. Mass customization: literature review and research directions. **International Journal of Production Economics**, v. 72, n. 1, p. 1-13, 2001.
- SIMPSON, T. W. Product platform design and customization: Status and promise. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, V. 18, P. 3-20, 2004.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- SPIRA, J. S. Mass customization through training at Lutron Electronics. **Planning Review**, v. 21, n. 4, p. 23-24, 1993.
- TIEN, J. M. Data mining requirements for customized goods and services. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 05, n. 04, p. 683-698, 2006.
- TRENTIN, A.; PERIN, E.; FORZA, C. Product configurator impact on product quality. **International Journal of Production Economics**, v. 135, n. 2, p. 850-859, 2012.

- TSENG, M. M.; JIAO, J.; MERCHANT, M. E. Design for mass customization. **CIRP Annals Manufacturing Technology**, v. 45, n. 1, p. 153-156, 1996.
- TOFFLER, A. **Future shock**, New York: Random House, 1970.
- TU, Q.; VONDEREMBSE, M. A.; RAGU-NATHAN, T. S. The impact of time-based manufacturing practices on mass customization and value to customer. **Journal of Operations Management**, v. 19, n. 2, p. 201-217, 2001.
- TU, Y. L.; XIE, S. Q.; FUNG, R. Y. K. Product development cost estimation in mass customization. **Institute of Electrical and Electronics Engineers**, v. 54, n. 1, p. 29-40, 2007.
- TUROWSKI, K. Agent-based e-commerce in case of mass customization. **International Journal of Production Economics**, v. 75, n. 1-2, p. 69-81, 2002.
- ULRICH, K. The role of product architecture in the manufacturing firm. **Research policy**, v. 24, n. 3, p. 419-440, 1995.
- VAN HOEK, R. I. The rediscovery of postponement a literature review and directions for research. **Journal of Operations Management**, v. 19, n. 2, p. 161-184, 2001.
- VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2015.
- WRIGHT, J. T. C.; SPERS, R. G. O país no futuro: aspectos metodológicos e cenários. **Estudos Avançados**, v. 20, n. 56, p. 13-28, 2006.
- YANG, B.; BURNS, N. D.; BACKHOUSE, C. J. Postponement: a review and an integrated framework. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 24, n. 5, p. 468-487, 2004.
- YAO, A. C; CARLSON, J. G. H. Agility and mixed-model furniture production. **International Journal of Production Economics**, v. 81-82, p. 95-102, 2003.
- YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- YOO, J.; PARK, M. The effects of e-mass customization on consumer perceived value, satisfaction, and loyalty toward luxury brands. **Journal of Business Research**, v. 69, n. 12, p. 5775-5784, 2016.
- ZHANG, M.; TSENG, M. M. A product and process modeling based approach to study cost implications of product variety in mass customization. **Institute of Electrical and Electronics Engineers**, v. 54, n. 1, p. 130-145, 2007.
- ZHANG, Q.; TSENG, M. M. Modelling and integration of customer flexibility in the order commitment process for high mix low volume production. **International Journal of Production Research**, v. 47, n. 22, p. 6397-6416, 2009.

ZHANG, X.; HUANG, G. Q. Game-theoretic approach to simultaneous configuration of platform products and supply chains with one manufacturing firm and multiple cooperative suppliers. **International Journal of Production Economics**, v. 124, n. 1, p. 121-136, 2010.

ZIPKIN, P. The limits of mass customization. **Sloan Management Review**, v. 42, n. 3, p. 81-87, 2001.

ZELTZER, L.; AGHEZZAF, E.; LIMÈRE, V. Workload balancing and manufacturing complexity levelling in mixed-model assembly lines. **International Journal of Production Research**, p. 1-16, 2016.