CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI
FLÁVIO DOTTI TONI

# GESTÃO HOLÍSTICA DE INVENTÁRIO PARA INDÚSTRIAS DE ALTO MIX E BAIXO VOLUME

São Bernardo do Campo
2022

FLÁVIO DOTTI TONI

# GESTÃO HOLÍSTICA DE INVENTÁRIO PARA INDÚSTRIAS DE ALTO MIX E BAIXO VOLUME

Dissertação apresentada ao Centro Universitário da FEI para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.
Área de Concentração: Engenharia de Produção
Orientador: Prof. Dr. Mauro Sampaio

SÃO BERNARDO DO CAMPO
2022

Dotti Toni, Flávio.
Gestão Holística de Inventário para Indústrias de Alto Mix e Baixo Volume / Flávio Dotti Toni. São Bernardo do Campo, 2022.
110 p.

Dissertação - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Dr. Mauro Sampaio.

1. Alto mix e baixo volume. 2. Gestão de inventário. 3. Gestão de demanda. 4. Políticas de estoque. 5. Abordagem holística. I. Sampaio, Mauro, orient. II. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

centro universitário FEI

# APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO
# ATA DA BANCA EXAMINADORA

**Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Mecânica**

**Mestrado**

**PGM-10**

**Aluno:** Flávio Dotti Toni **Matrícula:** 219112-0

**Título do Trabalho:** GESTÃO HOLÍSTICA DE INVENTÁRIO PARA INDÚSTRIAS DE ALTO MIX E BAIXO VOLUME.

**Área de Concentração:** Produção

**Orientador:** Prof. Dr. Mauro Sampaio

**Data da realização da defesa:** 17/02/2022

ORIGINAL ASSINADA

**Avaliação da Banca Examinadora:**

A dissertação foi considerada pela banca satisfatório em sua defesa final.

São Bernardo do Campo, / / .

| MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA | |
|---|---|
| Prof. Dr. Mauro Sampaio | Ass.: _____ |
| Prof. Dr. Marcel Heimar Ribeiro Utiyama | Ass.: _____ |
| Prof.ª Drª Patrícia Belfiore Favero | Ass.: _____ |

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO ☒ REPROVADO ☐

**VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO**

**APROVO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE FORAM INCLUÍDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA**

_____

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

_____

Prof. Dr. Rodrigo Magnabosco

# AGRADECIMENTOS

A minha esposa, Maitê Machado Bayer, com que amo partilhar a vida. Obrigado pelo carinho, apoio e incentivo incondicionais em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis, dessa jornada – sem você essa conquista não teria sido possível.

Aos meus pais Fabio Toni (in memorian) e Selma Regina Cuencas Dotti Toni por terem me ensinado o valor da educação e por sempre terem me apoiado na busca por meus objetivos – obrigado por tudo!

Aos meus irmãos, familiares e amigos que direta ou indiretamente me ajudaram ao longo dessa trajetória.

Ao meu orientador Professor Dr. Mauro Sampaio pela oportunidade, ensinamentos e paciência – obrigado pelo convívio e troca de experiências.

Por fim, agradeço ao Centro Universitário da FEI, por me proporcionar oportunidades excepcionais de crescimento profissional e pessoal.

“A simplicidade é o último grau de sofisticação.”

Leonardo da Vinci

# RESUMO

O aumento da demanda por produtos customizados faz com que alguns cenários produtivos sejam caracterizados pelo ambiento de alto *mix* e baixo volume (*high mix low volume* - HMLV). Este ambiente costuma ser de alta complexidade, com elevada incerteza de demanda e altos padrões de nível de serviço exigido pelos clientes. A gestão de inventário, se eficiente, pode se tornar uma importante vantagem competitiva para as empresas inseridas neste contexto: seja como ferramenta para aumentar a lucratividade através do melhor gerenciamento de seus custos de operação; seja como fator estratégico para ganhar novos mercados ou contribuir na retenção de clientes. Para que essa eficiência seja alcançada, é necessário tratar a gestão de inventário de forma holística – levando em consideração a estratégia de fabricação dos produtos e suas respectivas características de volume e perfil de demanda para a correta definição das políticas de estoque. Entretanto, a revisão de literatura mostra que os problemas de gestão de demanda e gestão de inventário são abordados, majoritariamente, de forma separada. A fim de endereçar essa lacuna de pesquisa, essa dissertação tem como objetivo propor um *framework* holístico de gestão inventário, integrando os processos de análise do comportamento de demanda com as políticas de estoque. Esse método é aplicado através de um estudo de caso em uma empresa dentro do ambiente HMLV, com produtos caracterizados pela estratégia de produção híbrida de fabricação sob encomenda e/ou de montagem sob encomenda – além da venda de algumas de suas peças de reposição atrelarem-se a fabricação para estoque. Os resultados indicam melhorias quantitativas – com ganho de eficiência do *trade-off* entre os níveis de estoque de segurança e de serviço – e qualitativas – por meio de um processo claro e horizontalizado – em comparação ao método de abordagem tradicional presente na Empresa A.



Palavras-chave: Alto *mix* e baixo volume; Gestão de inventário; Gestão de demanda; Políticas de estoque; Abordagem holística.

ABSTRACT

As a result of the demand increase for customized products, the High Mix Low Volume (HMLV) production environment expands its application. This environment is usually very complex, with inflated demand uncertainty and the high service level required by the customers. The inventory management strategy, if efficiently applied, can become an essential competitive advantage for companies operating in HMLV – either as a tool to increase profitability through better-operating costs control; or as a strategic factor to win new markets / leverage greater customer retention. To achieve this level of efficiency, it is necessary to approach inventory management holistically – by considering the manufacturing strategy and demand behavior characteristics as part of the inventory policies decision. However, the literature review shows that the problems of demand and inventory management are mainly addressed separately. To bridge this gap, the present dissertation aims to propose a holistic inventory management framework, integrating demand analysis processes with its inventory policies. This method is applied in a case study in an HMLV company, with products characterized by a hybrid assembly to order (ATO) and/or make to order (MTO) production strategy – as well as spare parts following make to stock (MTS) production strategies. The results indicate both qualitative and quantitative improvements compared to the traditional-approached method currently present in Company A.

Keywords: High Mix Low Volume; HMLV; Inventory Management; Demand Management; Inventory policies; Holistic approach.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Os "Quatro Vs" e suas implicações ..... 18
Figura 2 – Tipos de Manufatura e suas características ..... 20
Figura 3 – Diagrama conceitual de fatores de impacto no posicionamento do CODP ..... 23
Figura 4 – Ponto de penetração do pedido para cada estratégia de produção ..... 23
Figura 5 – Tipos de *postponement*, estratégias de produção e posicionamento do CODP ..... 26
Figura 6 – Gráficos da distribuição de Poisson ..... 30
Figura 7 – Gráfico da distribuição Gama ..... 31
Figura 8 – Gráficos da distribuição binomial negativa ..... 32
Figura 9 – Definição da distribuição com base nos parâmetros de demanda $CV^2$ e $p$ ..... 33
Figura 10 – Tete K-S clássico ..... 34
Figura 11 – Teste K-S modificado e níveis de $\boldsymbol{\alpha}$ ponderados ..... 35
Figura 12 – Esquema de classificação de demanda por Williams ..... 36
Figura 13 – Esquema de classificação de demanda por Eaves ..... 36
Figura 14 – Categorização com base na demanda para a previsão de demanda ..... 37
Figura 15 – Padrões de demanda (suave, intermitente, errática e irregular) ..... 38
Figura 16 – Categorização de padrões de demanda não-Normal ..... 39
Figura 17 – Classificação ABC ..... 41
Figura 18 – *Framework* de análise para a aplicação da Classificação ABC ..... 42
Figura 19 – Exemplo de matriz de classificação ABC/XYZ ..... 44
Figura 20 - Critérios para o nível de serviço ..... 44
Figura 21 – Perfil de inventário ..... 45
Figura 22 – Estoque de segurança como ferramenta para absorver a incerteza da demanda e/ou lead time ..... 46
Figura 23 – Quadro conceitual para Gestão de Estoque ..... 48
Figura 24 – Visão geral da técnica aplicada pelo Supply Chain Guru ® ..... 49
Figura 25 – Fluxo de classificação de demanda ..... 49
Figura 26 – Classificação de demanda x distribuição do *lead time* ..... 50
Figura 27 – Políticas de inventário com base na classificação de demanda ..... 50
Figura 28 – Estágios da condução do estudo de caso ..... 51
Figura 29 – Quadro conceitual do relacionamento entre os conceitos apresentados ..... 52
Figura 30 – Fluxograma geral do processo de revisão da literatura ..... 53
Figura 31 – Detalhes da estrutura do Produto X ..... 56

Figura 32 – Ponto de penetração do pedido do Produto X ..... 57
Figura 33 – Classificação de consumo para reposição por BOM do Produto X ..... 57
Figura 34 – Histórico de vendas do Produto X e fabricação de seus componentes ..... 61
Figura 35 – Histórico anualizado, *mix* e volume do Produto X ..... 62
Figura 36 – Análise detalhada do *mix* do Produto X, período adaptado ..... 63
Figura 37 – Análise detalhada do *mix* do Produto X, período completo ..... 64
Figura 38 – Componentes produzidos advindos do BOM do Produto X ..... 65
Figura 39 – Histórico de vendas e fabricação de *spare parts* do Produto X ..... 67
Figura 40 – Histórico anualizado, *mix* e volume de *spare parts* do Produto X ..... 68
Figura 41 – Análise detalhada do *mix* de *spare parts*, período adaptado ..... 69
Figura 42 – Análise detalhada do *mix* de *spare parts*, período completo ..... 70
Figura 43 – Análise detalhada da produção total de itens, período completo ..... 72
Figura 44 – Matriz ABC/XYZ dos componentes do Produto X ..... 73
Figura 45 – Distribuição do *mix* e volume por opções de gatilho de produção ..... 75
Figura 46 – Distribuição do *mix* na Matriz ABC/XYZ, por política de revisão de inventário. 76
Figura 47 – Distribuição do *mix* por opções de *lot-sizing procedure* ..... 77
Figura 48 – Distribuição do *mix* na Matriz ABC/XYZ, por nível de serviço realizado ..... 78
Figura 49 – Distribuição do nível de serviço médio por *lot-sizing procedure* ..... 79
Figura 50 – Conceitos incorporados no *framework* proposto ..... 80
Figura 51 – *Framework* proposto ..... 82
Figura 52 – Classificação de volume: proposto *versus* atual ..... 84
Figura 53 – Perfil de demanda: proposto *versus* atual ..... 86
Figura 54 – Características gerais de demanda em relação ao *mix* e volume ..... 87
Figura 55 – Características resumidas de demanda em relação ao *mix* e volume ..... 88
Figura 56 – Níveis de estoque de segurança recomendados e dados comparativos ..... 90
Figura 57 – Detalhamento entre cenários e níveis de estoque de segurança ..... 91
Figura 58 – Cenários modificados de estoque de segurança e dados comparativos ..... 93
Figura 59 – Detalhamento entre cenários modificados e níveis de estoque de segurança ..... 94
Figura 60 – Política de inventário atual por classificação de demanda ..... 95
Figura 61 – Quadro de caracterização de inventário dos itens relacionados ao Produto X ..... 96
Figura 62 – Processos de manufatura associados aos itens do Produto X ..... 97
Figura 63 – Finalidade de consumo do item por classificação de volume e demanda ..... 98
Figura 64 – Abordagem holística *versus* abordagem tradicional ..... 100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios de busca utilizados ..... 52
Quadro 2 – Número de estudos considerados para fundamentação teórica por tema central e tipo de pesquisa ..... 54
Quadro 3 – Categorização dos principais estudos HMLV ..... 55
Quadro 4 – Dados coletados para a condução do estudo de caso ..... 58
Quadro 5 – Teste-piloto: dados coletados ..... 59
Quadro 6 – Categorização dos principais estudos HMLV ..... 101

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| ATO | Assemble to Order / Montagem sob Encomenda |
| BOM | *Bill of material* |
| ER | Estoque em reserva |
| ES | Estoque de segurança |
| ET | Estoque total |
| FEI | Fundação Educacional Inaciana Pe. Sabóia de Medeiros |
| HMLV | High-mix Low-volume / Alto *mix* e baixo volume |
| LMHV | Low-mix High-volume / Baixo *mix* e alto volume |
| MTO | Make to Order / Fabricação sob Encomenda |
| MTS | Make to Stock / Fabricação para Estoque |
| PI | Posição de inventário |
| PN | *Part number* |
| SKU | *Stock Keeping Unit* |

**SUMÁRIO**

**1. INTRODUÇÃO ..... 14**

1.1 OBJETIVOS ..... 16

1.1.1 Objetivo Geral ..... 16

1.1.2 Objetivos Específicos ..... 16

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA ..... 17

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO ..... 17

**2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ..... 18**

2.1 OS "QUATRO Vs" DE PROCESSOS ..... 18

**2.1.1 Ambiente de alto *mix* e baixo volume e seus tipos de manufatura** ..... 20

**2.1.2 Estratégias de produção para alto *mix* e baixo volume** ..... 21

2.2 GESTÃO DE DEMANDA E DE INVENTÁRIO ..... 26

**2.2.1 Distribuição e classificação de demanda** ..... 29

**2.2.2 Técnicas de controle de estoque e políticas de inventário** ..... 40

**2.2.3 Abordagem holística para gestão de demanda e de inventário** ..... 47

**3. METODOLOGIA ..... 51**

3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA CONCEITUAL-TEÓRICA ..... 51

3.2 PLANEJAMENTO DO CASO ..... 55

**3.2.1 Empresa A, características do produto e estratégia de produção** ..... 56

**3.2.2 Planejamento de coleta de dados** ..... 58

**4. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO E MÉTODO HOLÍSTICO ..... 60**

4.1 PRODUTO X: ANÁLISE E DESEMPENHO HISTÓRICO ..... 60

**4.1.1 Produto X** ..... 60

**4.1.2 Incorporando *spare parts*** ..... 66

**4.1.3 Parâmetros de gerenciamento e desempenho histórico** ..... 72

4.2 APLICAÇÃO DE ABORDAGEM HOLÍSTICA ..... 80

**4.2.1 Apresentação do método**.....80

**4.2.2 Aplicação, resultados e discussão**.....84

**5. CONCLUSÕES.....99**

5.1 CONCLUSÕES ACERCA DO ESTUDO DE CASO .....99

5.2 CONTRIBUIÇÕES PARA A ÁREA DE CONHECIMENTO.....101

5.3 TRABALHOS FUTUROS .....102

**REFERÊNCIAS .....103**

# 1. INTRODUÇÃO

A gestão de inventário possui um papel importante para ajudar as empresas a alavancar vantagens competitivas (ZHANG et al., 2020). A crescente necessidade de mercado por produtos customizados faz com que alguns cenários produtivos sejam caracterizados pelo ambiente de alto *mix* e baixo volume (*High-mix Low-volume* – HMLV) (KOCSI et al., 2020; KATIC; AGARWAL, 2018; ROSSETTI; PIERSON, 2017; AKNIC; MEREDITH, 2015). Neste cenário, devido ao elevado grau de incerteza da demanda, os métodos de gestão de inventário tradicionais, apesar de serem os mais praticados, não são recomendados pois podem culminar em altos custos de estoque para que o nível de serviço requerido seja atingido (GODRI et al., 2019; CONSTANTINO et al., 2017). Este trabalho busca explorar este problema e propor um método holístico para a gestão de inventário em ambientes de HMLV – integrando a gestão de demanda com as políticas de estoque.

A elevação do nível de serviço está diretamente ligada ao aumento da competitividade (tendência do mercado globalizado) e do nível de exigência por parte dos clientes, fazendo com que os fabricantes, de forma geral, encontrem-se sob pressão para serem mais responsivos e flexíveis a fim de ganhar, satisfazer e fidelizar seus clientes. Tamás (2016) e Griffis et al. (2012) indicam que um dos fatores mais determinantes para esta conquista é o atendimento ao prazo de entrega. Apesar deste requisito ser um ponto em comum para praticamente todas as indústrias, as implicações para atende-lo variam com base no tipo de produto / ambiente de mercado; este fato remete ao princípio de operações conhecido como "Os Quatro Vs" de processos (SLACK et al., 2013), do qual estabelece que o modo como os processos precisam ser gerenciados para toda a cadeia de suprimentos é influenciado pelo volume, variedade, variação e visibilidade. Nesta abordagem, é importante assumir a premissa de que os processos diferem entre si:

> Os processos de alto volume podem aproveitar as economias de escala e serem sistematizados. Os processos de alta variedade necessitam de flexibilidade inerente para lidar com a ampla variedade de atividades que se espera deles. Os processos de alta variação devem ser capazes de mudar seus níveis de produção para lidar com níveis de demanda imprevisíveis e/ou altamente variáveis. Os processos de alta visibilidade adicionam valor enquanto o cliente está presente de alguma forma e, por isso, devem ser capazes de gerenciar as percepções dos clientes referentes às suas atividades. (SLACK et al., 2013, p. 29).

Empresas que operam em um ambiente de HMLV possuem dificuldades adicionais para obter um elevado nível de serviço sem comprometer seus custos operacionais, pois estratégias que beneficiam sobretudo o ganho de escala – por exemplo: fabricação para estoque (*Make to Stock* – MTS) – podem não ser aderentes aos seus modelos de negócio (HUNSCHOFSKY; MAUTHNER; MAGNET, 2016).

Segundo Tamás (2016), para produtos que possuem comportamento de *jobbing* ou lotes de baixo volume, caracterizados por variação intermitente de demanda ou volumes inferiores ao consumo de massa – consumo anual inferior à 500 unidades de acordo com Wanke (2012) – deve-se buscar mecanismos que possuam caráter antecipatório para compensar as limitações de sistematização e evitar a elevação de custos operacionais. De acordo com Atan et al. (2017), mecanismos associados às estratégias de montagem sob encomenda (*Assemble to Order* – ATO) ou de fabricação sob encomenda (*Make to Order* – MTO) são mais aderentes aos requisitos deste ambiente.

É importante destacar que a forma com a qual a incerteza da demanda é tratada (conceito de variação dentro dos "Quatro Vs") é um fator crucial para o sucesso destas estratégias de produção. De acordo com Brunaud et al. (2018), a gestão de demanda deve estar diretamente ligada à gestão de inventário, servindo como entrada para a definição de diferente políticas de estoque a fim de minimizar seus níveis sem prejudicar o cumprimento do prazo de entrega – *trade-off* característico do ambiente de HMLV (GODRI et al., 2019; CONSTANTINO et al., 2017). Entretanto, segundo o mesmo autor, por conta da falta de aplicação, os estudos que consideram esta combinação ainda são escassos – normalmente, estas duas áreas são gerenciadas por diferentes *stakeholders*, sem que haja uma convergência entre as curvas de cada modelo: o *warehouse* se responsabiliza pelas políticas de reposição de estoque e o setor de planejamento pela previsão da demanda. Em relação à gestão da demanda, grande parte dos modelos considera uma abordagem simplista em relação às variáveis de distribuição de demanda (SYNTETOS; BABAI; GARDNER JR., 2015 e SNYDER et al., 2012) ou de classificação da mesma (BOYLAN; SYNTETOS; KARAKOSTAS, 2006), diminuindo sua acuracidade – fatores que, segundo Liu et al. (2020), são importantes principalmente para produtos de montagem sob encomenda, pois o produto final pode incorporar práticas de sistemas híbridos de produção (puxado e empurrado) para cada um de seus componentes, onde aqueles que possuem maior demanda e menor incerteza são "empurrados" e os de características opostas são "puxados". Já referente às políticas de inventário, Yang et al. (2019) indicam que as empresas normalmente agrupam uma grande variedade de itens em poucas categorias (geralmente relacionadas ao seu custo), seguindo o princípio de Pareto, ou então classificam os componentes utilizando análises multicritério e atrelando diferentes níveis de serviço para cada categoria. O problema é que esta prática requer tentativa e erro (por exemplo para equilibrar o nível de serviço e o estoque de segurança), e todo o procedimento é realizado independentemente da estrutura dos pedidos dos clientes, não ficando claro como a classificação do estoque e definição dos níveis de serviço afetam o atendimento destes pedidos;

além disso, a determinação do valor de corte entre as classes e o nível de serviço atribuído dependem mais do julgamento gerencial do que de análise quantitativa (TEUNTER et al., 2010 e LAJILI et al., 2012).

Radasanu (2016) destaca que as práticas tradicionais de gerenciamento de estoque necessitam de novas abordagens para se tornarem competitivas – o que é indiretamente reforçado por Yang et al. (2019), indicando que não há estudos com aplicações que otimizem simultaneamente a classificação de inventário e nível de serviço. Liu et al. (2020) corrobora com este raciocínio enfatizando que a literatura, em sua grande maioria, considera as decisões de inventário e prazo de entrega de forma separada.

Diante deste cenário, o trabalho busca responder a seguinte pergunta de pesquisa: a aplicação de um método com abordagem holística para a gestão de inventário inserido em um ambiente produtivo de alto *mix* e baixo volume possui melhores resultados em comparação a métodos tradicionais? Para responder a esta questão, o autor propõe um *framework* holístico de gestão de inventário e avalia o comportamento do mesmo através de um estudo de caso de tipo retrospectivo / transversal, a fim de verificar a aderência desse modelo e proporcionar uma redução do nível de inventário sem comprometer o nível de serviço. A unidade de negócios da empresa escolhida para o estudo de caso incorpora produtos caracterizados por uma estratégia híbrida de fabricação sob encomenda (MTO) e/ou montagem sob encomenda (ATO) – comumente relacionada ao cenário produtivo de alto *mix* e baixo volume – além de algumas de suas peças de reposição atrelarem-se a estratégia de fabricação para estoque (MTS).

## 1.1 OBJETIVOS

A seguir, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos, que orientam e são pretendidos atingir nesse estudo.

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor um método de gestão de inventário que integre a gestão de demanda com as políticas de inventário (visão holística) para ambientes de alto *mix* e baixo volume, e compara-lo perante a um método de abordagem tradicional, mensurando seu impacto na incerteza do *trade-off* entre os níveis de serviço e de inventário através de um estudo de caso.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Para o atingimento do objetivo geral, a pesquisa tem como objetivos específicos:

1. Definir o conceito de alto *mix* e baixo volume e levantar o estado da arte sobre os mecanismos de estratégias de produção, gestão de demanda e políticas de inventário;
2. Estudar as técnicas inseridas nestes mecanismos e explorar a necessidade de uma nova abordagem (dentro do contexto descrito no objetivo geral), definindo-a;
3. Propor um método que possua essa abordagem;
4. Analisar e comparar este método face ao método de abordagem tradicional.

## 1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Essa pesquisa traz uma contribuição para a literatura por aumentar a base de referências de um conteúdo que, apesar de bem explorado no que se refere à sua parte central (gestão de inventário), necessita ser refinado e atualizado para atender às novas dinâmicas do ambiente estudado (HMLV), uma vez que sua abordagem é mais difícil de ser encontrada (BRUNAUD et. al, 2018; SYNTETOS, BABAI, GARDNER JR., 2015; RADASANU, 2016). Do ponto de vista prático, o impacto é percebido pois as aplicações deste estudo podem traduzir-se em vantagens competitivas para as empresas inseridos no contexto HMLV, pois a diminuição da incerteza indicada no objetivo geral deste estudo é capaz de gerar melhores resultados operacionais dentro das organizações (HUNSCHOFSKY; MAUTHNER; MAGNET, 2016).

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado e sequenciado em 5 capítulos. O primeiro capítulo consiste nesta introdução, seguida pela delimitação dos objetivos geral e específicos do trabalho, e justificativa e relevância. Em seguida, a revisão de literatura detalha os principais conceitos do trabalho: os Quatro Vs de Processos, ambiente de HMLV, gestão de demanda e gestão de inventário, finalizando com uma abordagem holística sobre o tema. No terceiro, a metodologia é descrita, indicando a forma de condução do trabalho e apresentando o quadro teórico do estudo – que indica a inter-relação entre os principais conceitos abordados e suas proposições – além de detalhar a empresa e o produto abordados no estudo de caso, bem como apresentar o planejamento de coleta de dados. O capítulo 4 aborda o desenvolvimento do estudo de caso e a apresentação do *framework* holístico de gestão de inventário. Por último, o capítulo 5 finaliza o trabalho ao indicar as principais conclusões e recomendações para pesquisas futuras.

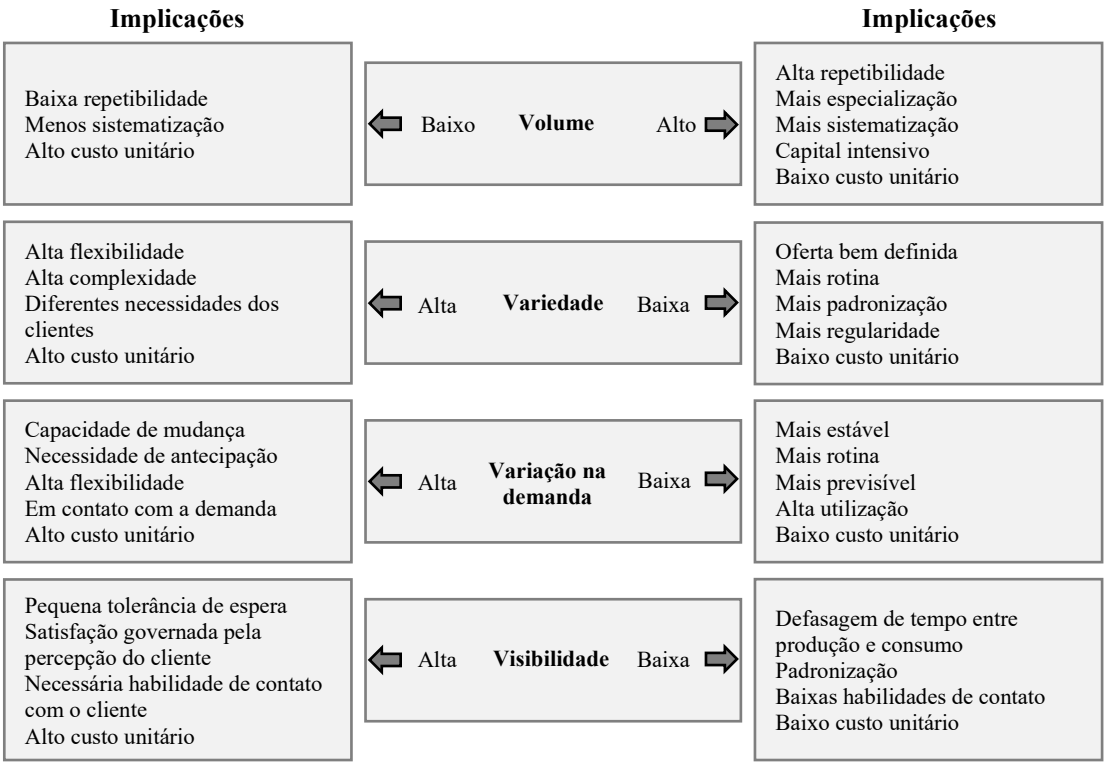
# 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica dos principais conceitos da literatura desta pesquisa. Em linha com o capítulo de introdução, as seções 2.1 e 2.2 abordam, respectivamente, os "quatro Vs" de processos e a gestão de demanda e inventário. As respectivas subseções exploram as nuances do ambiente de alto *mix* e baixo volume – abordando os conceitos dos possíveis tipos de manufatura e de suas diferentes estratégias de produção – além de aprofundar a revisão sobre os métodos de distribuição e classificação de demanda, e das técnicas de controle de estoque e políticas de inventário.

## 2.1 OS "QUATRO Vs" DE PROCESSOS

Segundo Slack et al. (2013), dentro do contexto de operações, todos os processos diferem de algum modo no que diz respeito à natureza da demanda de seus produtos ou serviços e, consequentemente, precisam ser gerenciados de forma diferente. Existem quatro dimensões que influenciam neste aspecto: o volume dos produtos e serviços produzidos; a variedade dos diferentes produtos e serviços produzidos; a variação na demanda para produtos e serviços; o grau de visibilidade que os clientes têm da produção de produtos e serviços. De acordo com o mesmo autor, cada dimensão possui uma diferente implicação nos processos – a Figura 1 esquematiza estas implicações para cada uma das quatro características.

Figura 1 – Os "Quatro Vs" e suas implicações




Fonte: adaptado de Slack et al., 2013

A dimensão de *Volume* significa a quantidade produzida do produto final em relação a uma determinada escala de tempo (que pode variar para melhor representar cada tipo de produto – por exemplo: 5 mil carros por dia; 5 aviões por mês; etc.). A mesma está principalmente associada às questões de repetibilidade, possibilidade de sistematização, investimento de capital e custo unitário do produto. Caso o volume seja alto, o custo unitário é reduzido através de ganhos de escala uma vez que a repetibilidade e a sistematização podem ser elevadas – entretanto, dependendo do produto, um alto investimento de capital pode ser requerido. Se o volume for baixo, a economia de escala não pode ser obtida por conta da baixa repetibilidade e sistematização dos processos. A *Variedade* refere-se ao número de opções que o cliente possui para uma determinada linha de produto. As possibilidades de padronização e regularidade de processos são maiores caso a mesma seja baixa – contribuindo também para a redução do custo unitário do produto. Se a variedade for alta, os processos dependerão de elevada flexibilidade e podem implicar em complexidades adicionais para atender aos diferentes requisitos dos clientes, culminando assim para elevado custo unitário. Quanto a dimensão de *Variação na demanda*, a previsibilidade da demanda do produto é o ponto chave. Se a variação for alta, a previsibilidade tende a ser baixa, fazendo com que a empresa tenha que investir em processos com elevada capacidade de mudança / flexibilidade e em mecanismos mais elaborados de previsão / análise de demanda para controlar a tendência do aumento do custo unitário do produto. Se a variação for baixa, a previsibilidade tende a ser alta, facilitando a estabilidade dos processos. Por fim, a dimensão de *Visibilidade* significa o quanto a operação é exposta ao cliente. Processos com alta visibilidade indicam que a satisfação é em sua maioria governada, pela percepção do cliente, uma vez que grande parte dos processos estão expostos ao mesmo – existe a necessidade de maior habilidade de contato junto ao cliente e normalmente a tolerância de espera é pequena. Caso a visibilidade seja baixa, há uma maior defasagem de tempo entre a produção e o consumo, fazendo com que a empresa possa olhar para os processos somente de forma interna com o foco em padronização e menor habilidade de contato com o cliente.

Desta forma, e com o auxílio da Figura 1, observa-se que as implicações variam de acordo com as nuances de cada dimensão, porém, no tocante ao custo de processamento, pode-se dizer que há um ponto de convergência entre as mesmas, uma vez que o alto volume e baixas variedade, variação e visibilidade sugerem custos baixos, ao ponto que o oposto de cada dimensão implica na elevação dos custos – é por este motivo que a dimensão de volume é indicada com sua parte "baixa" à esquerda, diferentemente das outras dimensões, que mantêm todas as implicações de "baixo custo" à direita (SLACK et al., 2013). Para lidar com esta condição de forma a não tornar os custos inviáveis para a operação, quanto mais flexível forem

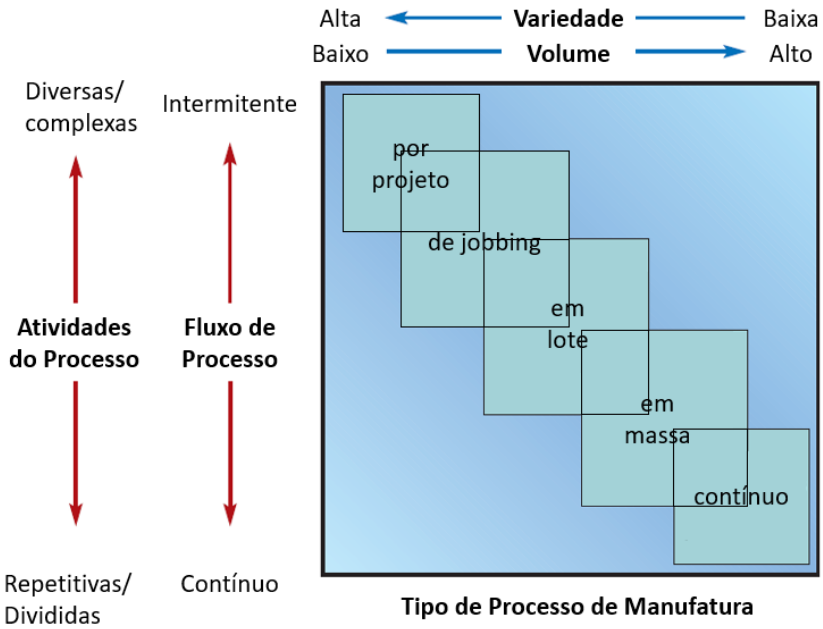
os processos, melhor (KARAULOVA; SHEVTSHENKO, 2015). Além disso, a gestão da cadeia de suprimentos deve possuir caráter antecipatório e em constante alinhamento junto a demanda – parte fundamental para atender as necessidades do cliente dentro do prazo de entrega esperado (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2013).

### 2.1.1 Ambiente de alto *mix* e baixo volume e seus tipos de manufatura

O ambiente de alto *mix* e baixo volume é caracterizado por processos que permitem que uma grande variedade de produtos seja fabricada em quantidades relativamente pequenas (KOCSI et al., 2020). Estes sistemas de produção são normalmente complexos e focados na manufatura de baixa repetibilidade ou não repetitiva (BARBOSA; AZEVEDO, 2018). Além disso, a demanda dos produtos atrelados a este ambiente tende a ser imprevisível (SETH; SETH; DHARIWAL, 2017) fazendo com que, muitas vezes, os produtos passem simultaneamente pelo chão de fábrica competindo pelos mesmos recursos / componentes (BARBOSA; AZEVEDO, 2018) – trazendo dificuldade para que as empresas possam gerenciar os processos produtivos sem que ineficiências sejam geradas (HUNSCHOFSKY; MAUTHNER; MAGNET, 2016).

A Figura 2 ilustra os tipos de processo de manufatura e suas características (em relação às suas atividades e ao seu fluxo) dentro de todo o espectro volume-variedade. Os tipos voltados ao HMLV concentram-se da metade para a extremidade esquerda do quadro, sendo definidos por processos por projeto, de *jobbing* ou em lotes pequenos. Estes processos também podem ser chamados de intermitentes (HEIZER; RENDER, 2011 e KIM; LEE, 1993).

Figura 2 – Tipos de Manufatura e suas características




Fonte: adaptado de Slack et al., 2013

De acordo com Slack et al. (2013), os processos de manufatura por projeto lidam com produtos discretos/individuais e que são geralmente altamente customizados. O produto pode passar por diversas etapas de fabricação, onde os recursos de transformação são normalmente dedicados para cada item, com longo prazo de entrega e elevado nível de incerteza em relação às atividades do processo. Já os processos de *jobbing*, apesar de também obterem um fluxo de material complexo e produtos com características discretas, podem possuir uma organização de *layout* funcional ou por processo, elevando sua flexibilidade (MOHAMED; KHAN, 2012) e possibilitando o compartilhamento de recursos – além de envolverem circunstâncias menos imprevisíveis (SLACK et al., 2013). Por fim, os processos em lote não têm o mesmo grau de variedade se comparado aos processos de *jobbing* e podem produzir mais de um item por vez. Desta forma, o tamanho do lote é um fator crucial; quanto maior for o mesmo, mais o processo se distanciará das características do *jobbing*. Além disso, se os produtos forem familiares às mesmas operações, a manufatura em lote pode entregar certa repetibilidade, contribuindo para melhor eficiência e padronização (SLACK et al., 2013) quando comparado aos processos de *jobbing* ou por projeto.

### 2.1.2 Estratégias de produção para alto *mix* e baixo volume

Concomitantemente à definição do tipo de manufatura, é necessário que a estratégia de produção do produto (ou de uma linha de produtos) seja estabelecida. Rajagopalan (2002) indica que esta escolha se baseia não somente pela característica do produto em si ou pela melhor estrutura dos custos de produção, mas também pelo nível de responsividade que é pretendido ser entregue ao cliente. Atan et al. (2017) complementa este raciocínio apontando que, para que este nível de responsividade seja conhecido / definido, é fundamental que se conheça o ponto de desacoplamento do pedido do cliente (*Customer Order Decoupling Point* - CODP) – ou ponto de penetração do pedido (Order Penetration Point - OPP) de acordo com Olhager (2003). Este conceito se refere ao ponto da cadeia de suprimentos em que o pedido do cliente penetra, sendo muitas vezes o ponto em que o fluxo de produto muda de “empurrado” para “puxado” (ATAN et al., 2017; LOOS; RODRIGUEZ, 2015). Olhager (2003) estabelece que este ponto é influenciado por três principais fatores: características de mercado; características do produto; características da produção.

Dentro das características de mercado, destacam-se: os requisitos de prazo de entrega; a volatilidade da demanda; o volume do produto; a gama e requerimentos de customização; e o tamanho e a frequência dos pedidos dos clientes (OLHAGER, 2003). Os requisitos de prazo de entrega apontam o quão atrasado no processo da cadeia de suprimentos o CODP pode ser

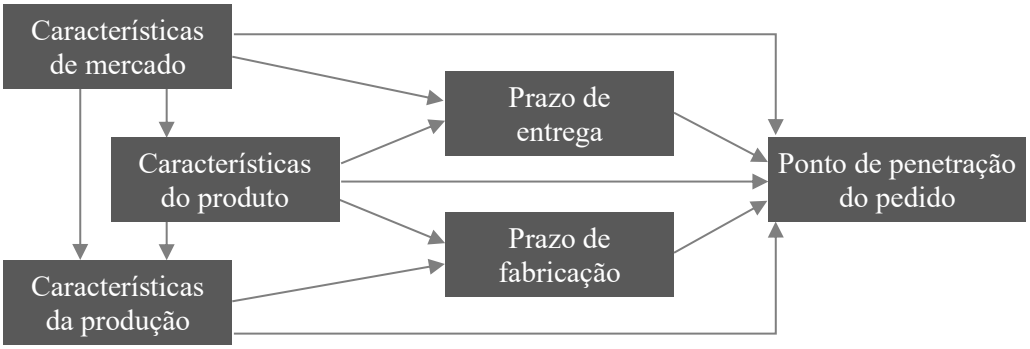
posicionado, fator este de grande relevância pois segundo Hussain et al., (2020) a velocidade no atendimento ao prazo de entrega é um dos critérios ganhadores de pedido. A volatilidade da demanda, se baixa, significa que a produção do produto pode ser altamente orientada por modelos de previsão. Caso a volatilidade seja alta, a previsão é mais difícil, diminuindo as possibilidades de estoque e fazendo com que em muitos casos os itens sejam produzidos sob encomenda – o mesmo ocorre caso a gama e requerimentos de customização dos produtos sejam elevados. O volume de venda do produto pode estar relacionado à volatilidade da demanda, pois normalmente a volatilidade é menor quanto maior for o volume – este parâmetro pode ser medido através do coeficiente de variação da demanda (razão entre o desvio padrão e a demanda média). Por fim, o tamanho e a frequência dos pedidos acabam servindo como indicadores do volume e da volatilidade da demanda.

Olhager (2003) destaca que as características do produto muitas vezes estão relacionadas ao conceito de seu *design* e ao número de níveis dentro de sua estrutura (componentes, subconjuntos, etc.). *Designs* modulares – normalmente presentes em processos de manufatura de *jobbing*, em lote, projetos com médio-alto volume, ou em massa com baixo-médio volume – permitem uma maior variedade de opções / customização ao cliente, com prazos de entrega geralmente curtos. Se esta customização for aplicada nos estágios iniciais de produção, é mais provável que a empresa trabalhe sob encomenda. Caso seja possível a aplicação da customização em um estágio de produção avançado, é provável que a empresa consiga trabalhar com estoque de alguns componentes ou subconjuntos – desta forma, o número de níveis dentro da estrutura do produto também pode ser um fator de influência na definição do conceito do *design*. *Designs* não modulares estão normalmente associados aos extremos do espectro dos tipos de manufatura, sendo caracterizados por processos de fluxo contínuo ou em massa de alto volume, ou então por projeto de baixíssimo volume.

Dentre as características de produção, o prazo de fabricação é um fator importante a ser considerado em relação ao prazo de entrega definido pelo mercado – essa relação representa um ponto importante quanto ao posicionamento do CODP (OLHAGER, 2003). Além deste fator, o número de pontos de planejamento dentro do processo de fabricação pode restringir a potencial gama de posicionamento do CODP – por exemplo: uma *job shop*, com possibilidade de planejamento de recursos individuais, possibilita uma maior variedade de posicionamento do CODP em relação a um processo contínuo (que possui basicamente uma entrada e saída). A flexibilidade dos processos de produção também possui influência sobre o CODP; caso a mesma seja elevada, uma gama mais ampla de produtos e de customização pode ser acomodada sem impactar negativamente, de forma considerável, o prazo de fabricação dos produtos.

A Figura 3 ilustra essas variáveis, indicando que além de muitos fatores poderem afetar a posição do CODP, eles estão, relativamente, inter-relacionados. As características de mercado influenciam as características de produto e produção, além de apontarem o prazo de entrega esperado pelos clientes. As características do produto, orientadas pelo mercado, influenciam diretamente as características de produção e contribuem tanto para a definição do prazo de entrega ao cliente quanto ao prazo de fabricação (por conta de suas características de *design* e estrutura). Já as características de produção são influenciadas tanto pelo mercado quanto pelo produto, e delimitam o respectivo prazo de fabricação. Por fim, todas estas características e prazos possíveis dentro do sistema de produção influenciam as possibilidades do posicionamento do CODP.

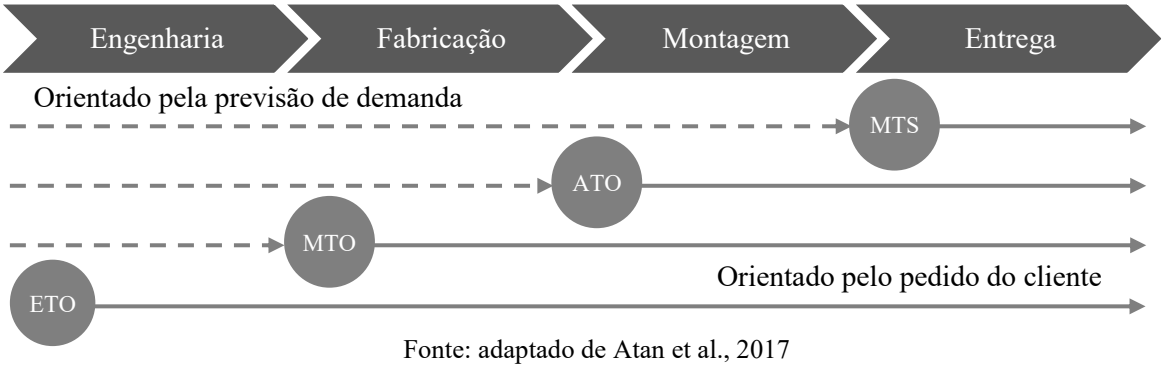
Figura 3 – Diagrama conceitual de fatores de impacto no posicionamento do CODP




Fonte: adaptado de Olhager, 2003.

A compreensão dos tipos de manufatura explorados na subseção 2.1.1 deste trabalho, somado ao entendimento do conceito do CODP, servem como base para a escolha da estratégia de produção para o produto. Essas estratégias são classificadas em quatro categorias: engenharia sob encomenda (*engineering to order* - ETO); fabricação sob encomenda (*make to order* - MTO); montagem sob encomenda (*assemble to order* - ATO); fabricação para estoque (*make to stock* - MTS). A Figura 4 representa estas estratégias indicando onde o CODP se posiciona em cada uma delas.

Figura 4 – Ponto de penetração do pedido para cada estratégia de produção




Fonte: adaptado de Atan et al., 2017

A decisão da empresa em optar por determinada opção de produção é considerada uma escolha estratégica (WEMMERLOV, 1984). Na estratégia ETO cada produto é único, sendo este normalmente não modular em que seu *design* se inicia após a definição dos requisitos específicos do cliente (ATAN et al., 2017). Na estratégia MTO, o *design* do produto já está finalizado, porém a fabricação de seus componentes se inicia somente quando o pedido do cliente é recebido (SLACK et al. 2013). Essa prática elimina os estoques do produto final e, desta forma, reduz o risco financeiro da empresa quanto a seu inventário – entretanto, esta estratégia geralmente resulta em longos prazos de entrega e depende de elevada flexibilidade da cadeia de suprimentos e da capacidade produtiva (MAHEUT et al., 2015; GUPTA; BENJAAFAR, 2003). A estratégia de produção MTS determina que o produto final seja fabricado e disponibilizado em estoque de forma antecipada ao pedido do cliente – desta forma, o planejamento de inventário, o tamanho do lote de produção e a previsão de demanda são cruciais para o sucesso do modelo (ATAN et al., 2017). Uma vez que custos de manutenção de estoque são gerados, esta opção é mais adequada para produtos com alta demanda e volumes estáveis (MAHEUT et al., 2015).

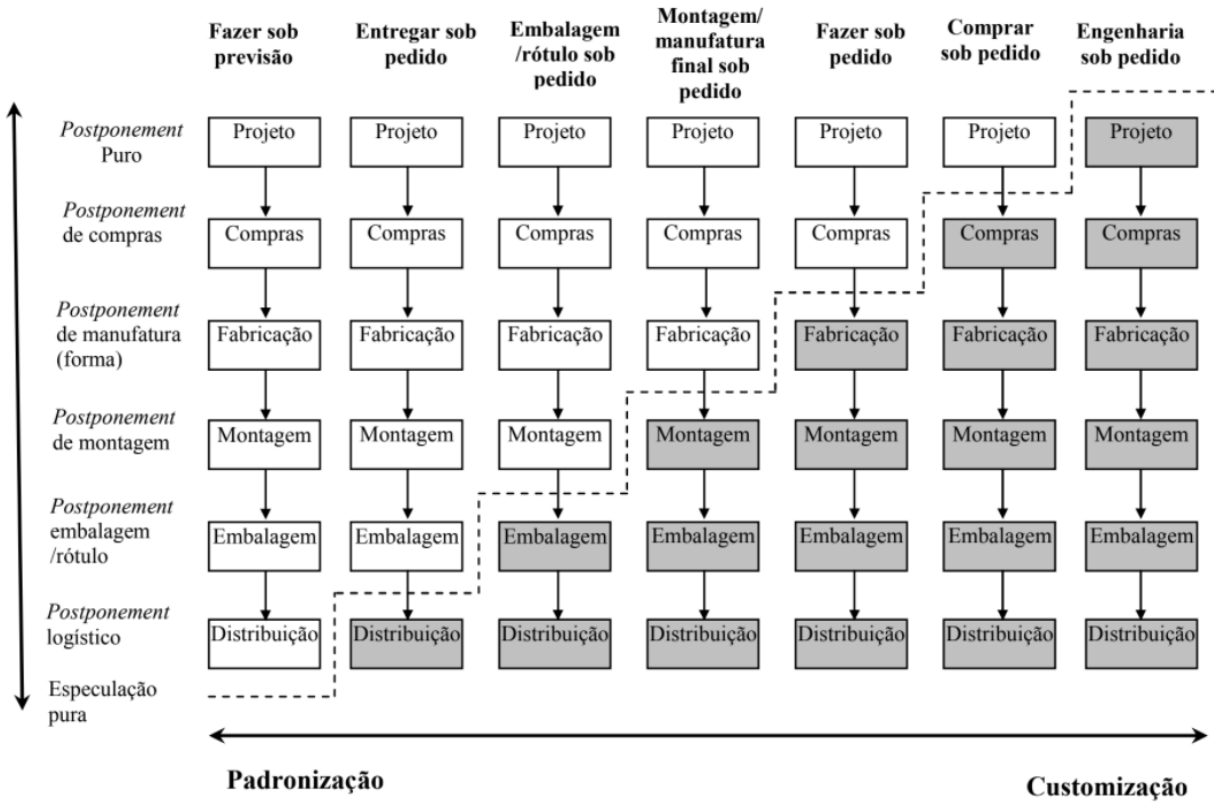
Como as empresas muitas vezes possuem em seu portfólio uma oferta de diferentes produtos (e com diferentes características), periodicamente as mesmas precisam tomar decisões de escolha entre MTS ou MTO (WEMMWELOV, 1984). Estas decisões estão normalmente associadas ao nível de serviço buscado (RAJAGOPALAN, 2002). Segundo Maheut el at. (20150), a literatura indica que diversas variáveis impactam nesta decisão: preço do produto; custo de material; volume esperado; incerteza da demanda; prazo de entrega do produto final; penalidades por atrasos na entrega; custos de fabricação; níveis de inventário e estoque de segurança; custos de manutenção de inventário; tempo e custo de *setup*. Para melhor lidar com estes fatores, principalmente no que diz respeito a incerteza da demanda, ao prazo de entrega esperado e aos níveis de inventário (e seus respectivos custos associados), existem estratégias híbridas de produção (WEMMERLOV, 1984). Estas estratégias tendem a postergar a disponibilização do produto final em estoque até que informações mais completas sobre a demanda sejam obtidas (ATAN et at., 2017; OLHAGER, 2012). Dentro do ambiente de alto *mix* e baixo volume destacam-se a ATO e o conceito de *postponement*.

A estratégia ATO é aplicada principalmente a produtos que consistem em vários componentes ou subconjuntos montados (ATAN et al., 2017). Estes componentes ou subconjuntos são produzidos / adquiridos com base na previsão de demanda e mantidos em estoque, porém, o produto final só é montado após o recebimento do pedido do cliente (FORSTNER; MÖNCH, 2013). Essa estratégia, quando comparada à MTO, permite que o

tempo de resposta ao cliente seja reduzido, através da disponibilização em estoque dos componentes que formam o produto final (principalmente se estes componentes possuírem longo *lead time*), ao ponto que, em comparação à MTS, possibilita melhor agrupamento de inventário, reduzindo os custos inerentes às práticas associadas a manutenção de estoque de produto final (ATAN et al., 2017). Entretanto, esta estratégia requer uma ampla coordenação de montagem e distribuição dentro do sistema de produção, uma vez que podem haver tanto componentes que sejam dedicados a um produto específico quanto componentes que são compartilhados em diferentes produtos (SONG; ZIPKIN, 2003). Além disso, como o *mix* de produtos tende a ser elevado, seus respectivos componentes geralmente possuem diferentes *lead time* de produção e a demanda pode ser de difícil correlação, fazendo com que a análise e gerenciamento de sistemas ATO sejam mais dificultosas se comparadas a estratégias "puras" de fabricação, como a MTS e MTO (SONG; ZIPKIN, 2003).

O conceito de *postponement*, segundo Zinn e Bowersox (1988), consiste em adiar ao máximo qualquer movimentação e/ou configuração final de produtos dentro de seu processo produtivo ou de distribuição – sendo os principais tipos de *postponement* aqueles baseados na postergação de movimentação, definidos como "*postponement* de tempo", e os baseados na postergação na configuração/diferenciação, definidos como "*postponement* de forma". O *postponement* de forma pode ser utilizado para mudar a sequência de atividades, podendo afetar parte do projeto do produto, dos processos de manufatura (podendo o produto estar tanto em estado semiacabado quanto final, englobando produção e montagem), ou da própria estrutura na rede da cadeia de suprimentos mediante aos requisitos finais do cliente. Já o *postponement* de tempo se refere ao atraso intencional do início de determinado ponto da sequência de atividades de desenvolvimento, produção, montagem ou distribuição do produto (ZINN; BOWERSOX, 1988; ZINN, 2019). A literatura ainda aborda os *postponement* de compras, montagem, embalagem e logístico (YANG; BURNS, 2003). Yang e Burns (2003) indicam que o *postponement* é utilizado para mover o CODP para mais próximo do consumidor final, com o objetivo de aumentar a eficiência e efetividade da cadeia de suprimentos. A Figura 5 mostra como os tipos de *postponement* se relacionam com diferentes estratégias de produção, tendo o CODP representado pela linha pontilhada, separando as atividades feitas sob previsão / empurradas (cor branca) das orientadas pelo pedido / puxadas (cor cinza).

Figura 5 – Tipos de *postponement*, estratégias de produção e posicionamento do CODP




Fonte: Yang e Burns, 2003

Desta forma, este conceito não deve ser considerado como sinônimo das estratégias ETO, MTO, ATO ou MTS, porém, a utilização do mesmo permite que estas estratégias sejam aplicadas (FERREIRA; ALCÂNTARA, 2011) e suas nuances dentro de cada estratégia estão relacionadas ao posicionamento do CODP.

## 2.2 GESTÃO DE DEMANDA E DE INVENTÁRIO

Esta seção aborda os temas de gestão de demanda e de gestão de inventário, explorando suas definições, interrelações e aplicações. Ressalta-se que as aplicações indicadas nas respectivas subseções possuem maior relação com o ambiente de HMLV – tema central deste trabalho.

O conceito de gestão de demanda contempla a previsão, distribuição e classificação de demanda dos produtos oferecidos pela empresa (CONCEIÇÃO et al., 2015), tanto em relação ao produto final quanto referente aos seus respectivos componentes, subconjuntos e/ou peças de reposição. Queiroz e Cavalheiro (2003, p.1) indicam que "A previsão tem a função de fornecer informações sobre a demanda futura dos produtos para que a produção possa ser planejada com antecedência, permitindo que os recursos produtivos estejam disponíveis na quantidade, momento e qualidade adequada.", ao ponto que a distribuição estatística, se

identificada e aplicada corretamente, fornece informações importantes para a classificação da demanda e, consequentemente, para a retroalimentação dos modelos de previsão (CHOY; CHEONG, 2011; SYNTETOS; BOYLAN; CROSTON, 2005).

Em relação ao estoque (ou inventário) considera-se que:

> O Inventário é um termo usado para descrever as acumulações de materiais ou informações à medida que elas fluem através de processos ou redes. [...] Os estoques de materiais em uma fábrica podem representar uma proporção substancial de caixa atrelado ao capital de giro. Reduzi-los pode liberar grandes quantidades de dinheiro. No entanto, reduzi-los demais pode fazer com que os pedidos dos clientes não sejam atendidos. (SLACK et al., p. 370).

Estes materiais são considerados como ativos para as empresas, seja na forma de insumos, componentes, ou produtos semiacabados a serem consumidos no processo de produção, ou na forma de produto final a serem distribuídos aos clientes (GENCER, 2018). A maneira como a acumulação destes materiais é gerenciada é chamada de gestão de inventário, tendo a identificação do perfil de inventário como fator crucial para um controle de estoque eficiente (SLACK et al., 2013). Essa identificação aborda o nível de inventário em função do tempo, servindo para guiar a decisão das ordens de reposição/reabastecimento e, principalmente, contribuindo para a definição das políticas de inventário (SLACK et al., 2013). A definição dessas políticas possui um impacto direto na lucratividade das empresas (BUXEY, 2006; RADASANY, 2016; GENCER, 2018; YANG et al., 2019), uma vez que as mesmas envolvem decisões que interferem nos custos de pedido, de armazenagem/manutenção, do produto, e de falta de estoques (DURLINGER, 2015).

Apesar da relação entre a gestão de demanda e de inventário ser percebida (HAHN; LEUCHT, 2015; WANKE, 2012; BAI, 2005) e incorporada dentro do conceito da gestão da cadeia de suprimentos (SLACK et al., 2013) como efeito direto da propagação da demanda (BRUNAUD et al., 2018), a literatura, quando a aplicação destes temas é abordada, normalmente os considera como problemas independentes (CONSTANTINO et al, 2018); os estudos focados em inventário tratam as questões de distribuição e classificação de demanda de maneira simplista, ao ponto que as pesquisas que focam neste segundo tema pouco consideram as consequências de seus modelos nos controles e políticas de estoque (ZHU et al., 2020; SYNTETOS; BABAI; GARDNER, 2015; TIACCI, 2009). Ora, se a gestão da cadeia de suprimentos contempla uma abordagem holística do gerenciamento das diferentes operações dentro de uma empresa, englobando os recursos, capacidades e processos necessários para satisfazer o cliente (SLACK et al., 2013), a gestão de estoque e de demanda deveriam ser tratados em sinergia, uma vez que a falta de acuracidade de um dos lados impacta, automaticamente, o outro (RAMAEKERS; JANNSSENS, 2008). Este argumento é reforçado

por Boylan, Syntetos e Karakostas (2006), que estabelecem que o comportamento da demanda pode ser um dos principais fatores de contribuição para o aumento da complexidade dos modelos de gestão de estoque. Além disso, Snyder et al. (2012) enfatiza que modelos tradicionais de gestão de inventário não possuem a capacidade de reagir em casos de demandas com características de HMLV de maneira rápida e precisa, sendo que grande parte deste problema está atrelado às suas diferentes distribuições, com elevado grau de coeficiente de variação e presença de diversos períodos com demanda nula – caracterizando a mesma como lenta e de altas variabilidade e intermitência (HAHN, G.J; LEUCHT, A., 2015 e TURRINI, L.; MEISSNER, J., 2017).

Alguns autores tem avançado em abordagens de gestão de inventário que incorporam a interdependência com a gestão de demanda em seus modelos ao longo da última década. Tiacci e Sartta (2009) comparam os métodos de previsão de média móvel centrada e de valor máximo de demanda dentro de um mesmo período e indicam sua relação com as políticas de reabastecimento de estoque. Teunter et al. (2010) adicionam critérios diretamente relacionados à demanda dentro da classificação ABC de inventário. Syntetos et al. (2015) mensuram o impacto no nível de serviço pela implementação de métodos não paramétricos de previsão de demanda. Conceição et al. (2015) sugerem modelos que, dentro do estudo de caso aplicado, entregam um bom resultado em termos de nível de serviço e custos de estoque, englobando a previsão (através da técnica de amostragem *Bootstrap*), a classificação de demanda (com distribuições de Laplace e Gama para itens com demanda intermitente), o prazo de entrega e a definição de estoque ótimo e quantidade / ponto de pedido para peças de reposição. Brunaud et al. (2018) propõem alternativas às políticas mais tradicionais de revisão contínua ($r$, $Q$) e periódica ($s$, $S$), adaptando a primeira à um sistema de tempo discreto e explorando diferentes cenários para a segunda através de simulação – otimizando, inclusive, o estoque de segurança para ambas através de técnicas de Programação Não Linear Inteira Mista (PNLIM). Zhu et al. (2020) incorpora técnicas avançadas de antecipação da informação da demanda para projetar sua distribuição e refletir esta análise nos parâmetros de controle de inventário em indústrias que possuem comportamento de demanda lenta e intermitente, melhorando assim a gestão dos custos de manutenção. Mesmo com esses avanços na literatura, ainda há um consenso entre todos estes autores de que existem campos inexplorados de aplicação, bem como de que as técnicas aplicadas podem ser melhoradas principalmente dentro de um contexto de HMLV – corroborando com a revisão feita por Snyder et al. (2012).

### 2.2.1 Distribuição e classificação de demanda

O comportamento da demanda pode ser um dos fatores que mais influenciam no aumento da complexidade da gestão de inventário (BAI, 2005). A correta identificação dos diferentes padrões de demanda pode ajudar as empresas tanto a melhorar seus modelos / parâmetros de previsão de demanda quanto a obterem maior efetividade no controle de estoques (BOYLAN; SYNTETOS; KARAKOSTAS, 2006). Segundo Wanke (2011), a demanda, de forma geral, pode ser determinística ou randômica, com distribuição conhecida ou totalmente desconhecida e, ainda, ser dependente ou independente. Entretanto, muitos estudos generalizam a aderência do padrão da demanda assumindo uma distribuição Normal; essa simplificação não é recomendada pois pode não representar a realidade de seu comportamento, resultando na imprecisão dos modelos de previsão (TEUNTER; DUNCAN, 2009) e impactando a gestão de inventário (CONCEIÇÃO, 2015) sobretudo para itens de baixo volume e/ou com alto coeficiente de variação (WANKE, 2012; SNYDER et al., 2012) – itens com essas características são mais suscetíveis a serem caracterizados principalmente pela distribuição de Poisson, Gama e Binomial Negativa (TURRINI, 2017; WANKE, 2012; TEUNTER; BABAI; SYNTETOS, 2010; RAMAEKERS; JANSSENS, 2008; BOYLAN, 2005).

Para Wanke (2012), dentro do contexto de modelos de previsão de demanda e gestão de inventário, a distribuição de Poisson possui algumas características que a faz ser uma boa candidata para itens de baixo volume: pressupõe independência entre eventos, o que pode significar que o nível de consumo em um determinado período não é afetado pelo nível de consumo do período anterior; fornece informações gerencialmente úteis (pelo fato de fazer parte de modelos discretos), como, por exemplo, a probabilidade de ocorrência de um determinado nível de consumo com base em sua média histórica; assume uma distribuição exponencial para o intervalo de tempo entre demandas. Além disso, Porras e Dekker (2006) complementam que a distribuição de Poisson não precisa de nenhuma informação além da demanda média, facilitando sua aplicação. A distribuição de Poisson é definida por:

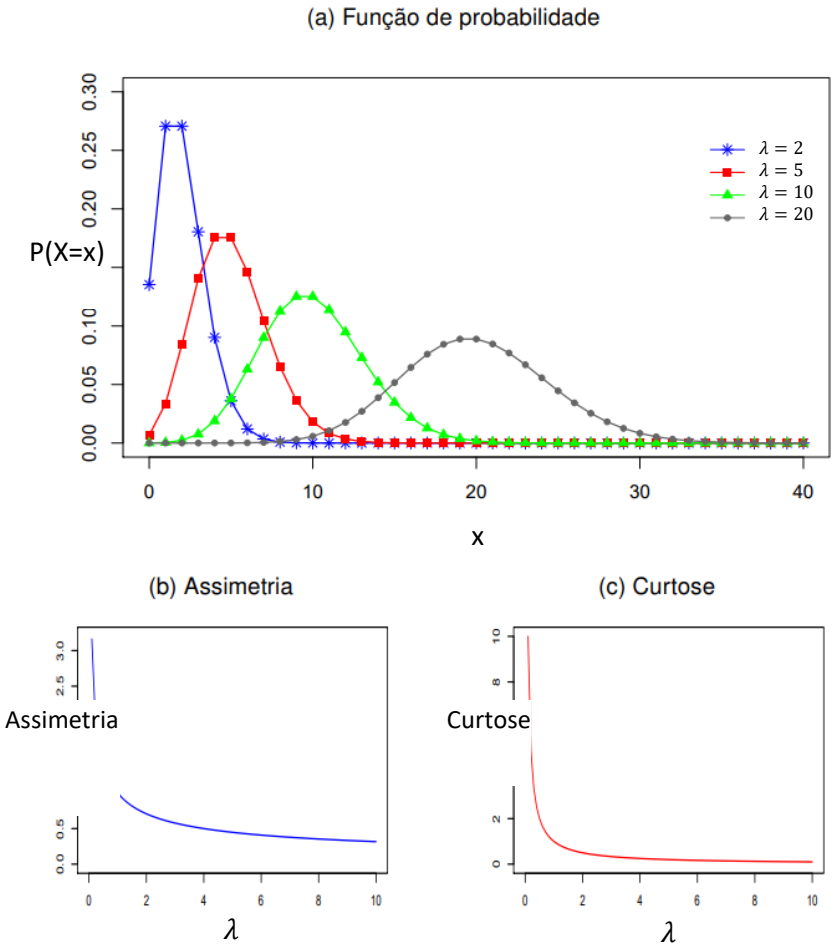
$$P_x(t) = \frac{(\lambda * t)^x e^{-\lambda t}}{x!} \quad (1)$$

sendo:

- x: consumo de peças por intervalo de tempo cuja probabilidade se deseja estimar;
- t: intervalo de tempo a ser considerado
- λ: taxa de consumo histórico por unidade de tempo
- $P_x$ (t): probabilidade de haver *x* solicitações durante o intervalo de tempo *t*

Entretanto, a distribuição de Poisson possui aderência somente a demandas em que a média é igual ou muito similar a sua variância (TURRINI; MEISSNER, 2017) – Yeh (1997) e Kwan (1991) recomendam que esse intervalo entre a variância da demanda e sua média esteja delimitado por uma variação de, no máximo, 10%. A Figura 6 demonstra o comportamento da distribuição de Poisson de maneira gráfica (desconsiderando a variável *t* da equação (1) e considerando P(X=x) para facilitar a visualização), indicando assimetria para a esquerda quanto menor for o valor de λ, com assimetria e curtose decrescentes.

Figura 6 – Gráficos da distribuição de Poisson




Fonte: adaptado de De Brito, 2008

Para casos em que a condição de intervalo indicada por Yeh (1997) e Kwan (1991) não é satisfeita, a distribuição Gama é recomendada (WANKE, 2012; RAMAEKERS; JANNSENS, 2008; YEH, 1997). A distribuição Gama pertence à família de distribuições contínuas e é caracterizada pelos parâmetros de forma ($\alpha$) e de escala ($\beta$) (KEATON, 1995). O parâmetro de forma indica o formato geral da curva, sendo que quanto maior for seu valor, mais a distribuição tende a se aproximar da distribuição Normal – esse comportamento é representado na Figura **7**. O parâmetro de escala indica o escalonamento da curva, ou seja, o quanto ela pode "esticar" ou

"encolher" para cima (eixo y), dependendo da magnitude dos valores dos dados representados. A função densidade de probabilidade da distribuição Gama é dada por (WANKE, 2012):

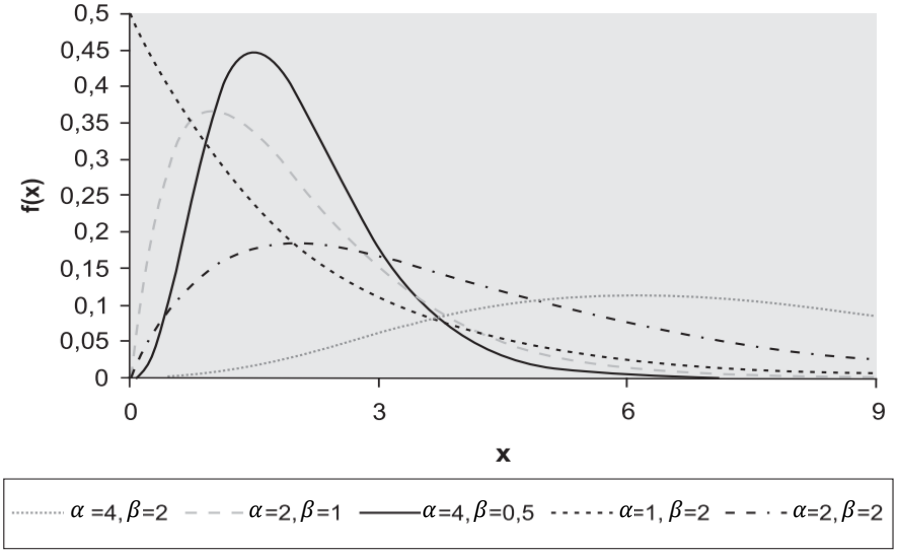
$$f_x = \frac{(\alpha x)^{\beta-1}}{\Gamma(\beta)} \alpha e^{-\alpha x}, 0 \leq x < \infty \quad (2)$$

sendo:

- $\Gamma(\beta) = (\beta - 1)!$, quando $\beta$ é inteiro;
- $E(X) = \frac{\beta}{\alpha}$;
- Variância = $\frac{\beta}{\alpha^2}$.

Silver, Pyke e Peterson (1998) indicam também que a distribuição Gama é indicada quando a razão entre o desvio padrão e a média da demanda for superior a 0.5. Essa distribuição também possui melhor aderência para os casos em que demandas nulas possuem maior frequência de ocorrência (YEH; CHANG; CHANG; 1997), fazendo com que o intervalo de tempo decorrido entre duas demandas consecutivas diferentes de zero seja considerado como fator relevante para o modelo de previsão de demanda e gerenciamento de estoques (WANKE, 2012). Além disso, Ramaekers e Jannsens (2008) indicam que a distribuição Gama é atrativa devido a facilidade em que a mesma pode lidar, dentro de seu modelo, com distribuições probabilísticas relacionadas ao *lead time* dos produtos. Turrini e Meissner (2017) complementam que, além da curva da distribuição Gama ser altamente flexível, a mesma pode assumir apenas valores positivos, sendo assim uma boa opção para descrever demanda de produtos. Entretanto, os mesmos autores indicam que se a demanda é assumida como discreta, a distribuição Gama pode somente aproximar sua distribuição.

Figura 7 – Gráfico da distribuição Gama




Fonte: adaptado de Naghettini e Pinto (2007)

Outra distribuição indicada na literatura para demandas caracterizadas por HMLV é a Binomial Negativa. Essa distribuição é discreta e composta das distribuições de Poisson e Gama (KWAN, 1991), em que, quando aplicada a um contexto de demanda, distribui o número de ocorrências em cada período da mesma forma que Poisson, porém com tamanhos de demanda aleatórios governados por uma distribuição logarítmica (SYNTETOS; BABAI; GARDNER, 2015). Outros importantes fatores diferenciam a distribuição Binomial Negativa. Um deles é que essa distribuição não possui a restrição de que a variância deve ser igual (ou muito similar) à média – na verdade, a mesma requer que a variância seja maior que a média, fazendo com que sua aplicabilidade seja muito mais ampla (KWAN, 1991). Além disso, a Binomial Negativa contém elevada flexibilidade quanto ao seu índice de dispersão (BABAI et al., 2011). Sendo uma variante da distribuição binomial (em que os eventos ocorrem até o $m$-ésimo sucesso), a função probabilidade da distribuição Binominal Negativa é expressa como (DE BRITO, 2008):

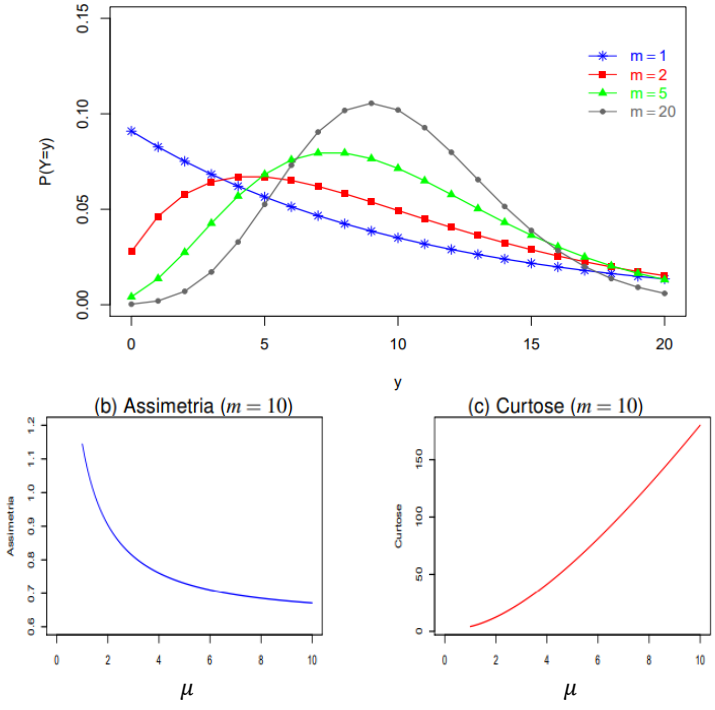
$$P(Y = y) = \frac{\Gamma(m+y)}{y!\Gamma(m)}\left(\frac{\mu}{m+\mu}\right)^{y}\left(1-\frac{\mu}{m+\mu}\right)^{m} \quad (3)$$

sendo:

- $y = 0,1,2,\cdots,\mu > 0$
- $m > 0$ conhecido
- Variância=$\mu\left(1+\frac{\mu}{\mu+m}\right)$.

A Figura 8 demonstra o comportamento da distribuição Binomial Negativa:

Figura 8 – Gráficos da distribuição binomial negativa

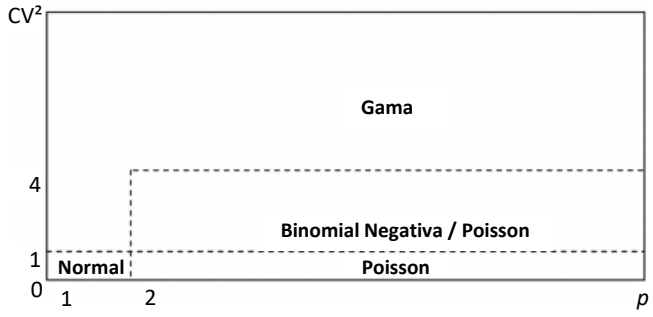



Fonte: adaptado de De Brito (2008)

Observa-se que a curva indica que a distribuição Binomial Negativa é simétrica em torno da média $\mu$ para $m \geq 2\mu$ e assimétrica à esquerda para os demais valores. Verifica-se também que a assimetria é mais proeminente para valores de $\mu$ menores que $m$, e a curtose tem crescimento acentuado para valores de $\mu$ próximos a $m$.

Syntetos et al. (2011) propõem um esquema de classificação para identificar quais destas distribuições, além da distribuição Normal, melhor se ajustam aos dados de demanda, considerando somente as seguintes variáveis: intervalo médio entre demandas ($p$) e coeficiente de variação ao quadrado ($CV^2$). A Figura 9 representa esse esquema, indicando que a distribuição Normal deve ser empregada somente em casos com baixos valores de $p$ e $CV^2$, enquanto a distribuição de Poisson deve ser aplicada com valores baixos para o $CV^2$, porém elevados para $p$. Já para os casos de valores altos tanto para $p$ quanto para o $CV^2$ (porém ainda longe do limite superior) a distribuição Negativa Binomial é recomendada – os autores ainda indicam que a distribuição Poisson truncada também é uma alternativa junto com a Negativa Binomial. Por fim, para todos os valores restantes, a distribuição Gama deve ser utilizada. As três distribuições apresentadas possuem estudos empíricos que suportam suas aplicações (SYNTETOS; BABAI; ALTAY, 2012). Snyder et al. (2012) aplicaram as distribuições de Poisson e Negativa Binomial em mais de 1000 SKUs (Unidade de Manutenção de Estoque, do inglês *Stock Keeping* Unit) voltados a peças de reposição para a indústria automobilística; Lengu, Syntetos e Babai (2014) exploraram as distribuições de Poisson, Gama e Binomial Negativa, além de seus modelos compostos em aproximadamente 15000 SKUs relacionados às indústrias de linha branca e aviação comercial; Syntetos, Babai e Gardner (2015) utilizaram a distribuição Binomial Negativa em um estudo de caso em uma empresa varejista do segmento de joias. Essas três pesquisas tinham como objetivo o aumento de acuracidade dos modelos de previsão de demanda.

Figura 9 – Definição da distribuição com base nos parâmetros de demanda $CV^2$ e $p$




Fonte: Syntetos et al., 2011

Constantino et al. (2018), Turrini e Meissner (2017) e Choy e Choung (2011) indicam que uma importante ação para garantir que a distribuição assumida realmente se ajusta bem aos

dados empíricos de demanda é a realização do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (ou teste K-S). Esse é um teste não paramétrico cuja sua estatística tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas empírica e teórica (NAGHETTINI; PINTO, 2007), ou seja, o mesmo mede a qualidade do ajuste comparando a função de distribuição empírica (FDE), que pode ser chamada de $F_n(x)$, com a função de distribuição assumida $F_0(x)$. Mais precisamente, a estatística K-S mede a distância absoluta entre as curvas $F_n$ e $F_0$, em que essa distância é definida por:

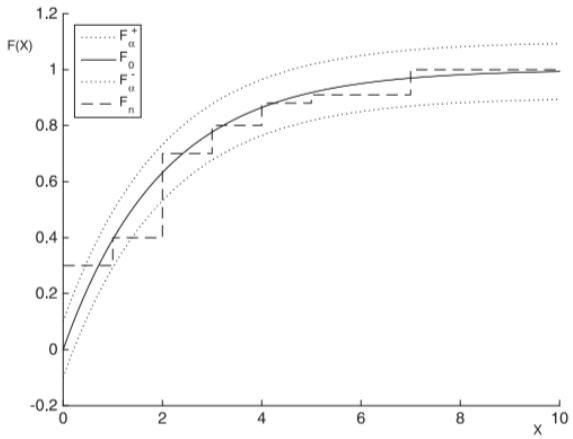
$$D = sup_x D_{(x)} \quad (4)$$

sendo:

- $sup_x$: o supremo do conjunto de distâncias
- $D_{(x)} = |F_n(x) - F_0(x)|$, como $x$ sendo o conjunto de observações

Desta forma, se tivermos $n$ observações $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \cdots \leq x_{(n)}$ a estatística K-S é avaliada como $D = \max(D^+, D^-)$, onde $D^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \left[\frac{i}{n} - F_0(x_{(i)})\right]$ e $D^- = \max_{1 \leq i \leq n} \left[F_0(x_{(i)}) - \frac{i-1}{n}\right]$. A hipótese nula é definida por $H_0: F = F_0$, sendo $F$ a distribuição real desconhecida dos dados, em que $H_0$ é rejeitado no nível $\alpha$ se $D$ for maior que o valor crítico do teste de nível $\alpha$, sendo então os parâmetros $F_\alpha^+$ e $F_\alpha^-$ considerados como os limites de confiança para a forma da função distribuição (TURRINI; MEISSNER, 2017). A Figura 10 ilustra a aplicação do teste K-S clássico, onde a linha sólida representa a distribuição assumida $F_0$, as linhas pontilhadas representam os limites de confiança $F_\alpha^+$ e $F_\alpha^-$ e a linha tracejada indica a distribuição empírica $F_n$, da qual, neste exemplo, ultrapassa o limite de confiança fazendo com que a hipótese nula seja rejeitada.

Figura 10 – Tete K-S clássico

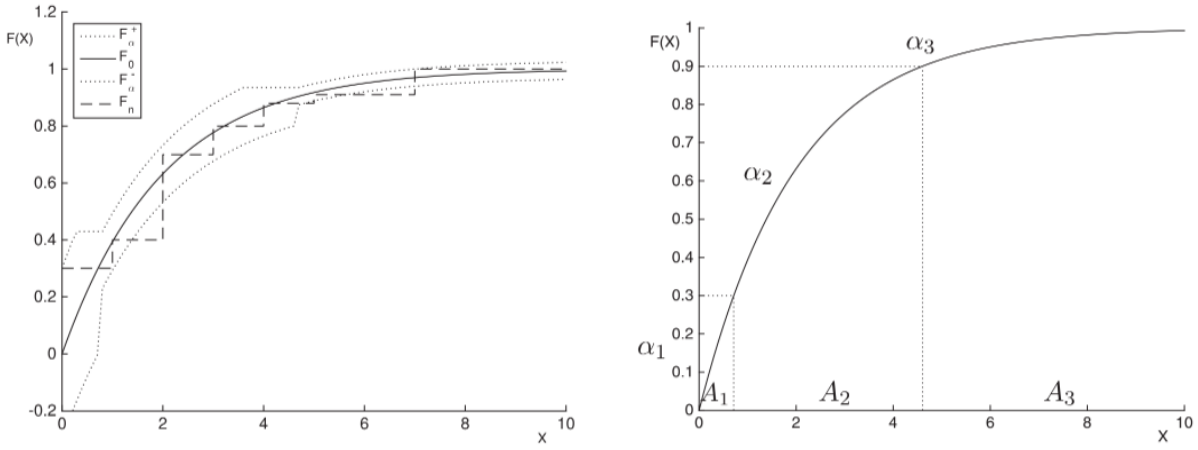



Fonte: Turrini e Meissner (2017)

Turrini e Meissner (2017) ainda ressaltam que, por definição, o teste K-S clássico considera que os limites de confiança possuem o mesmo tamanho durante toda a distribuição –

ou seja, o mesmo peso é atribuído às diferenças tanto nos percentis inferiores quanto nos superiores. Segundos os autores, essa definição pode não ser adequada para alguns tipos de aplicação, como, por exemplo, em gestão de estoque, uma vez que a maioria dessas aplicações envolve o cálculo de 90-95 percentis da distribuição da demanda prevista, fazendo com que a cauda da curva possua maior relevância. Desta forma, diferentes técnicas podem ser aplicadas para fazer com que maior peso seja atribuído aos diferentes percentis da distribuição – Turrini e Meissner (2017), Syntetos et al. (2012), Arsham (1986), Ficker (1979) e Anderson e Darling (1954) abordam algumas dessas técnicas. A Figura 11 demonstra a aplicação elaborada por Turrini e Meissner (2017), dando maior ênfase nos percentis mais altos da distribuição (maior peso para os níveis de $\alpha$ atrelados a esses percentis) e, consequentemente, apresentando limites de confiança mais estreitos na cauda direita da curva.

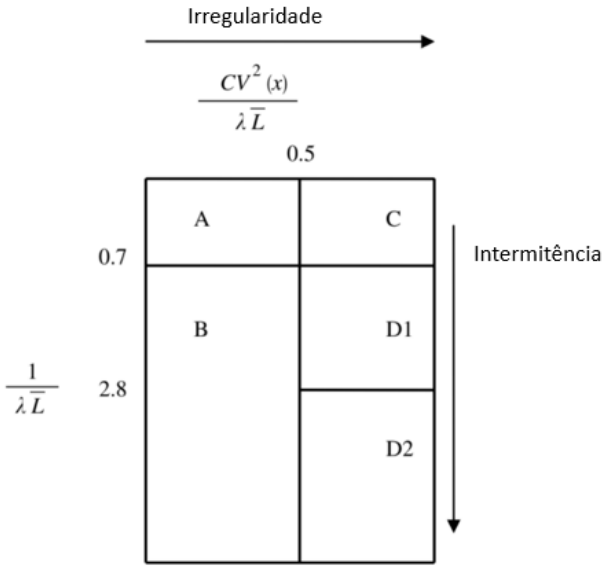
Figura 11 – Teste K-S modificado e níveis de $\boldsymbol{\alpha}$ ponderados




Fonte: Turrini e Meissner (2017)

Tão importante quanto conhecer o comportamento de distribuição da demanda é entender seu processo de categorização / classificação e, consequentemente, de que forma esses conceitos estão inter-relacionados (WILLIAMS, 1984). O mesmo autor iniciou as abordagens de métodos de categorização de demanda com base em sua taxa média $\lambda$ de entrega (por Poisson), duração média do *lead time* $\bar{L}$ e o coeficiente ao quadrado de variação $CV_{(x)}^2$ do tamanho da demanda. O número de *lead times* entre sucessivas pode ser obtido por $\frac{1}{\lambda \bar{L}}$, de modo que quanto maior for seu valor, mais intermitente é a demanda. Já a razão entre o $CV_{(x)}^2$ e $\lambda \bar{L}$ indica o quão irregular é a demanda – a irregularidade depende tanto da intermitência quanto do tamanho da demanda quando a mesma ocorre. A relação entre esses fatores, indicada na Figura 12, categoriza as demandas em: suave (A) e (C); lenta (B); esporádica e irregular (D1); muito esporádica e irregular (D2).

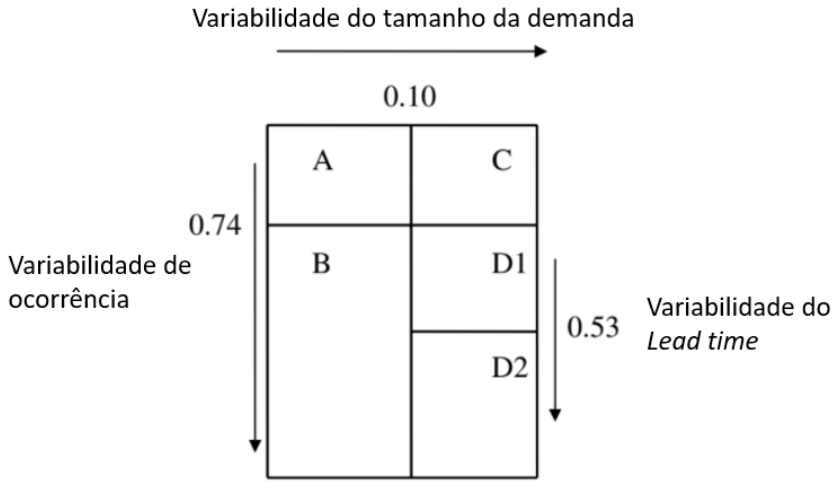
Figura 12 – Esquema de classificação de demanda por Williams




Fonte: Syntetos, Boylan e Croston (2005)

Este método foi aprimorado por Eaves (2002), em que, através de um estudo empírico, propôs que a classificação deve ser realizada focando nos parâmetros de variabilidade da taxa de ocorrência (número de pedidos), do tamanho da demanda, e do seu respectivo *lead time*. Desta forma, os itens com baixa variabilidade de ocorrência são subdivididos como itens de demanda suave ou irregular, de acordo com sua respectiva variabilidade do tamanho da demanda. A variabilidade do *lead time* é aplicada para distinguir o quão errático pode ser o comportamento da demanda dos itens. Desta forma, o modelo aprimorado de Eaves (2002) é apresentado na Figura 13, classificando a demanda dos itens da seguinte forma: suave (A); lenta (B); irregular (C); errática (D1); altamente errática (D2).

Figura 13 – Esquema de classificação de demanda por Eaves

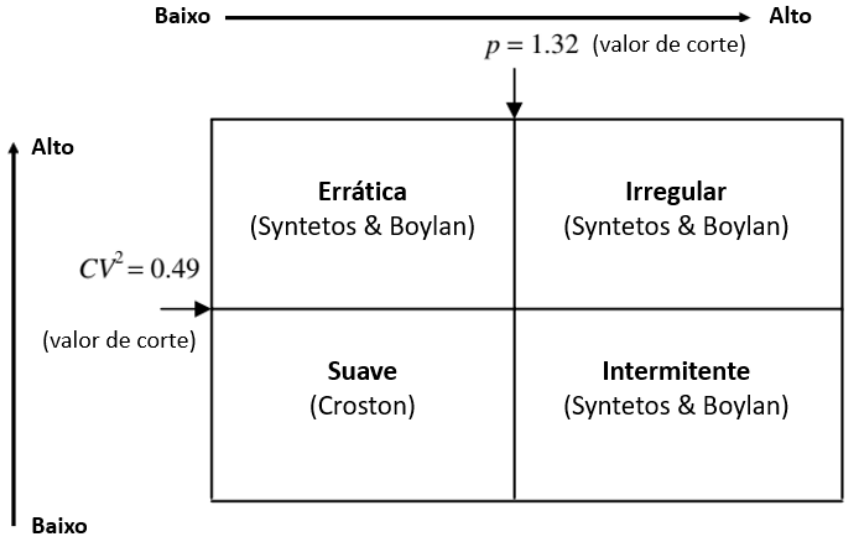



Fonte: Syntetos, Boylan e Croston (2005)

É importante ressaltar que os pontos de corte em ambos os esquemas de classificação indicados nas Figuras 12 e 13 foram definidos de forma empírica, com influência na tomada de

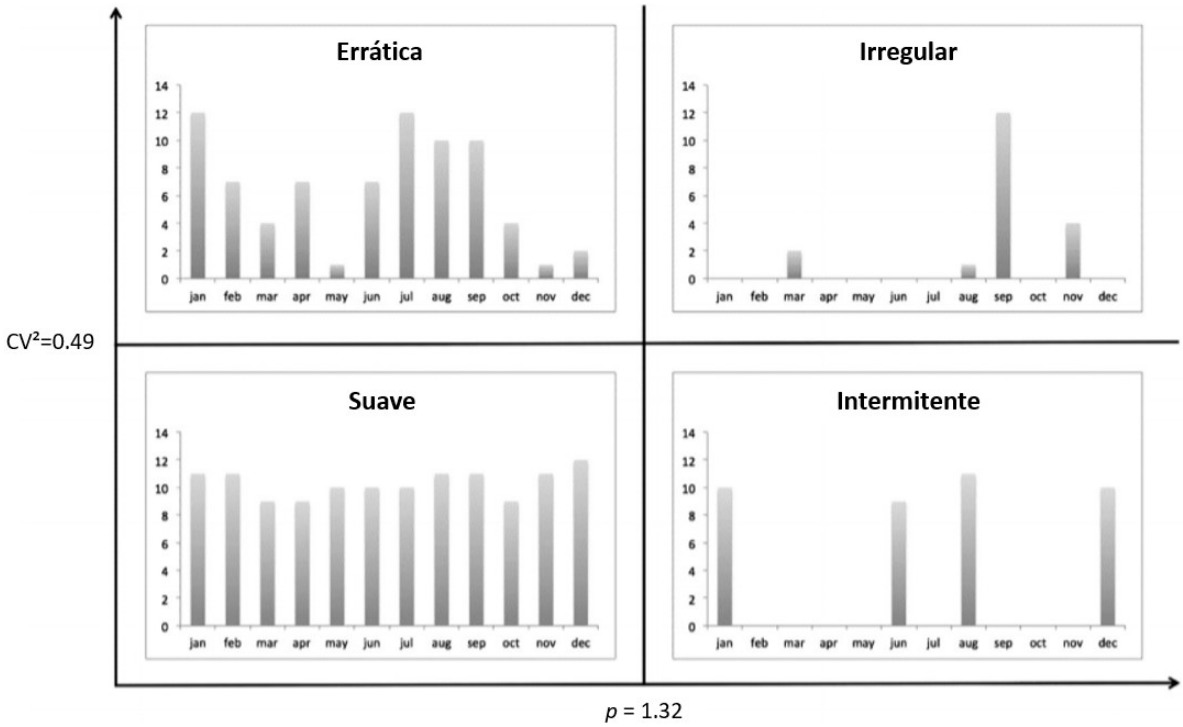
decisão por parte dos gestores das empresas em que o estudo foi realizado e, desta forma, possuindo limitações de contexto em relação às características do padrão da demanda e do tamanho de suas amostragens (EAVES, 2002; WILLIAMS, 1984). Syntetos, Boylan e Croston (2005) indicaram que, por conta das limitações acima mencionadas, a aplicação desses esquemas em contextos mais amplos é dificultosa. Esses autores propuseram uma nova abordagem para o problema, sugerindo o intervalo médio entre demandas $p$ e o coeficiente de variação do tamanho da demanda $CV^2$ como os parâmetro de categorização, ao invés da definição de um ponto de corte exato definido de forma arbitrária. Com essa abordagem, é possível que os diferentes parâmetros sejam comparados, identificando as regiões de desempenho superior conforme a aderência dos diferentes SKUs presentes nos dados de demanda, para que então o padrão da mesma seja classificado. Dessa forma, a definição numérica dos valores de $CV^2$ e $p$ foi realizada através da comparação do MSE (Erro Quadrático Médio, do inglês *Mean Square Error*), sendo o ponto de corte definido a partir do valor em que o novo modelo apresentou desempenho superior aos já existentes na literatura. Esse método foi testado, comparado e aprovado em um contexto mais amplo – 3000 SKUs dentro da indústria automotiva. O mesmo foi melhor detalhado em termos de classificação de demanda por Boylan, Syntetos e Karakostas (2006), nomeando as categorias como : errática para $CV^2 > 0.49$ e $p < 1.32$; suave para $CV^2 < 0.49$ e $p < 1.32$; irregular para $CV^2 > 0.49$ e $p > 1.32$; intermitente para $CV^2 < 0.49$ e $p > 1.32$. A Figura 14 apresenta esse método indicando os autores responsáveis por cada modelo. Já a Figura 15 apresenta a mesma definição, porém de uma maneira que facilita a compreensão visual de cada tipo de demanda (CONSTANTINO et al., 2018).

Figura 14 – Categorização com base na demanda para a previsão de demanda




Fonte: Boylan, Syntetos e Karakostas (2006)

Figura 15 – Padrões de demanda (suave, intermitente, errática e irregular)

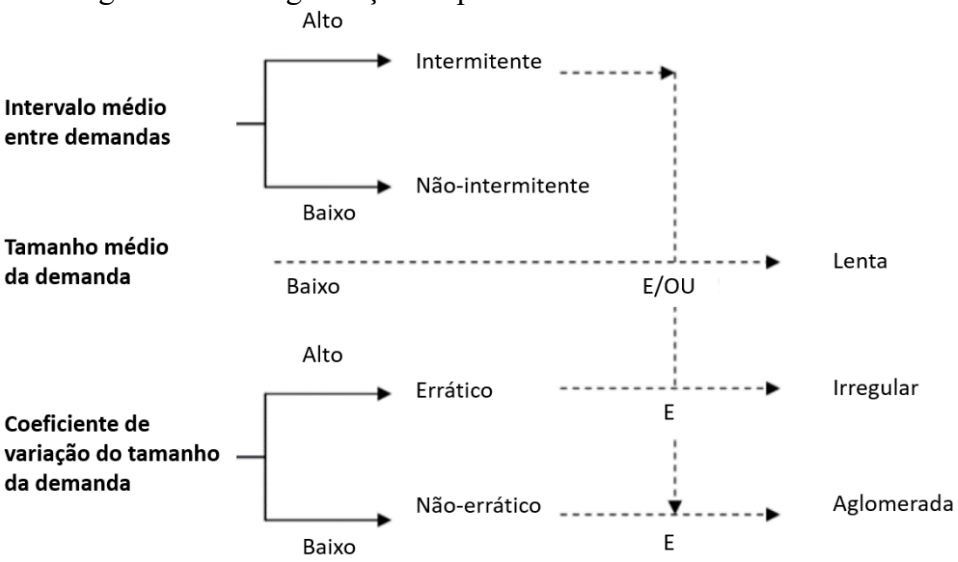



Fonte: Constantino et al. (2018)

É importante destacar que os estudos abordados até o momento nesta subseção, apesar de explorarem os conceitos e a inter-relação da distribuição e da classificação de demanda, os mesmos não possuem o objetivo principal de melhorar a gestão de inventário – com exceção de Wanke (2012), Turrini (2017) e Constantino et al. (2018) que ainda serão mais explorados neste presente trabalho. O foco até então é melhorar os modelos de previsão de demanda. Boylan, Syntetos e Karakostas (2006) tiveram uma contribuição significativa ao começar uma mudança de abordagem sobre este tema, passando a enxerga-lo de forma mais completa, no sentido de avistar seu impacto na cadeia de suprimentos como um todo, principalmente no que diz respeito à gestão de inventário. No estudo destes autores, um *framework* mais detalhado de classificação de demanda (apenas para demandas que não seguem distribuição Normal sendo, desta forma, a categoria de demanda "suave" desconsiderada) foi desenvolvido com o intuito de melhorar tanto a previsão de demanda como os controles de estoque. Esse *framework*, representado pela Figura 16, é dividido em três colunas: a primeira lista três parâmetros que são levados em consideração para a definição da distribuição da demanda, sendo eles o intervalo médio entre demandas, a média do tamanho da demanda, e o coeficiente de variação do tamanho da demanda; a segunda coluna, ao lado de alguns indicadores qualitativos (dos quais caracterizam o *framework* como sendo conceitual, uma vez que valores não quantitativos estão atribuídos ao mesmo), indica as possibilidades de a categoria da demanda ser intermitente (de ocorrências não frequentes), não intermitente, errática (tamanho da demanda com alta variação)

e não errática; por fim, a terceira classifica a demanda como lenta (a média da demanda por período é baixa, podendo ou não ser intermitente), irregular (intermitente e errática) e aglomerada (intermitente, porém constante).

Figura 16 – Categorização de padrões de demanda não-Normal




Fonte: Boylan, Syntetos e Karakostas (2006)

Além de Boylan, Syntetos e Karakostas (2006), que simularam a aplicação do *framework* em aproximadamente 16000 SKUs (relacionados às indústrias de peças de reposição de motores, de peças de reposição aeroespaciais e de produtos químicos) para melhorar não somente a acuracidade da previsão de demanda, mas também reduzir o custo de estoque sem fazer com que nível de serviço ficasse fora de um limite aceitável pelas empresas – mostrando que as mesmas não possuíam os parâmetros ideais de caracterização da demanda em seus sistemas –, a aplicação das abordagens indicadas nas Figuras 15 e 16 vem crescendo na literatura. Petropoulos et al. (2016) utilizou estes conceitos para criar um novo modelo agregado para diminuir o erro da previsão de demanda para itens com comportamento de demanda errática ou intermitente voltados às indústrias automotiva e de defesa; Amirkolaii et al. (2017) usou essas definições para elaborar uma *survey* destinada a melhorar a eficiência da cadeia de suprimentos de peças de reposição da indústria de aviação comercial; Hendra et al. (2019) empregou essa formulação para alavancar um estudo de consolidação de estoque de segurança entre diferentes centros de serviço de uma marca global de produtos de motocicletas, com o potencial de reduzir o valor de estoque em aproximadamente 25% (estimativa feita com base em um total de 1557 itens, dos quais cerca de 85% são classificados com demanda irregular).

Apesar da crescente aplicação desses conceitos, ainda são poucos os estudos que incorporam a fundo os mesmos para a definição das políticas de inventário (Yang et al. 2019). Essas políticas, além das técnicas de gestão de inventário, são os tópicos explorados na próxima

subseção. Após a revisão da literatura dos mesmos, são apresentados trabalhos que, de fato, incorporam uma abordagem holística da gestão de demanda e de inventário.

### 2.2.2 Técnicas de controle de estoque e políticas de inventário

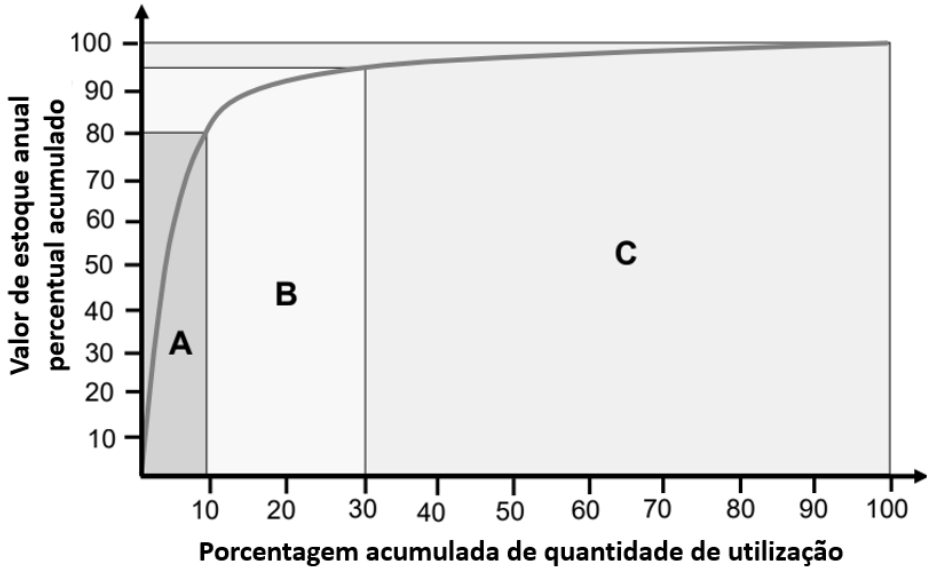
Embora muitas empresas considerem seus estoques como um elemento que somente resulta em elevação ou manutenção de custos, outras enxergam esse tema como parte vital de sua estratégia, de forma que, se gerenciado da forma correta, pode contribuir para que as mesmas se diferenciem perante aos seus concorrentes através de um alto nível de serviço, fazendo com que seu estoque se transforme em uma arma competitiva, seja para melhorar a rentabilidade, seja para alavancar novos mercados dentro de um contexto estratégico mais agressivo (RADASANU, 2006). O mesmo autor complementa que os objetivos mais importantes a serem alcançados através da melhoria na gestão de estoques são: redução dos custos de manutenção de inventário; maior facilidade na retenção de clientes; suporte estratégico em um período de crescimento; ganho de participação de mercado por meio de um nível superior de serviço e disponibilidade de produtos.

Um dos principais requisitos para um eficiente controle de estoque é a correta classificação dos materiais / SKUs que o compõem (VAN KAMPEN et al., 2012). O principal objetivo da classificação é simplificar a tarefa de gerenciamento de estoque, definindo métodos de controle e nível de serviço por classe ao invés da necessidade de defini-los separadamente, para cada SKU (TEUNTER, 2010). Basicamente, duas perguntas precisam ser respondidas para que a classificação de itens de estoque seja definida: quantas classes serão utilizadas e quais serão os limites aplicados para cada classe (VAN KAMPEN et al., 2012). Apesar de estas perguntas serem simples, suas respostas podem ser, muitas vezes, ambíguas – principalmente se o mix de produtos / componentes for elevado (VISWANATHAN; BHATNAGAR, 2005). Isso se dá porque ainda que existam técnicas de classificação bem definidas quanto ao seu conceito, os estudos empíricos demonstram que muitas vezes não estão claros os motivos pelos quais determinado método foi empregado ou o ponto de corte entre uma classe e outra, estando estes parâmetros inspirados por contextos específicos (VAN KAMPEN et al., 2012).

A classificação ABC é uma das formas de classificação de estoque mais conhecidas e amplamente utilizadas nas empresas (SYNTETOS et al. 2010). Segundo Slack et al. (2013) e Silver et at. (1998), essa técnica consiste em classificar os itens de forma decrescente pelo seu respectivo valor anual de estoque vendido (quantidade vendida durante um ano multiplicada pelo seu valor individual). De maneira geral, itens com valor de estoque alto são gerenciados com maior atenção, enquanto aqueles com valor de estoque baixo não precisam ser controlados

com tanto rigor. Como referência, a divisão entre as classes A, B e C normalmente segue muito próxima ao princípio de Pareto: a classe A contém 10% da quantidade de uso, porém, representa 70% o valor de estoque; a classe B possui média utilização, compondo normalmente 20% da quantidade de uso, e representa cerca de 20% do valor de estoque; já a classe C geralmente abrange 70% de sua quantidade, porém a mesma é responsável somente por cerca de 10% do valor de estoque (SLACK et al., 2013). A Figura 17 ilustra essa técnica de maneira gráfica, considerando o valor percentual acumular de estoque anual em relação ao respectivo percentual de utilização da mesma classe de item.

Figura 17 – Classificação ABC




Fonte: Autor

Embora este método tenha sido criado para conter três categorias e um único critério (sendo o valor de estoque o mais aplicado, seguido pelo volume de estoque), o mesmo pode ser facilmente adaptado para contemplar mais categorias – sendo idealmente limitada a seis classes (GRAHAM, 1987) – e seguir uma priorização multicritério combinada com outras técnicas de ranqueamento ou modelagem linear (CHEN et al., 2008; ZHOU; FAM. 2007; STANFORD; MARTIN, 2006). Além disso, a literatura também traz estudos que buscam otimizar os parâmetros a serem aplicados em cada classe com o objetivo de minimizar os custos totais de manutenção de estoque, modificando seus critérios de classificação com foco em melhor desempenho de inventário – exemplos podem ser encontrados em Teunter et al. (2010), Huiskonen et al. (2005), Ramanathan (2006) – uma vez que o conceito, por si só, não indica a melhor forma de realizar sua desagregação (ZHANG et al., 2001).

Silver et al. (1998) indicam que, em termos econômicos da política de estoque, uma maior disponibilidade (e, portanto, maior estoque de segurança) deve ser definida para boa parte

dos itens C, enquanto um nível de serviço mais baixo pode ser estipulado aos itens A. Já os itens B podem ter um nível de serviço médio entre A e C. Viswanathan e Bhatnagar (2005) salientam que, dentro do contexto do fluxo de produção, do qual pode haver interdependência entre os itens / componentes, qualquer falta pode ser igualmente grave, independente se o item está classificado como A, B ou C. Desta forma, compensações devem ser feitas em relação a frequência de revisão, negociação junto aos fornecedores, estoque de segurança e abordagem quanto a análise de impacto da falta de material. Os mesmos autores propõem um *framework* que auxilia nessa decisão. Esse *framework* é apresentado pela Figura 18 (observa-se que, para disponibilidade de estoque e frequência de reabastecimento, as comparações são referentes a itens pertencentes a outras classes situados na mesma coluna).

Figura 18 – *Framework* de análise para a aplicação da Classificação ABC

| **Média Anual do valor de estoque/utilização do item** | Perda da venda | Grave (dano no relacionamento com o cliente ou parada na produção) | Nenhum impacto |
|---|---|---|---|
| Alta (itens A) | Média disponibilidade de estoque (em comparação aos itens B). Revisar/reabastecer estoque com muita frequência. Colocar pedidos de emergência, se necessário. | Menor disponibilidade de estoque em relação aos itens B. Revisar/reabastecer estoque com muita frequência. Colocar pedidos de emergência, se necessário. | Baixa disponibilidade de estoque ou *make to order* |
| Média (itens B) | Maior disponibilidade de estoque (versus itens A e C). Revisar/reabastecer estoque com mais frequência em relação aos itens C | Média disponibilidade de estoque em relação aos itens C. Revisar/reabastecer estoque com frequência. Colocar pedidos de emergência apenas se absolutamente necessário. | Baixa disponibilidade de estoque ou *make to order* |
| Baixa (itens C) | Baixa disponibilidade de estoque. Revisar/reabastecer estoque apenas ocasionalmente | Alta disponibilidade de estoque. Revisar/reabastecer com pouca frequência. Evitar pedidos de emergência a todo custo através da manutenção de altos níveis de inventário. | Baixa disponibilidade de estoque ou *make to order* |
| | **Impacto da falta de estoque** | | |

Fonte: Viswanathan e Bhatnagar (2005)

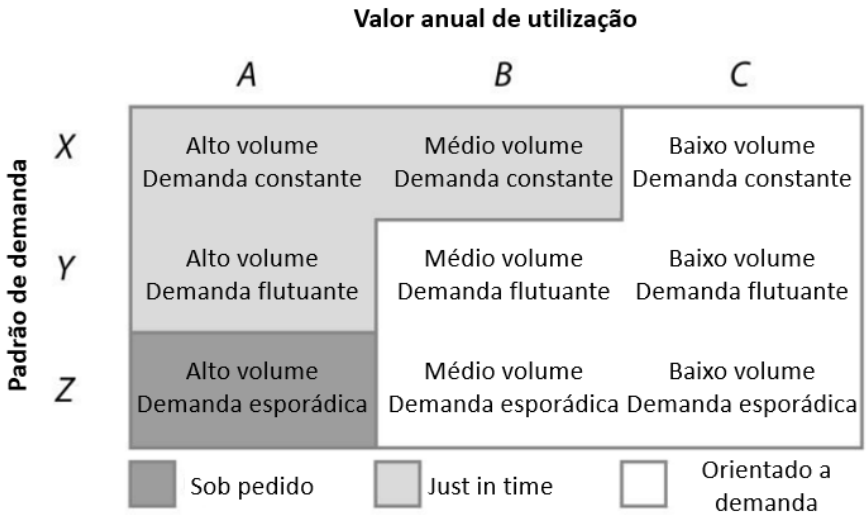
A primeira coluna destaca a estratégia a ser utilizada quando o único impacto da falta de estoque é a perda de vendas. Este cenário normalmente se aplica a itens em que o cliente não está disposto a esperar a reposição do produto para efetuar a compra, seja por necessidade ou pela facilidade em encontrar diferentes opções – por exemplo, no caso de produtos de conveniência. Obviamente, se o intuito é não perder nenhuma venda, a disponibilidade de estoque seria elevada para todas as categorias indicadas na primeira coluna; entretanto, é importante ressaltar que esse *framework* trabalha com compensações, ou seja, embora a alta disponibilidade de itens A minimize a perda de vendas desses itens, isso também acarretará um

elevado custo de manutenção de estoque. Portanto, pode ser melhor fornecer uma disponibilidade média de itens em estoque, porém, com revisão frequente – estes pontos devem ser levados em consideração em uma análise gerencial. A segunda coluna indica as ações a serem tomadas caso a falta de estoque seja considerada grave. Neste cenário, paradas no processo produtivo podem ocorrer e, desta forma, a perda de oportunidade para a empresa, diferentemente do cenário da primeira coluna, não é proporcional ao valor da venda perdida – uma vez que a falta de estoque, mesmo que por um curto período de tempo e mesmo que seja relacionada a um item C, pode ser muito cara, uma vez que todo o processo produtivo pode ser paralisado devido a essa ruptura. Além disso, muitos estudos mostram que a falta de estoque pode causar sérios impactos no relacionamento com o cliente sendo, muitas vezes, difícil de recupera-los no curto prazo (RASADANU, 2016). Desta forma, ciclos de revisão mais frequentes e remessas/pedidos de emergência devem ser considerados principalmente para os itens A e B. Por fim, caso a falta de estoque não tenha impacto algum, representado pela terceira coluna, pode não ser necessário que qualquer nível de estoque seja mantido alavancando, por exemplo, a decisão de ser adotada uma estratégia de produção MTO. Apesar do conceito da classificação ABC ser claro, e a literatura sobre o mesmo possuir ferramentas importantes que ajudam em sua aplicação, como é o caso desse *framework*, Yang et al. (2017) indica que ainda é difícil obter a visibilidade do desempenho deste conceito uma vez que o mesmo, na prática, acaba dependendo mais do julgamento gerencial dos responsáveis por sua implementação, do que em análises quantitativas de fato.

Outra técnica indica por Van Kampen (2012) é a classificação XYZ. Segundo Ivanov et al. (2017), além do valor monetário do estoque, há outros importantes critérios para a classificação de inventário – por exemplo: tamanho dos itens, padrão de demanda, ou tempo de entrega. Dessa forma, a classificação XYZ estabelece critérios que indicam o grau de criticidade ou imprescindibilidade do material para as atividades das quais os mesmos serão utilizados (IVANOV et al. 2017). Esses critérios podem ser complementares à divisão das classes ABC e, desta forma, é possível que se utilize uma matriz combinada entre as duas técnicas. A Figura 19 exemplifica essa aplicação considerando um exemplo em que o padrão de demanda é definido como critério para a classificação XYZ, sendo: X com demanda constante; Y com demanda flutuante; Z com demanda esporádica. Observa-se que a matriz de classificação combinada ABC/XYZ ajuda a definir o método de compra para diferentes classes de estoque, determinando quais devem seguir uma política *just in time*, e quais dependem mais (ou não) da previsão de demanda (IVANOV et al., 2017). Essa técnica pode servir também para orientar diferentes estratégias de fabricação, ou até mesmo auxiliar na definição da posição do ponto de

desacoplamento do pedido (CODP). Outro exemplo seria atrelar a cada classe, um determinado nível de serviço que se deseja entregar (ou necessário para satisfazer o cliente). Esse conceito de nível de serviço será explorado a seguir.

Figura 19 – Exemplo de matriz de classificação ABC/XYZ




Fonte: Ivanov et al. (2017)

Radasanu (2016) define o nível de serviço (ou CSL do inglês *Cycle Service Level*) como sendo a probabilidade esperada de não esgotar o estoque durante o próximo ciclo de reposição do produto – ou seja, o CSL representa a probabilidade esperada para atender a demanda. Desta forma, o nível de serviço muitas vezes trabalha com a compensação entre o custo de estoque e o custo de sua respectiva falta – e otimiza-lo para que a empresa obtenha o maior retorno é geralmente uma tarefa complexa (RASADANU, 2016). Ressalta-se que o custo de estoque não está atrelado somente ao seu armazenamento/manutenção, mas também aos custos de pedido e capital de giro (DURLINGER, 2015). Hoppe (2008) estabelece que o CSL pode ser definido com base em diferentes critérios, que dependem do objetivo da empresa – a Figura 20 apresenta estes critérios, assim como a respectiva fórmula de cálculo do CSL para cada um deles.

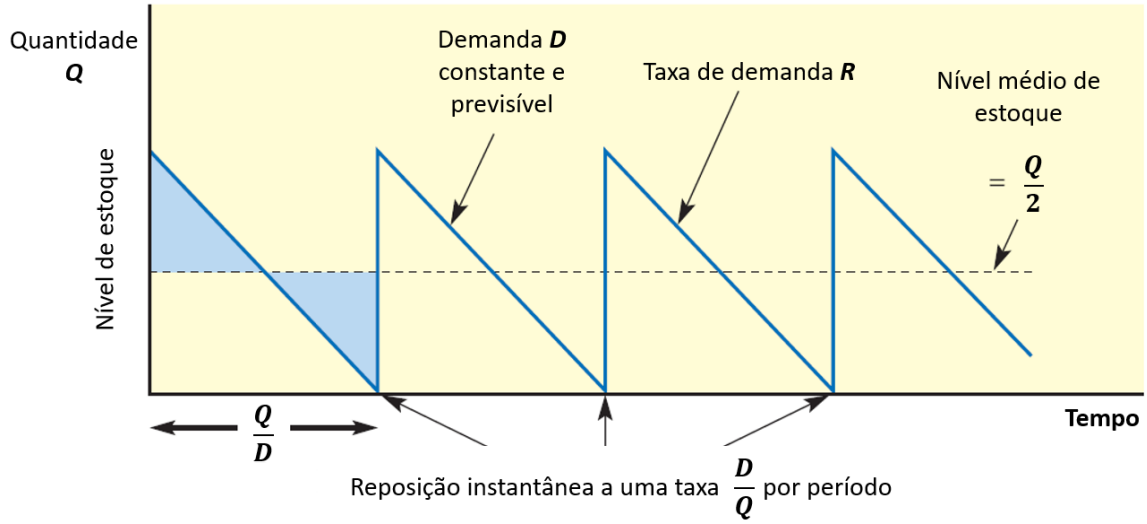
Figura 20 - Critérios para o nível de serviço

| Critério | Fórmula do nível de serviço (CSL) |
|---|---|
| Atendimento ao prazo de entrega | quantidades entregues no prazo / quantidade total da demanda |
| Falta de estoque | quantidades entregues / quantidade total da demanda |
| Frequência da falta de estoque | número de pedidos entregues / quantidade total de pedidos de clientes |
| Frequência da falta de estoque | número de itens entregues do pedido / quantidade total de itens do pedido |
| Perda de venda | valor dos itens entregues no prazo / valor da demanda |
| Período impactado pela falta de estoque | número de dias sem estoque / número total de dias |

Fonte: adaptado de Hoppe (2008) e Rasadanu (2016)

Para que as ações a nível tático sejam implementadas a fim de que o CSL seja obtido, é importante que se conheça o perfil de inventário. Esse perfil consiste na representação visual do comportamento do estoque em função do tempo (SLACK et al., 2013). A Figura 21 exemplifica o conceito do perfil de inventário – na qual, *Q* representa a quantidade de compra/produção e *D* indica a demanda (com *R* sendo sua respectiva taxa). Essa figura representa um cenário didático, porém difícil de ser representado em um ambiente prático e praticamente utópico se aplicado ao contexto de HMLV. Em um contexto real, mesmo que a empresa trabalhe com lotes econômicos – que pondera todos os custos envolvidos no pedido e manutenção do estoque do produto, com o objetivo de definir sua quantidade ótima de aquisição (IVANOV et al., 2017) – bem definidos para seus produtos, existem incertezas que afetam principalmente a taxa de demanda (pois a mesma deixa de ser constante e perfeitamente previsível) e o *lead time* de reposição (que além de ser instantâneo passa a sofrer com variações).

Figura 21 – Perfil de inventário

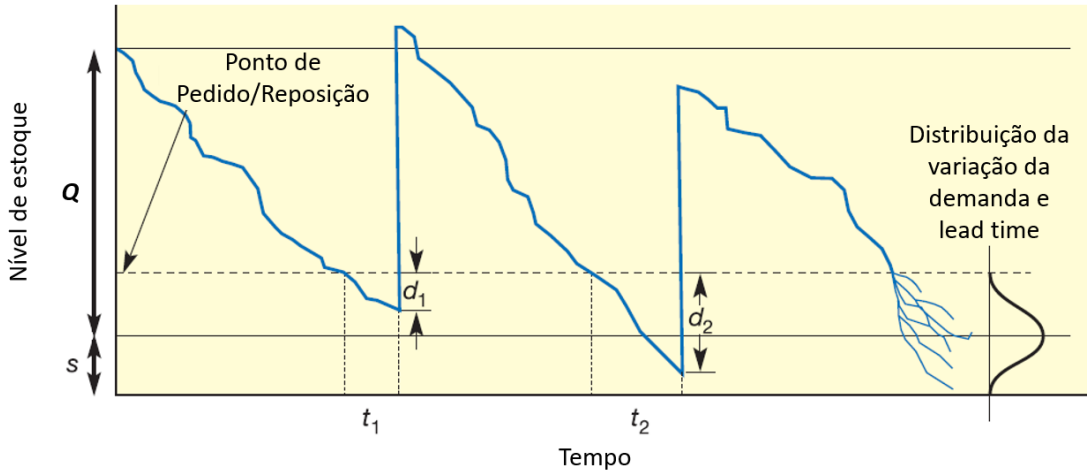



Fonte: adaptado de Slack et al. (2013)

Para que essas incertezas não comprometam o CSL desejado, existem técnicas para que as mesmas sejam absorvidas dentro da operação – duas delas, estipuladas a um nível tático dentro das organizações, merecem destaque: o estoque de segurança e as políticas de inventário. (IVANOV et al., 2017). Em relação ao estoque de segurança, a principal consideração para defini-lo não está relacionada ao nível médio de inventário esperado quando o pedido de reposição é entregue, mas sim à probabilidade de que o estoque não tenha se esgotado antes de que essa reposição tenha sido realizada – essa probabilidade incorpora as distribuições que descrevem a variação da taxa de demanda durante o *lead time,* bem como a variação do próprio *lead time* (SLACK et al., 2013) e que podem estar mais atreladas tanto à demanda histórica

quanto à demanda futura, dependendo do contexto de mercado do produto (RADASANU, 2016). Os métodos para chegar à definição do estoque de segurança podem variar – apesar da prática mais comum estar relacionada a um fator de segurança baseado em determinado número de desvios-padrões que correspondem ao nível de serviço esperado (detalhes em IVANOV et al., 2017; RADASANU, 2016; TEUNTER et al., 2010; CONCEIÇÃO, 2015; CROSTON 1972), alguns autores como Brunaud et al. (2018), Buxey (2006), Bai (2005) abordam esse conceito através de diferentes técnicas (por exemplo: programação não linear inteira mista para reagir ao efeito *risk pooling*; fatores de segurança dinâmicos com base na importância do item para o inventário ou ponderados de acordo com sua respectiva política de reposição). Strijbosch (2011) destaca que demandas não estacionárias afetam drasticamente a definição do estoque de segurança, onde uma maior quantidade pode ser requerida para que o CSL seja mantido. A Figura 22 mostra o impacto do estoque de segurança na absorção da incerteza da demanda e/ou *lead time*. Radasanu (2016) observa que o nível de inventário não deve deixar de ser monitorado uma vez o estoque de segurança definido – pelo contrário, o mesmo deve ser constantemente revisto para analisar se o perfil de inventário está se comportando conforme o esperado. Essa revisão pode ser contínua ou periódica, traduzindo-se na política de inventário para a operação (SLACK et al, 2013).

Figura 22 – Estoque de segurança como ferramenta para absorver a incerteza da demanda e/ou lead time




Fonte: adaptado de Slack et al. (2013)

As políticas de inventário mais abordadas na literatura são: (*r, Q*) para revisões contínuas e (*s, S*) para revisões periódicas. (BRUNAUD et al., 2018; CONCEIÇÃO et al., 2015; TEUNTER et al., 2010). A política (*r, Q*) estabelece que um pedido de quantidade *Q* deve ser colocado toda vez que o inventário atinge o nível *r*, estando esse método normalmente associado a tamanhos ótimos para a quantidade *Q* (ROSA et al., 2020). Já a política (*s, S*) determina que a revisão seja feita em intervalos ótimos de tempo, em que o estoque máximo é

fixo, porém a quantidade *Q* é variável (ROSA et al., 2020). Existem diversas ramificações dessas políticas, que normalmente são adaptadas para o contexto e características de suas operações – essas modificações podem ser relacionadas tanto a forma de calcular a quantidade *Q* ou os períodos de revisão ótimos. Ivanov et al. (2017) propõem modelos estáticos e dinâmicos para estes parâmetros; Bai (2005) realiza ajustes empíricos para a obtenção de um lote econômico ótimo e reflete esses parâmetros em uma política (*r, Q*) revisada, como também estarem atreladas a diferentes métodos de revisão. Conceição et al. (2015) e Wanke (2012) recomendam a política (*S*, *S-1*) para itens essenciais para a operação e com longos *lead times,* em que uma quantidade unitária é adquirida sempre que uma quantidade é consumida do estoque, para recompor o nível máximo de estoque. Porras (2008) e Eaves (2002) destacam a política (*S-1, S*) – também conhecida como (Basestock), em que cada demanda faz com que um pedido de reabastecimento seja feito imediatamente, ou seja, a posição de inventário se mantém constante durante todo o período – para itens de demanda lenta, pois, a mesma incorpora a distribuição de Poisson em seus parâmetros. Yang et al. (2017) indica a importância de as políticas de inventário estarem em sinergia com sua respectiva classificação dos SKUs (tema abordado no início dessa subseção) – os mesmos aplicam um modelo que integra esses parâmetros e que resulta, em média, em 7.5% de melhoria na lucratividade da gestão de inventário sem que o desempenho do CSL piore.

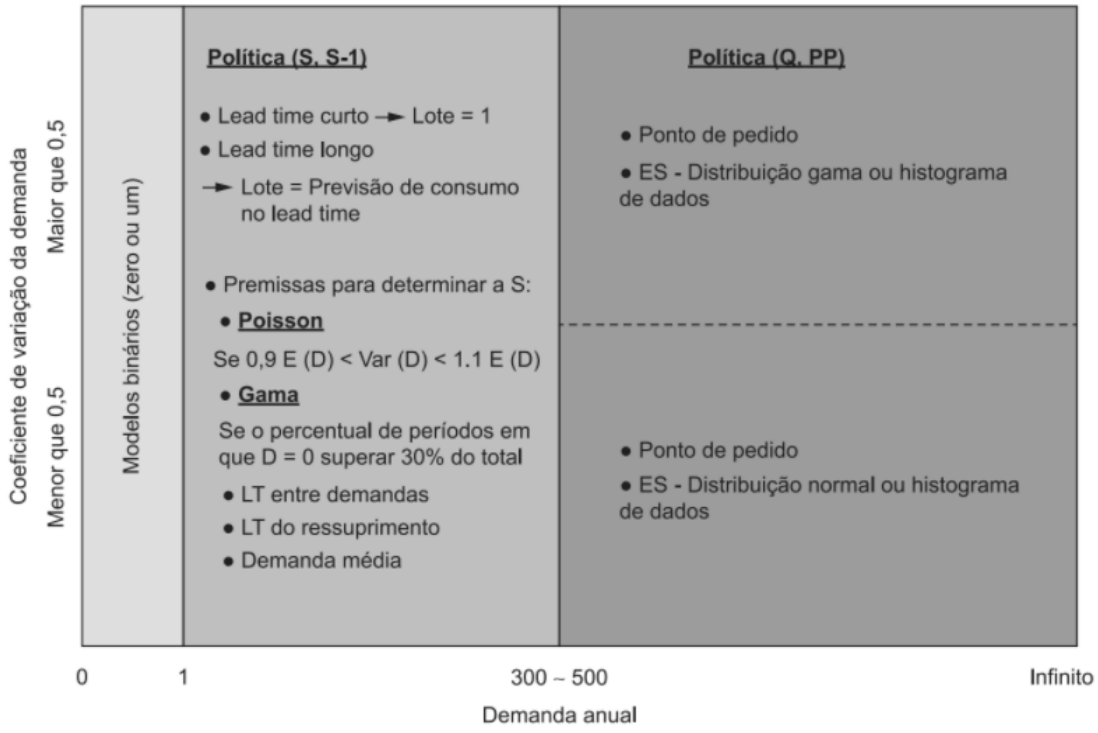
### 2.2.3 Abordagem holística para gestão de demanda e de inventário

Alguns autores buscaram entregar uma abordagem holística para a gestão de demanda e de inventário. Dentro do ambiente de HMLV destacam-se Conceição et al. (2015) e Wanke (2012). Conceição et al. (2015) destacam-se pelo modo de abordagem para atacar o problema de gestão de inventário de peças de reposição. Os autores utilizaram uma metodologia que consiste em cinco passos: desenvolvimento do modelo de previsão de demanda, incorporando diferentes distribuições com base nas característica de cada item; definição de políticas de inventário, considerando inicialmente os métodos de classificação para então definir a política de revisão; desenvolvimento de diferentes modelos para absorver a incerteza do *lead time*, relacionando suas características com a definição de lotes econômicos e estoques de segurança; avaliação dos modelos de inventário, considerando tanto indicadores de custo total quanto de nível de serviço; simulação dos modelos para a comparação dos resultados.

Já Wanke (2012) se destaca pelo *framework* para a gestão de estoques, com base em uma segmentação de dois indicadores: demanda anual, dividida em três categorias – baixíssimo volume para menos de um item por ano, baixo volume para 300-500 itens por ano e alto volume

para demanda anual acima de 500 itens – e coeficiente de variação da demanda, dividido em duas categorias – alta incerteza (coeficiente maior que 0,5) e baixa incerteza (coeficiente menor que 0,5). De acordo com esses parâmetros, o *framework* indica as funções de distribuição de probabilidade de maior aderência e o respectivo modelo de gestão mais adequado para cada quadrante. A Figura 23 apresenta esse quadro conceitual.

Figura 23 – Quadro conceitual para Gestão de Estoque

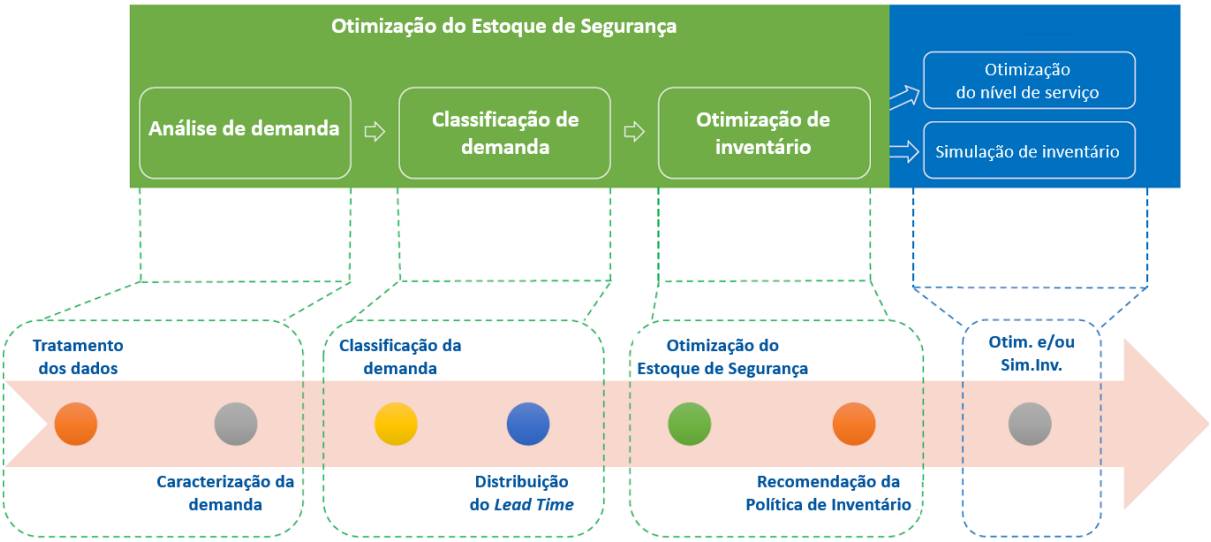



Fonte: Wanke (2012)

Como complemento ao contexto explorado no capítulo de introdução a respeito do aumento da competitividade entre as empresas e o foco das mesmas em potencializar seus resultados operacionais e, sabendo que parte desse processo passa pela melhor gestão de inventário, enxergando esse tema de uma forma estratégica afim de trazer vantagem competitiva, conforme mencionado no início dessa subseção, as organizações necessitam de soluções cada vez mais robustas para superar seus desafios de sistematização, seja através de serviços de consultoria ou mesmo pela venda de softwares como serviço (também conhecido como SaaS, do inglês *Software as a Service*). Dentre as soluções ofertadas, destaca-se o software Supply Chain Guru ®, oferecido pela Coupa Software Inc. Esse sistema oferece uma abordagem holística para variados problemas, em linha com o conceito da cadeia de suprimentos, sendo capaz de trabalhar com diversos cenários, incluindo HMLV. A Figura 24 traz uma abordagem macro do processo seguido pelo software no que tange às áreas de demanda e inventário. Observa-se que o mesmo segue os passos abordados na revisão da

literatura desta pesquisa, tratando o tema de gestão de demanda e gestão de inventário dentro de um mesmo método.

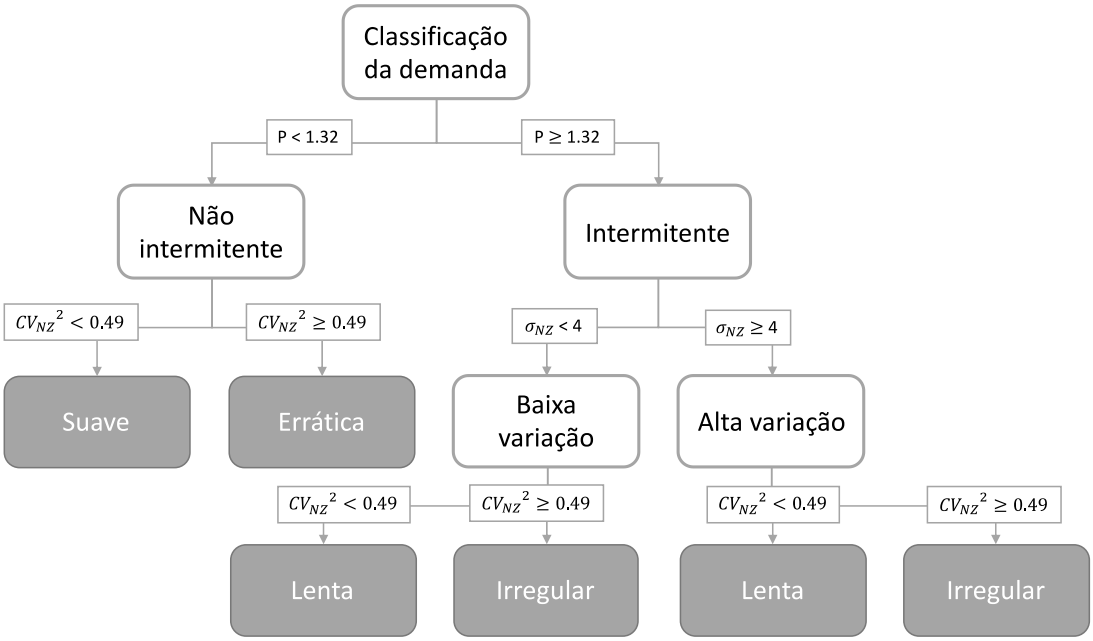
Figura 24 – Visão geral da técnica aplicada pelo Supply Chain Guru ®




Fonte: 2022 Coupa Software Inc. - Supply Chain Guru ®

A classificação da demanda é definida considerando os parâmetros do coeficiente de variação (CV), intervalo com demanda zero entre pedidos (p) e desvio padrão (σ), estabelecendo o tipo de demanda como intermitente ou não-intermitente, com baixa ou alta variação, podendo ser suave, errática, lenta e irregular – esse processo de classificação é apresentado pela Figura 25.

Figura 25 – Fluxo de classificação de demanda




Fonte: 2022 Coupa Software Inc - Supply Chain Guru ®

A distribuição do *lead time* da demanda é definida de acordo com a classificação da demanda – sendo as distribuições gama ou binomial negativa utilizadas para demandas erráticas ou com intermitência.

Figura 26 – Classificação de demanda x distribuição do *lead time*

| Tipo de Demanda | Distribuição do *lead time.* |
|---|---|
| Suave | Normal |
| Errático | Gama |
| Lento-Baixa Variação | Gama |
| Lento-Alta Variação | Gama |
| Irregular | Binomial Negativa |

Fonte: 2022 Coupa Software Inc - Supply Chain Guru ®

Por fim, juntamente com a otimização dos estoques de segurança, a política de inventário é definida para cada tipo de demanda – variando entre políticas de revisão contínua e periódica.

Figura 27 – Políticas de inventário com base na classificação de demanda

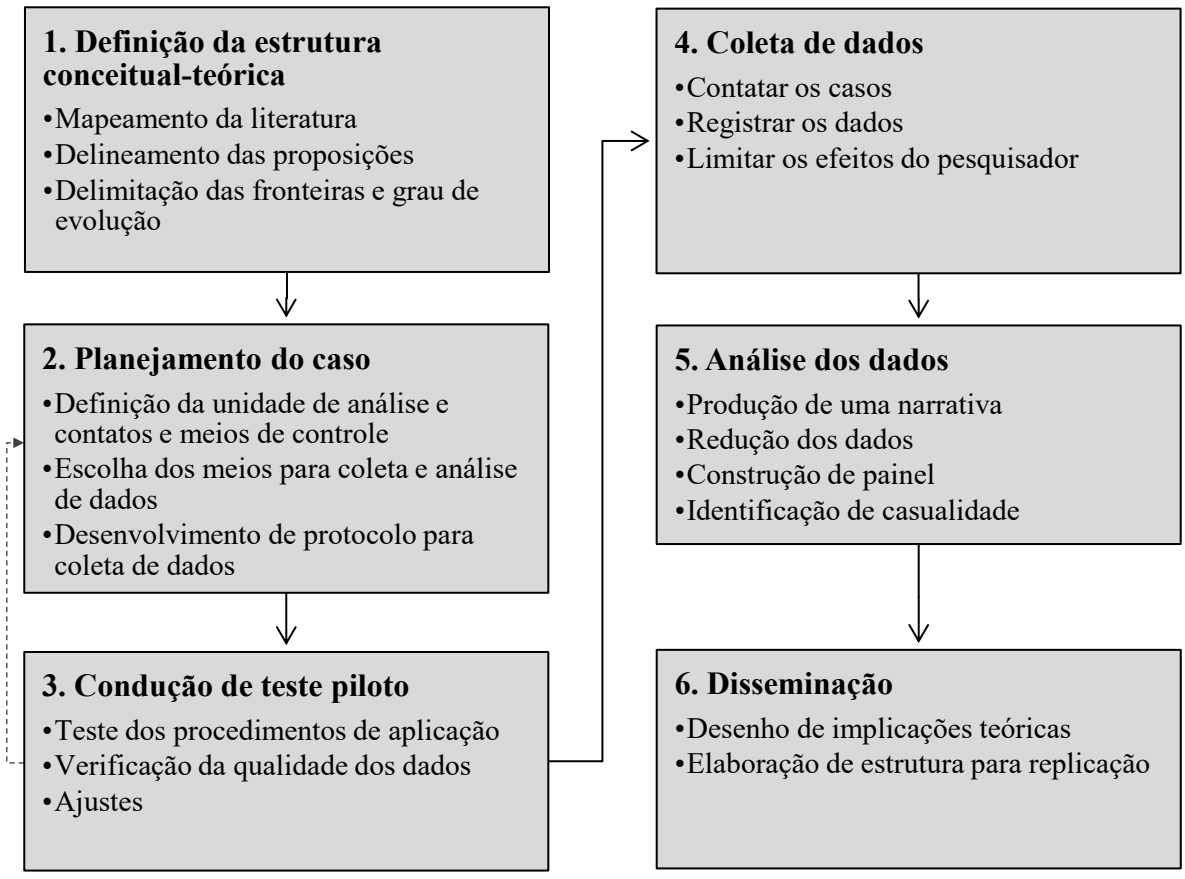
| Tipo de demanda | Política de inventário |
|---|---|
| Suave | R, Q |
| Errática | s, S |
| Lenta-Baixa Variação | BaseStock |
| Lenta-Alta Variação | R, Q |
| Lenta-Altíssima Variação | s, S |
| Irregular (tamanho de lote = 1) | T, S |
| Irregular (tamanho de lote > 1) | R, Q |

Fonte: 2022 Coupa Software Inc - Supply Chain Guru ®

# 3. METODOLOGIA

Uma vez que esta pesquisa possui ênfase na perspectiva da organização a ser estudada, de forma a interpretar o ambiente em que a problemática acontece, usar-se-á a abordagem qualitativa, conforme indicado por Chauchik-Miguel (2018). Em linha com esta definição, o método do estudo de caso foi escolhido como abordagem metodológica, por caracterizar-se como uma estratégia de pesquisa que foca na compreensão da dinâmica presente em cenários particulares (EISENHARDT, 1989). As etapas de condução deste estudo, indicadas na Figura 28, são baseadas nos trabalhos de Forza (2002), Croom (2005) e Sousa (2016). As etapas de definição conceitual-teórica e de planejamento do caso serão abordadas nesse capítulo; já as etapas de coleta e análise dos dados e de disseminação do conhecimento serão apresentadas no capítulo 4 – que incorpora o desenvolvimento do estudo de caso.

Figura 28 – Estágios da condução do estudo de caso



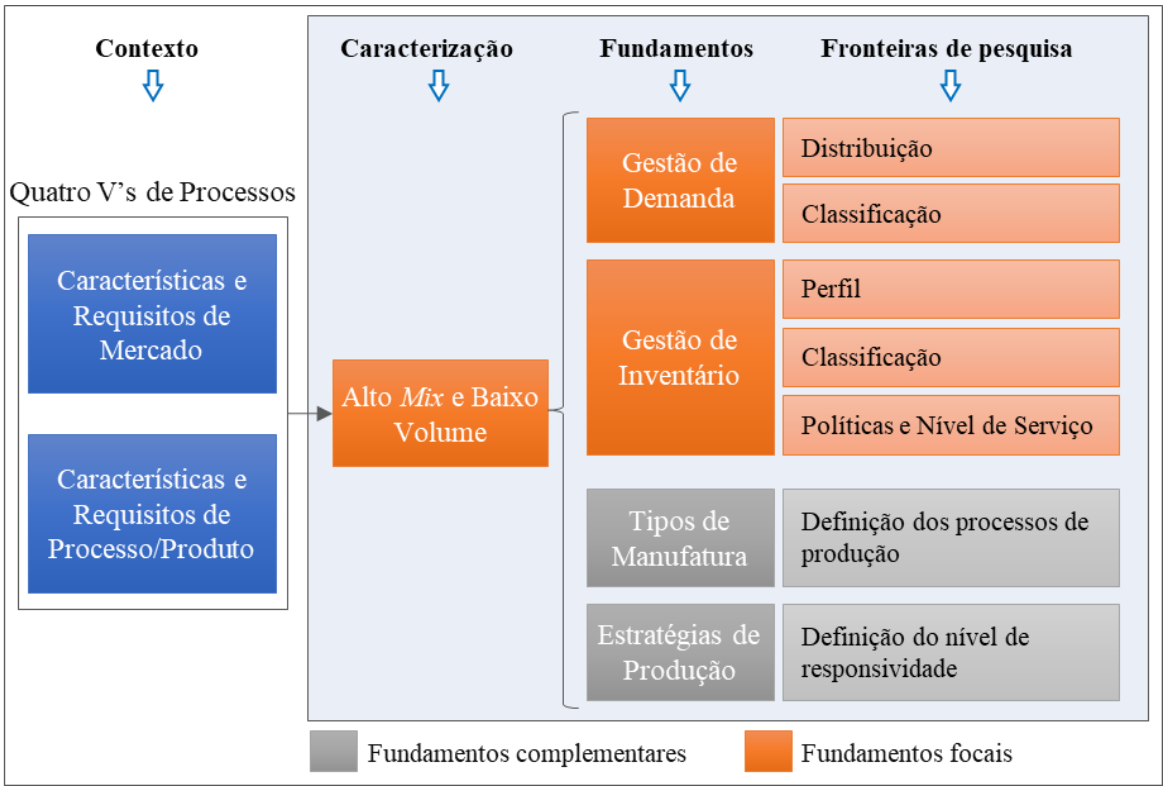

Fonte: adaptado de Chauchik-Miguel et al., 2018

## 3.1 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA CONCEITUAL-TEÓRICA

Seguindo a recomendação de Chauchik-Miguel et al. (2018), a primeira etapa da definição da estrutura conceitual-teórica constitui-se pelo mapeamento da literatura. Esse mapeamento tem por objetivo localizar o tópico de pesquisa no contexto da literatura disponível

sobre o tema (CROOM, 2005), indicando sua abrangência e mostrando como o tema em estudo é influenciado pelas fontes bibliográficas existentes. A Figura 29 apresenta um quadro teórico que ilustra os principais conceitos mapeados nesse trabalho. De forma contextual, os "Quatro Vs" de processos ajudam na caracterização de produtos inseridos no cenário industrial de alto *mix* e baixo volume. Dentro deste cenário, os fundamentos de gestão de demanda, gestão de inventário, tipos de manufatura e estratégias de produção são explorados – tendo também suas respectivas fronteiras de pesquisa definidas.

Figura 29 – Quadro conceitual do relacionamento entre os conceitos apresentados




Fonte: Autor

O Quadro 1 apresenta os filtros de busca (*strings*) utilizados para a pesquisa na base de dados ISI *Scopus* – dos quais, inicialmente, retornaram 492 resultados.

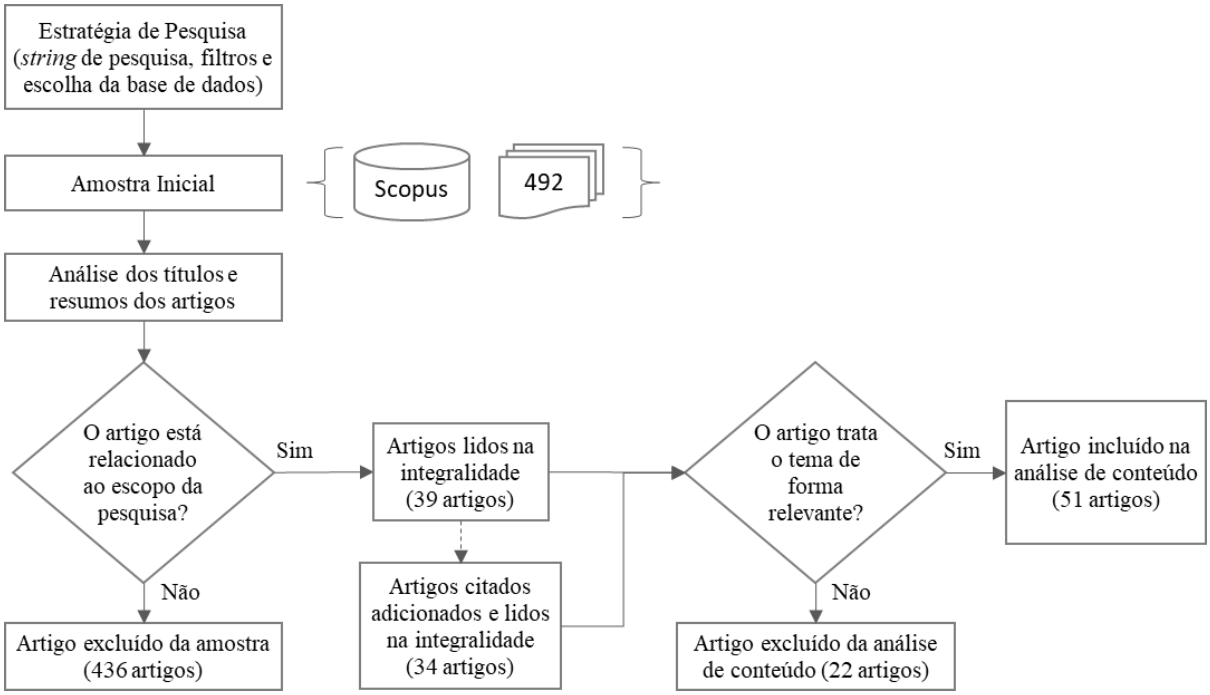
Quadro 1 – Critérios de busca utilizados

| Filtros de busca | | Campos | Nº de Resultados |
|---|---|---|---|
| Filtro 1 | "*high mix*" OU "*high variety*" E "*low volume*" | Título do artigo | 98 |
| Filtro 2 | *intermittent* OU *irregular* OU *sporadic* OU *slow* OU *slow moving* E *inventory* OU *stock* | Título do artigo | 129 |
| Filtro 3 | "*spare parts*" E *inventory* E *management* E *demand* OU *forecasting* | Título do artigo, Resumo, Palavras-chave | 265 |
| Total | | | 492 |

Fonte: Autor

Após a leitura dos títulos e resumos (*abstracts*) destes estudos, 39 permaneceram para leitura completa por estarem dentro do escopo geral da pesquisa – por apresentarem relação direta entre alto *mix* e baixo volume com a gestão de demanda ou de inventário; ou por abordarem conceitos de estratégias de produção para o cenário estudado. Concomitantemente, outros artigos citados/referenciados nesses estudos foram analisados pelo autor e 34 foram lidos em sua integralidade. Concluída esta etapa, os artigos que não se aprofundavam o suficiente dentro dos construtos buscados nessa pesquisa foram descartados para que então os 51 restantes tivessem a análise de conteúdo aprofundada realizada pelo autor. A Figura 30 apresenta o fluxograma que sintetiza processo de revisão da literatura.

Figura 30 – Fluxograma geral do processo de revisão da literatura




Fonte: Autor

O Quadro 2 sintetiza os 51 estudos que serviram de base para a elaboração da fundamentação teórica apresentada no capítulo 2, indicando o total de trabalhos por tema central e por tipo de pesquisa – o detalhamento da categorização dos temas centrais e dos tipos de pesquisa definidos pelo autor estão indicados em forma de legenda, como parte complementar ao Quadro 2. Pela natureza prática do objeto de pesquisa deste trabalho, observa-se uma concentração majoritária de estudos com caráter empírico – 67%, ante 27% de trabalhos com caráter teórico e apenas 6% com abordagem híbrida. Outro ponto importante de atenção é que, mesmo após os filtros de pesquisa realizados pelo autor, menos da metade dos estudos (41%) incorporam, de forma concomitante, a caracterização do cenário de alto *mix* e baixo volume, gestão da demanda e gestão de inventário – outrossim, apenas 4% dos que abordam os temas

de gestão de demanda ou gestão de inventário incorporam as estratégias de produção ou tipos de manufatura como parte do escopo.

Quadro 2 – Número de estudos considerados para fundamentação teórica por tema central e tipo de pesquisa

| **Tema central** | | | | | **Total de estudos** | **Tipo de Pesquisa** | | | **% de estudos por tópico focal** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **HMLV** | **GD** | **GI** | **EP** | **TM** | | **E** | **T** | **H** | |
| X | X | X | | | 21 | 17 | 2 | 2 | 41% |
| X | X | | | | 2 | 1 | 1 | | 4% |
| X | | X | X | | 1 | 1 | | | 2% |
| X | X | | X | | 1 | 1 | | | 2% |
| | X | X | | | 9 | 6 | 2 | 1 | 18% |
| | X | | | | 2 | 1 | 1 | | 4% |
| | | X | | | 3 | 1 | 2 | | 6% |
| X | | | X | X | 10 | 5 | 5 | | 20% |
| X | | | | X | 2 | 1 | 1 | | 4% |
| **Total de estudos** | | | | | **51** | **34** | **14** | **3** | **100%** |
| **% de estudos por tipo de pesquisa** | | | | | | **67%** | **27%** | **6%** | |

Legenda: Matrix de codificação de tema central e tipo de pesquisa:

| **Tema central** | |
|---|---|
| **HMLV** | Alto mix e baixo volume |
| **GD** | Gestão da Demanda |
| **GI** | Gestão de Inventário |
| **EP** | Estratégias de Produção |
| **TM** | Tipos de Manufatura |
| **Tipo de Pesquisa** | |
| **E** | Empírica |
| **T** | Teórica |
| **H** | Híbrida |

Fonte: Autor

Dentre os principais estudos que fazem parte dos resultados de pesquisa apresentados no Quadro 2, aqueles que contemplam o ambiente de alto *mix* e baixo volume tiveram seus temas específicos agrupados pelo autor em quatro categorias, sendo elas: a inter-relação entre gestão de demanda e gestão de inventário; ferramentas para o aperfeiçoamento de *forecasting* de itens com demanda lenta, intermitente errática, ou spare parts; ferramentas o para aperfeiçoamento da gestão de inventário de itens com demanda lenta, intermitente, errática, ou spare parts; ferramentas para o aperfeiçoamento e definição de estratégias de produção para HMLV. Esse agrupamento é exibido pelo Quadro 3, do qual também indica os autores dos trabalhos que se destacam dentro de cada *cluster* – servindo como um guia para o leitor.

Quadro 3 – Categorização dos principais estudos HMLV

| Tema central | Temas específicos | Autores |
|---|---|---|
| HMLV, GD, GI | Inter-relação entre gestão de demanda e gestão de inventário | TURRINI (2019)<br>CONCEIÇÃO et al. (2015)<br>WANKE (2012)<br>RAMAEKERS e JANSSENS (2008)<br>BOYLAN et al. (2006)<br>BAI (2005)<br>CROSTON (1972) |
| | Ferramentas para o aperfeiçoamento de *forecasting* de itens com demanda lenta, intermitente ou errática; ou *spare parts* | HENDRA (2019)<br>COSTANTINO et al. (2018)<br>SYNTETOS et al. (2015; 2012)<br>LENGU (2014)<br>SNYDER et al. (2012)<br>TEUNTER (2009) |
| | Ferramentas para o aperfeiçoamento da gestão de inventário de itens com demanda lenta, intermitente ou errática; ou *spare parts* | RADASANU (2016)<br>HAHN e LEUCHT (2015)<br>VAN KAMPEN et al. (2011)<br>TEUNTER et al. (2010)<br>PORRAS e DEKKER (2008) |
| HMLV, GI, EP<br>ou<br>HMLV, GD, EP | Estratégias de produção para melhoria de atendimento de pedido ou redução de lead-time | LIU et al. (2020)<br>YANG et al. (2019) |
| HMLV, EP, TM | Ferramentas para o aperfeiçoamento e definição de estratégias de produção para HMLV | KOCSI et al. (2020)<br>GODRI et al. (2019)<br>BARBOSA e AZEVEDO (2018)<br>KATIC e AGARWAL (2018)<br>HUNSCHOFSKY et al. (2016) |

Fonte: Autor

Apesar do Quadro 3 indicar um catálogo representativo de pesquisas abordando a inter-relação dos principais temas dessa pesquisa, o mesmo também evidencia a parcialidade dessa inter-relação – uma vez que os temas não são abordados de forma holística em um único estudo.

## 3.2 PLANEJAMENTO DO CASO

Este estudo de caso tem por objetivo compreender se melhores resultados operacionais (menor custo de estoque e maior nível de serviço) são obtidos em um ambiente produtivo de alto *mix* e baixo volume (até 500 peças por ano) através da proposição de um método de gestão de inventário com abordagem holística – integrando gestão de demanda e políticas de inventário. O tipo de caso possui caráter inicialmente transversal, pois investiga o passado através da coleta de dados (CHAUCHIK-MIGUEL, 2018), mas também apresenta características de longitudinalidade pela proposição de melhoria – comparando seus resultados ante aos dados históricos.

Para a escolha do caso, a Empresa A foi selecionada após o autor analisar os seguintes critérios: confirmação de que a empresa atua no ambiente produtivo pretendido; validação de que a mesma possui quota de mercado significativa, e com elevada competição; acesso aos dados necessários e garantia de que os mesmos permitem o aprofundamento indispensável para

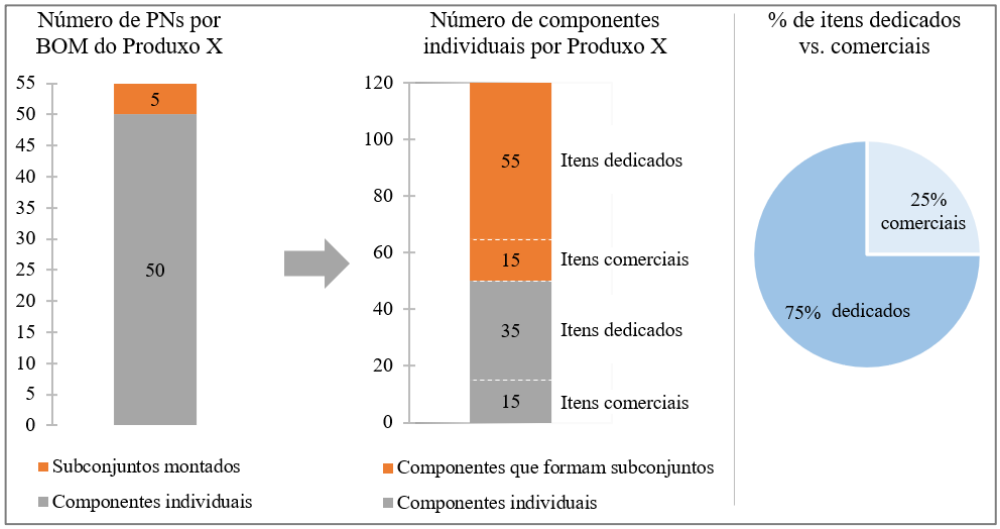
a condução do estudo. As próximas subseções apresentam detalhes da Empresa A, as características do produto escolhido para esta pesquisa e o planejamento da coleta de dados.

### 3.2.1 Empresa A, características do produto e estratégia de produção

A Empresa A é uma multinacional do setor de engenharia e manufatura, líder de mercado, com mais de 80.000 funcionários e operação global. A planta da unidade de negócios selecionada para este estudo está situada nos Estados Unidos, servindo clientes nas regiões da América do Norte e da Europa, e possuindo como carro-chefe uma linha de produtos que atende aos segmentos de mercado automotivo, transporte pesado, industrial, e linha branca. O Produto X, escolhido para esta pesquisa, constitui o principal pilar estratégico desta linha e seu ambiente produtivo é caracterizado pelo alto *mix* e baixo volume.

O Produto X é formado pela montagem de diversos componentes, a partir de um *design* modular. Seu *bill of material* (BOM) é definido pela Empresa A e varia de acordo com a necessidade do cliente, possuindo, em média, 55 *part numbers* (PNs) em sua estrutura – sendo 50 componentes individuais e 5 subconjuntos (contemplados por outros 70 componentes individuais). Desta forma, entende-se que para a montagem de uma configuração específica do Produto X, são necessários 120 componentes. Ressalta-se que 25% destes componentes são considerados como "itens comerciais" (parafusos, porcas e arruelas não customizadas), ou seja, não são itens projetados pela Empresa A e possuem alta disponibilidade dentro da cadeia de suprimentos. A Figura 31 ilustra a estrutura de composição do Produto X.

Figura 31 – Detalhes da estrutura do Produto X

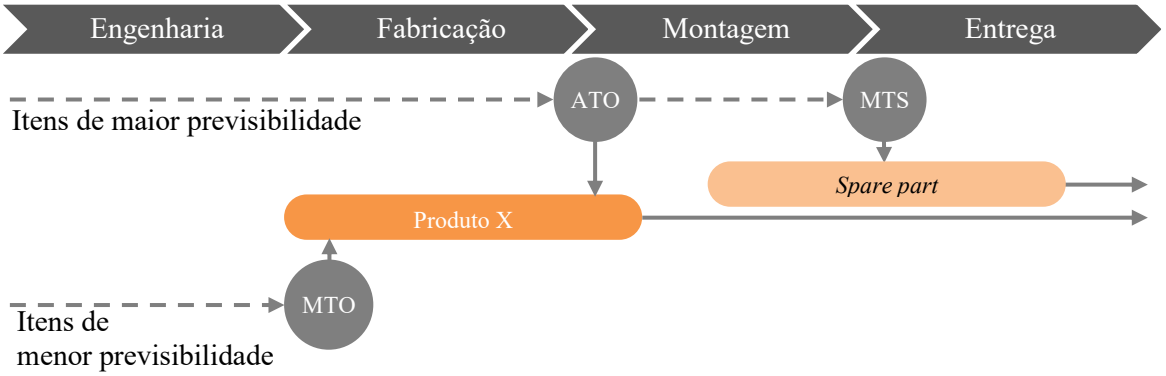



Fonte: Autor

Por conta dessa complexidade da estrutura do produto, o Produto X nunca é montado e colocado em estoque sem que haja um pedido de cliente. Para lidar com esse cenário, a Empresa A possui uma estratégia de produção híbrida, que incorpora a estratégia de fabricação sob

encomenda (MTO) para itens com baixa previsibilidade – normalmente caracterizados por manufatura em lote unitário ou de pequena quantidade e atrelados aos "itens dedicados" dos componentes individuais identificados na Figura 31 – e de montagem sob encomenda (ATO) para itens com maior previsibilidade – normalmente qualificados para manufatura em lote e relacionados aos "itens dedicados" dos componentes que formam subconjuntos. A Figura 32 ilustra como essa estratégia híbrida afeta o comportamento do ponto de penetração do pedido.

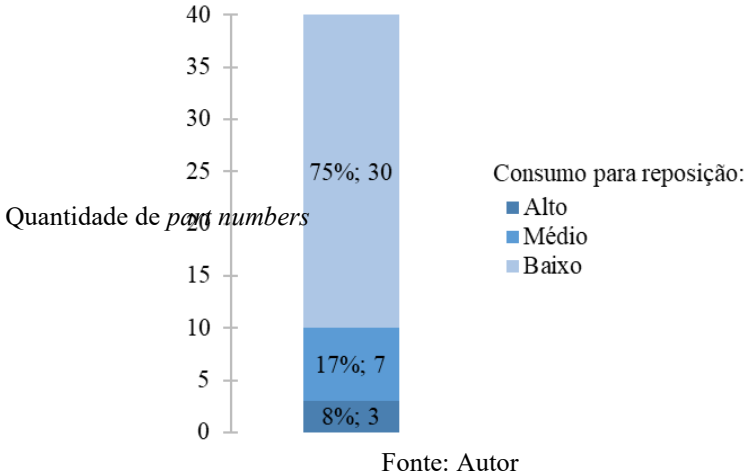
Figura 32 – Ponto de penetração do pedido do Produto X




Fonte: Autor, baseado em Atan et al., 2017

Uma característica importante do Produto X indicada na Figura 32 é que, tanto os seus componentes individuais (por serem itens de desgaste), quanto os subconjuntos montados (por serem suscetíveis a quebra por acidente ou mau uso), são vendidos também como *spare parts*. Desta forma, o volume de produção dos itens é influenciado não somente pela venda de novas quantidades do Produto X, mas também pela demanda por peças de reposição. Neste caso, como não há montagem do produto final, os itens de maior previsibilidade se enquadram dentro da estratégia de fabricação para estoque (MTS). Conforme ilustrado pela Figura 33, a Empresa A classifica os itens pertencentes ao BOM do Produto X como de alto, médio e baixo consumo de reposição – representando, respectivamente, 8%, 17% e 75% do total de peças de cada configuração. Ressalta-se que, nesta classificação, os "itens comerciais" são desconsiderados.

Figura 33 – Classificação de consumo para reposição por BOM do Produto X




Fonte: Autor

### 3.2.2 Planejamento de coleta de dados

Em linha com o objetivo holístico de análise da gestão de inventário buscado por esse trabalho, os dados necessários para a condução do estudo de caso foram divididos em categorias que incorporam aspectos tanto de gestão de demanda quanto de inventário – sendo elas: vendas, consumo de estoque (quantidade), parâmetros de estoque e serviço, e informações adicionais.

Os dados de vendas indicam as quantidades adquiridas pelos clientes, tanto do Produto X quanto dos respectivos itens de reposição. Já os dados de consumo de estoque incorporam, além das quantidades já presentes na categoria de vendas, os itens que foram consumidos apenas para fins de montagem do Produto X. Dessa forma, essa categoria é relevante, pois, além de permitir a triangularização face aos dados de venda, captura a totalidade dos itens fabricados presentes na BOM do Produto X. Os dados de parametrização de estoque e serviço apresentam, a nível de *part number*, os seguintes parâmetros estabelecidos pela Empresa A: nível de estoque de segurança, políticas de inventário, critérios para gatilho de produção, classificações ABC e XYZ. O levantamento desses dados é importante pois serve tanto para fins descritivos da operação da Empresa A, quanto para fins comparativos necessários para a etapa de desenvolvimento do estudo de caso. Por fim, a categoria de informações adicionais incorpora características do produto, da operação – custo e *lead time* – e dados de desemprenho histórico – acuracidade da previsão de demanda, níveis de inventário e serviço.

Quadro 4 – Dados coletados para a condução do estudo de caso

| Categoria | Dados a serem coletados (critério) | Instrumentos de coleta |
|---|---|---|
| **Vendas** | Quantidade vendida do Produto X | Software SAP, *dashboard* de vendas |
| | Quantidade vendida para fins de reposição | |
| **Consumo de estoque (quantidade)** | Consumo de estoque do Produto X | Software SAP, módulo PP-MRP (Material Requirements Planning) |
| | Consumo de estoque para montagem | |
| | Consumo de estoque para fins de reposição | |
| **Parametrização de estoque e serviço** | Estoque de Segurança | Software SAP, módulo de gerenciamento de estoque |
| | Critério para gatilho de produção | |
| | Política de inventário | |
| | Classificação ABC | |
| | Classificação XYZ | |
| | Nível de serviço pretendido | |
| **Informações adicionais** | Custo unitário | Software SAP, módulo de custos |
| | *Lead time* | Software SAP, módulo PP-MRP |
| | Acuracidade da previsão de demanda | Software SAP, *forecasting dashboard* |
| | Nível de inventário (custo e quantidade) | Software SAP + indicador gerencial de inventário |
| | Nível de serviço realizado | Software SAP, *dashboard* de entrega |

Fonte: Autor

Como teste-piloto, a fim de validar a acuracidade dos instrumentos de coleta, um levantamento de dados preliminar, de acordo com as categorias apontadas no Quadro 4, foi realizado considerando os seguintes parâmetros: dois meses de operação (outubro e novembro de 2017), um *part number* específico do Produto X e peças de reposição vendidas/fabricadas durante esse período. O Quadro 5 resume os principais dados coletados no teste-piloto.

Quadro 5 – Teste-piloto: dados coletados

| Critério | Dados coletados |
|---|---|
| Quantidade vendida do Produto X | 5 quantidades; 1 PN |
| Quantidade vendida para fins de reposição | 30903; 2341 PNs distintos |
| Consumo de estoque do Produto X | 5 quantidades; 1 PN |
| Consumo de estoque para fins de montagem | 187 quantidades; 38 PNs distintos |
| Consumo de estoque para fins de reposição | 30903; 2341 PNs distintos |
| Estoque de Segurança | 21169 qtds.; 2354 PNs distintos; média de 9/PN |
| Classificação ABC | A: 329 PNs; B: 820 PNs; C: 1205 PNs |
| Classificação XYZ | X: 259 PNs; Y: 732 PNs; Z: 885 PNs; N/A: 486 PNs |

Fonte: Autor

Os resultados deste teste foram analisados pelo autor e validados a nível gerencial por membros da Empresa A, sendo considerados satisfatórios. Tendo a acuracidade dos instrumentos de coleta validados, os dados categorizados no Quadro 4, sem restrições a nível de *part number* e referentes a toda a extensão temporal da pesquisa, foram coletados incorporando o período histórico de 38 meses (outubro de 2017 a novembro de 2020). O detalhamento e análise desta coleta será apresentado como parte do escopo do desenvolvimento do estudo de caso – capítulo 4 desse estudo. Em virtude dos impactos da pandemia da Covid-19 no mercado de atuação da Empresa A, dependendo do objetivo da análise, o período histórico dos dados poderá ser considerado ou apresentado em duas formas: período completo (38 meses indicados acima) ou período adaptado (24 meses, entre outubro de 2017 a setembro de 2019).

# 4. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO E MÉTODO HOLÍSTICO

Este capítulo de desenvolvimento está dividido em duas partes. A primeira, representada pela seção 4.1, se aprofunda na contextualização e análise das características de demanda do Produto X, bem como na descrição dos métodos de gestão de inventário adotados pela Empresa A – indicando também seus respectivos resultados históricos. A segunda, seção 4.2, apresenta o método holístico proposto nessa pesquisa e o aplica comparando seus resultados perante os demonstrados na seção pregressa.

## 4.1 PRODUTO X: ANÁLISE E DESEMPENHO HISTÓRICO

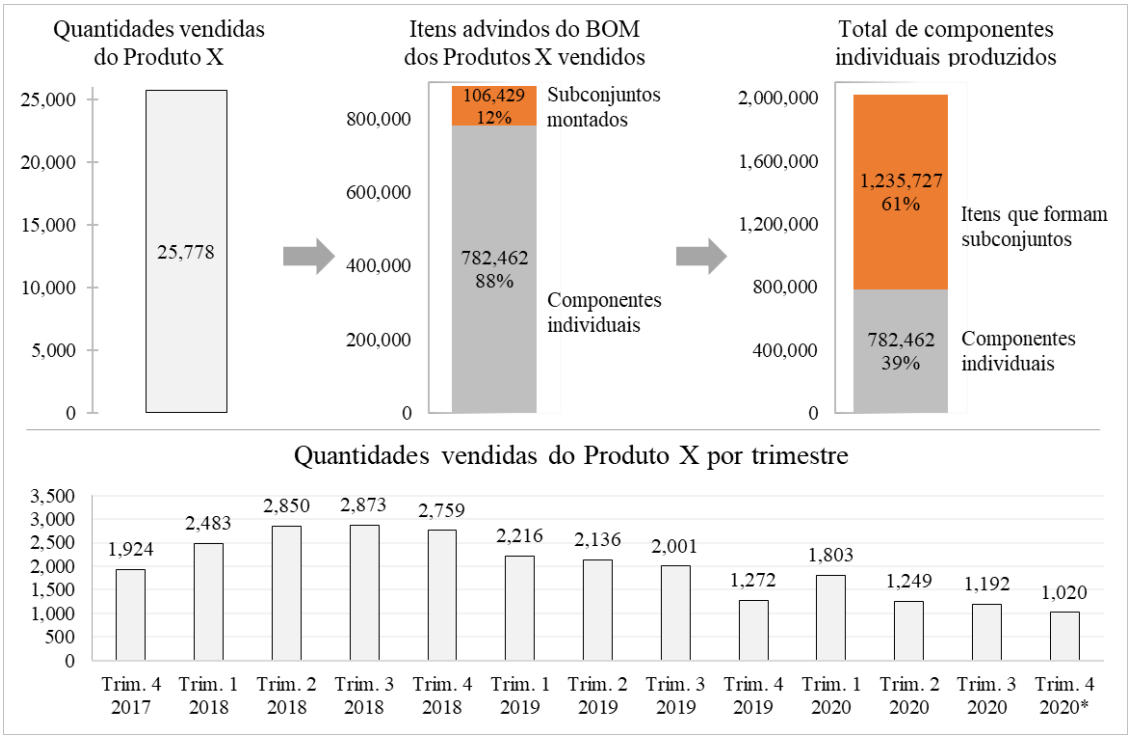
Com o objetivo de intensificar o entendimento das características de volume e variação dos itens relacionados ao Produto X, essa seção está dividida em três partes. A subseção 4.1.1 apresenta a análise do *mix* de Produtos X comercializados, com foco no comportamento da demanda tanto a nível de produto final, quanto a nível de componentes individuais/subconjuntos. A subseção 4.1.2 possui estrutura similar, mas incorpora a demanda histórica pertinente a peças de reposição e finaliza com a combinação de ambos os elementos em uma mesma análise. Por fim, a subseção 4.1.3 indica os parâmetros e métricas atualmente implementados pela Empresa A em relação a gestão de demanda e de inventário, bem como seus respectivos desempenhos históricos – detalhando como os itens são classificados, as políticas de inventário adotadas e os índices de níveis de serviço e estoque realizados.

### 4.1.1 Produto X

Durante o período de 38 meses a Empresa A montou e comercializou 25.778 quantidades do Produto X, distribuídas em 3.509 diferentes configurações – cada uma com um *part number* específico, caracterizando uma média de aproximadamente sete quantidades vendidas por configuração. Advindos do BOM destes 25.778 produtos, e desconsiderando os itens comerciais (indicados na subseção 3.2.1 desse trabalho), foram produzidos 888.891 itens – sendo 106.429 (12%) subconjuntos montados e 782.462 (88%) componentes individuais. Ressalta-se que para a montagem desses subconjuntos foi necessária a fabricação de 1.235.727 componentes – desta forma, o total de peças produzidas pela Empresa A no período foi de 2.018.189 unidades. Por essa ótica, 61% dos itens produzidos pertencem a subconjuntos, e 39% são itens individuais montados diretamente no momento da configuração final do Produto X. A Figura 34, além de ilustrar esse panorama, apresenta a distribuição de venda por trimestre do Produto X. É importante destacar os dois momentos de queda acentuada de volume de vendas; inicialmente entre o primeiro e o terceiro trimestre de 2019 por conta da desaceleração do

mercado – principalmente do segmento automotivo – e, subsequentemente, a partir do quarto trimestre de 2019 em virtude do contexto da pandemia da Covid-19 – que impactou negativamente o setor produtivo dos principais segmentos atendidos pelo Produto X. Em relação ao quarto trimestre de 2020, apenas os meses de outubro e novembro foram computados.

Figura 34 – Histórico de vendas do Produto X e fabricação de seus componentes



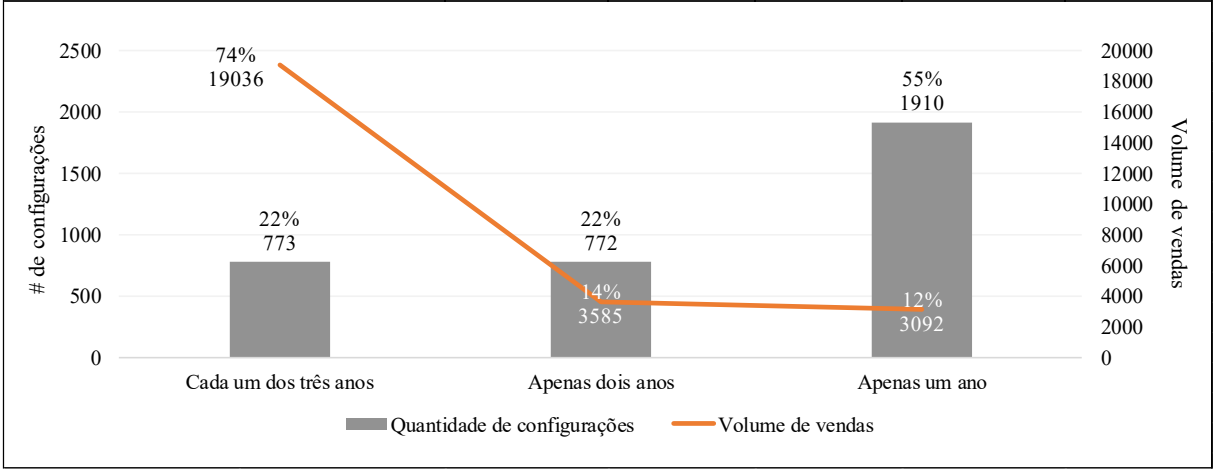

Fonte: Autor

Além do entendimento do volume de Produtos X montados e vendidos, é igualmente importante a compreensão da extensão, consistência e distribuição de seu *mix* – representado por suas diferentes configurações. Em termos práticos, apesar da média do volume vendido por configuração do Produto X ser conhecida (aproximadamente 7 quantidades), é necessário saber a variação do comportamento de seu *mix*. Para ajudar nesse entendimento, uma análise considerando períodos anualizados de intervalo de tempo foi realizada, dividindo os dados coletados em três períodos; sendo o primeiro, o segundo e o terceiro ano, respectivamente representados pelos intervalos de outubro de 2017 a setembro de 2018, outubro de 2018 a setembro de 2019 e outubro de 2019 a setembro de 2020 – para facilitar a análise, os dados de outubro e novembro de 2020 foram desconsiderados. Sob essa ótica, a Figura 35 indica que há uma alta variabilidade no *mix* de configurações do Produto X, uma vez que somente 22% das configurações produzidas durante os três períodos citados acima tiveram vendas registradas em cada um dos três anos, outros 22% em somente dois anos e o restante em apenas um. Por outro lado, o impacto destas configurações no volume de produtos vendidos caracteriza um

comportamento alinhado ao princípio de Pareto – quase três quartos do volume total comercializado do Produto X é representado por configurações que tiveram vendas repetidas em cada um dos três anos.

Figura 35 – Histórico anualizado, *mix* e volume do Produto X

| Período | | Mix e volume | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Venda realizada em | | Número de configurações | Volume de vendas | Qtd. por configuração | % do total de configurações | % do volume vendido |
| Cada um dos três anos | Três dos três anos | 773 | 19036 | 25 | 22.4% | 74% |
| Apenas dois anos | Primeiro e segundo | 358 | 1789 | 5 | 10% | 7% |
| | Primeiro e terceiro | 205 | 866 | 4 | 6% | 3% |
| | Segundo e terceiro | 209 | 930 | 4 | 6% | 4% |
| | Dois dos três anos | 772 | 3585 | 5 | 22.3% | 14% |
| Apenas um ano | Somente primeiro | 698 | 1015 | 1 | 20% | 4% |
| | Somente segundo | 640 | 1176 | 2 | 19% | 5% |
| | Somente terceiro | 572 | 901 | 2 | 17% | 4% |
| | Um dos três anos | 1910 | 3092 | 2 | 55.3% | 12% |
| **Total por período** | | **3455** | **25713** | **7** | **100%** | **100%** |




Fonte: Autor

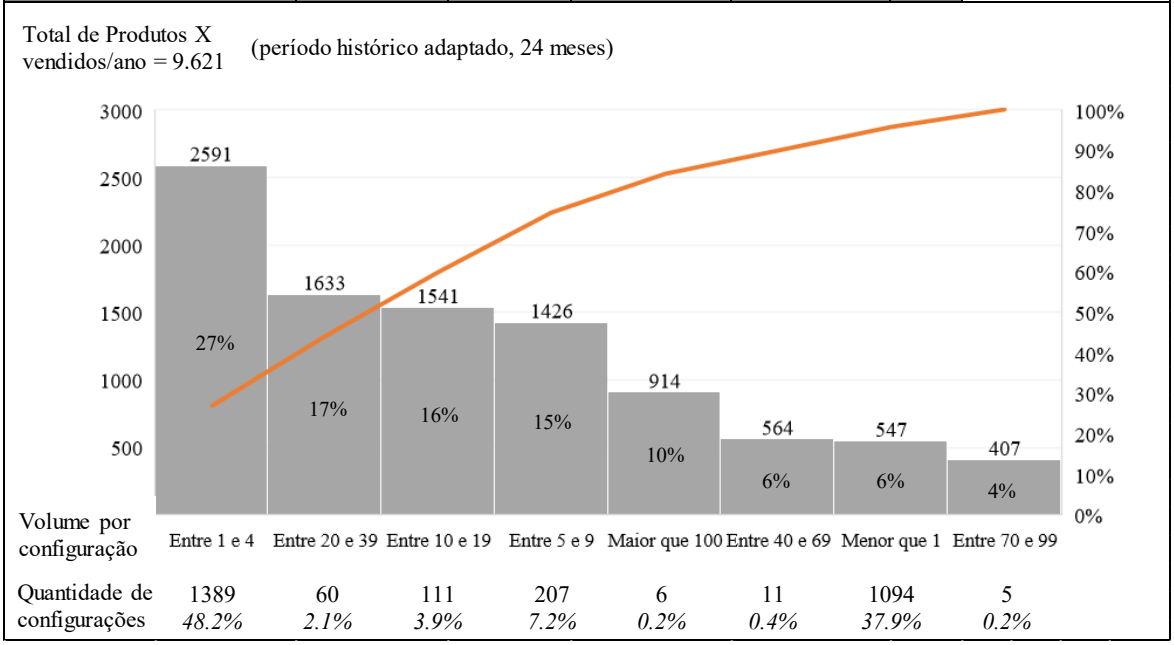
Em complemento ao entendimento do *mix* do Produto X, as Figuras 36 e 37 apresentam análises detalhadas de sua frequência anual de venda por *part number*. Destaca-se que a diferença entre as figuras está em seu período histórico; a primeira engloba o período adaptado de 24 meses – do qual não incorpora os impactos da pandemia da Covid-19 – e a segunda abrange o período completo de 38 meses de dados coletados. Essa distinção agrega valor à análise pois ajuda não somente a compreender em detalhes o ambiente comercial considerado "normal" do *mix* do Produto X, como também a enxergar a quão exposta a Empresa A pode estar diante de um cenário que impõe limitações significativas aos negócios em termos do volume de operações dos seus atuais clientes.

A Figura 36 mostra que 10% do volume de vendas é representado por uma quantidade extremamente baixa de configurações com frequência de vendas anual igual ou superior a 100 unidades (6 configurações; 0.2% do total). O mesmo impacto no volume de vendas é demonstrado pelas categorias que se enquadram em uma frequência anual entre 40 e 99

unidades por *part number* (sendo somente 0.6% do *mix*). Os produtos com frequência de vendas entre 20 e 39 quantidades também possuem pouca representatividade em relação ao *mix* (2% do total), porém, com impacto mais significativo (17%) sob o volume de vendas. Já os 318 *part numbers* que retratam os produtos com frequência de venda entre 5 e 19 quantidades, possuem influência relevante tanto sob o *mix* de configurações (11%) quanto, principalmente, em relação ao volume total de vendas (31%). A categoria que engloba itens com frequência de venda anual de 1 a 4 unidades por configuração se destaca pelo alto impacto no *mix* de produtos (48%, representados por quase 1.400 *part numbers*), além de resultar em 27% do volume de vendas. Por fim, produtos com venda anual inferior a uma unidade também constituem elevado impacto no *mix* de produtos (38%), mas com baixa implicação no volume de vendas (6%). Desta forma, a análise apresentada pela Figura 36 reforça e potencializa a relevância do *mix* do Produto X – ante introduzida pela Figura 35 – uma vez que a predominância do volume comercializado se dá por *part numbers* situados no espectro inferior de suas respectivas frequências de vendas.

Figura 36 – Análise detalhada do *mix* do Produto X, período adaptado

| Período histórico adaptado, 24 meses | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frequência anual vendida por configuração | | Número de configurações | Média de vendas/ano | Qtd. média por configuração | % do total de configurações | % do volume vendido | | | | |
| Igual ou maior que 100 | | 6 | 914 | 152 | 0.2% | 10% | 37% | 67% | 94% | 100% |
| Entre 40 e 99 | Entre 70 e 99 | 5 | 407 | 81 | 0.2% | 4% | | | | |
| | Entre 40 e 69 | 11 | 564 | 51 | 0.4% | 6% | | | | |
| | Entre 40 e 99 | 16 | 971 | 61 | 0.6% | 10% | | | | |
| Entre 20 e 39 | | 60 | 1633 | 27 | 2% | 17% | | | | |
| Entre 5 e 19 | Entre 10 e 19 | 111 | 1541 | 14 | 4% | 16% | | | | |
| | Entre 5 e 9 | 207 | 1426 | 7 | 7% | 15% | | | | |
| | Entre 5 e 19 | 318 | 2966 | 9 | 11% | 31% | | | | |
| Entre 1 e 4 | | 1389 | 2591 | 2 | 48% | 27% | | | | |
| Menor que 1 | | 1094 | 547 | 1 | 38% | 6% | | | | |
| **Total** | | **2883** | **9621** | **3** | **100%** | **100%** | | | | |

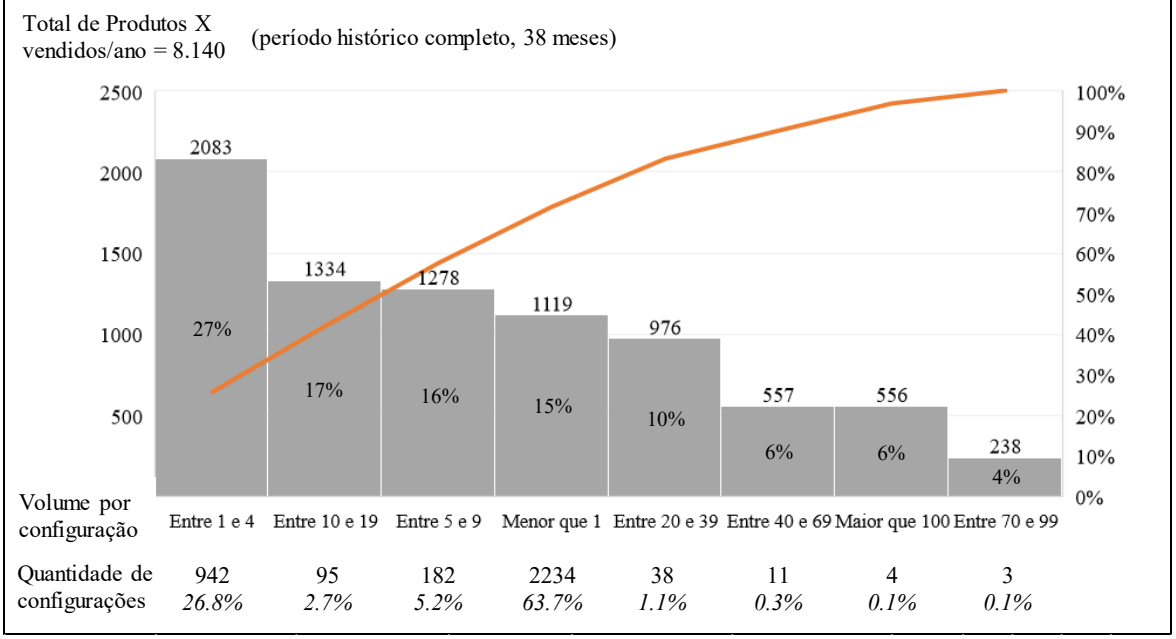



Fonte: Autor

A Figura 37 incorpora o período completo de 38 meses na análise de *mix* e, portanto, engloba o período de redução de demanda originado pelo impacto da Covid-19. Observa-se que o panorama geral da distribuição das frequências de vendas entre as diferentes configurações do Produto X possui comportamento similar ao da Figura 36, porém, há importantes ressalvas a serem destacadas. Ao ponto em que a média de vendas anual foi reduzida em 15%, a influência do *mix* de configurações se tornou maior – fato esse evidenciado ao observar que, enquanto os itens com frequência de venda igual ou maior a 100 unidades foram diminuídos nos parâmetros tanto de proporção do seu *mix* quanto de impacto no volume total de vendas, a contribuição dos produtos situados no espectro oposto (baixa frequência anual por *part number*) foi potencializada nestes mesmos parâmetros; destaca-se, além de novas configurações, muitos destes produtos estavam posicionados na metade do espectro (frequência entre 20 e 39) no período pré-pandemia e migraram para categorias de frequência inferior devido à diminuição da demanda.

Figura 37 – Análise detalhada do *mix* do Produto X, período completo

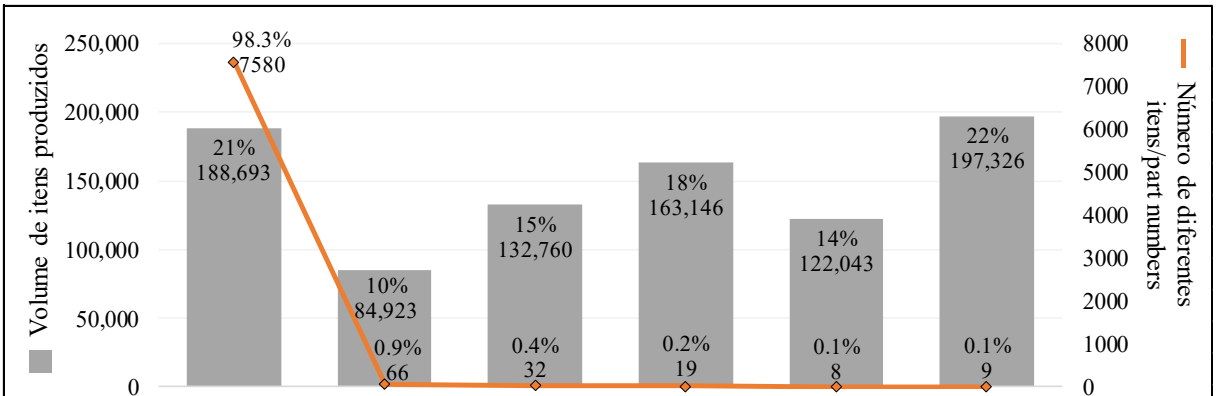
| Período histórico completo, 38 meses | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frequência anual vendida por configuração | | Número de configurações | Média de vendas/ano | Qtd. média por configuração | % do total de configurações | % do volume vendido | | | | |
| Igual ou maior que 100 | | 4 | 556 | 139 | 0.1% | 7% | 29% | 61% | 86% | 100% |
| Entre 40 e 99 | Entre 70 e 99 | 3 | 238 | 79 | 0.1% | 3% | | | | |
| | Entre 40 e 69 | 11 | 557 | 51 | 0.3% | 7% | | | | |
| | Entre 40 e 99 | 14 | 795 | 57 | 0.4% | 10% | | | | |
| Entre 20 e 39 | | 38 | 976 | 26 | 1% | 12% | | | | |
| Entre 5 e 19 | Entre 10 e 19 | 95 | 1334 | 14 | 3% | 16% | | | | |
| | Entre 5 e 9 | 182 | 1278 | 7 | 5% | 16% | | | | |
| | Entre 5 e 19 | 277 | 2612 | 9 | 8% | 32% | | | | |
| Entre 1 e 4 | | 942 | 2083 | 2 | 27% | 26% | | | | |
| Menor que 1 | | 2234 | 1119 | 1 | 64% | 14% | | | | |
| **Total** | | **3509** | **8140** | **2** | **100%** | **100%** | | | | |




Fonte: Autor

Conforme indicado no início dessa subseção, 888.891 itens advindos do BOM de 3.509 diferentes configurações do Produto X foram fabricados para que suas respectivas 25.778 quantidades pudessem ser vendidas dentro do período completo de coleta de dados desse estudo. Desta forma, além do entendimento do *mix* de configurações do Produto X – apresentado pelas Figuras 35, 36 e 37 – também é crucial analisar como esse *mix* se traduz na perspectiva de fabricação de seus componentes individuais e subconjuntos montados, principalmente pelo fato de que o gargalo da Empresa A não está no processo de montagem do produto final, e sim na disponibilidade de seus componentes. Para compreender essa questão, os 888.891 itens foram divididos em seis grupos com base no volume de utilização. O grupo 1 incorpora *part numbers* que individualmente impactam até 3% do volume total de Produtos X vendidos, o grupo 2 acima de 3% e até 10%, o grupo 3 acima de 10% e até 25%, o grupo 4 acima de 25% e até 50%, o grupo 5 acima de 50% e até 75%, e, por fim, o grupo 6 acima de 75%. Após essa separação, foram identificados, e, em alguns casos, calculados, os seguintes parâmetros para cada grupo: a quantidade de diferentes *part numbers* e o respectivo volume de itens fabricados, a média de Produtos X montados e a média de diferentes configurações do Produto X montadas.

Figura 38 – Componentes produzidos advindos do BOM do Produto X




| Grupo de itens (% de utilização individual no total de Produtos X montados) | 1: < 3% | 2: 3.01-10% | 3: 10.01-25% | 4: 25.01-50% | 5: 50.01-75% | 6: 75% < |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Média de Produtos X montados por item | 25<br>*0,1%* | 1.287<br>*5,0%* | 4.149<br>*16,1%* | 8.587<br>*33,3%* | 15.255<br>*59,2%* | 21.925<br>*85,1%* |
| Média de diferentes configurações do Produtos X montadas por item | 4<br>*0,1%* | 205<br>*5,8%* | 560<br>*15,9%* | 1.148<br>*32,7%* | 2.078<br>*59,2%* | 2.752<br>*78,4%* |

Fonte: Autor

A partir dos dados apresentados pela Figura 38, pode-se inferir que a imensa maioria de *part numbers* necessários para a montagem das diferentes configurações do Produto X possui

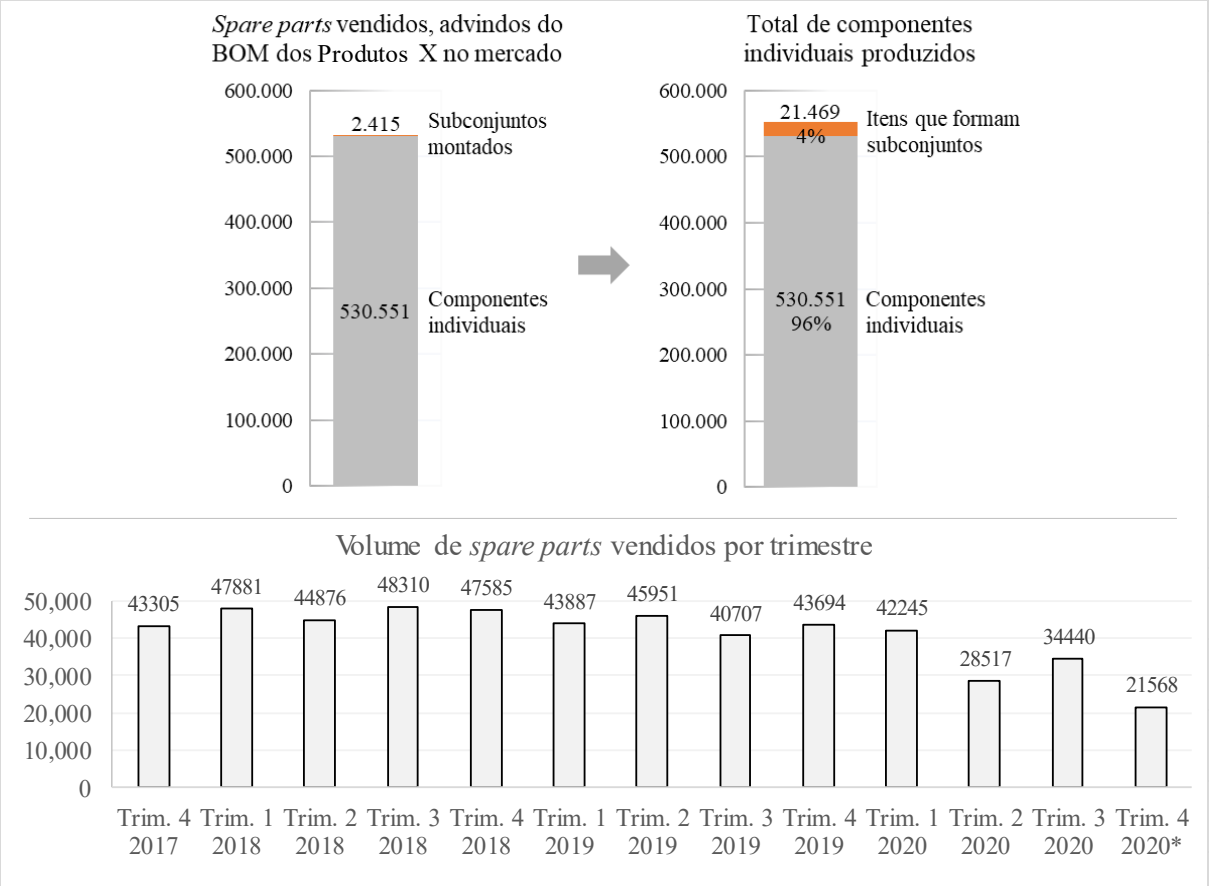
baixo volume e alta variação – uma vez que 98% dos *part numbers* pertencem ao grupo 1, ou seja, foram consumidos individualmente por menos de 3% do total de configurações do Produto X montadas no período. O *mix* desse grupo é tão elevado que, apesar da baixíssima frequência de utilização individual, seus itens são responsáveis por 21% da totalidade de peças produzidas quando analisados em conjunto. Já os demais grupos – relacionados aos aproximadamente 2% do *mix* restante – se distinguem pelo impacto no volume total de itens produzidos (variando entre 10% e 22%), e, principalmente, pela média de Produtos X em que os mesmos podem ser utilizados. Neste último ponto, destacam-se os grupos 5 e 6, pois apesar do *mix* combinado representar menos de 0.2% do total, seus itens estão, respectivamente, presentes em aproximadamente 60% e 85% dos Produtos X montados. Desta forma, observa-se que o elevado número de configurações do Produto X reflete também no grau de variação do *mix* e do volume dos itens presentes em seu BOM.

### 4.1.2 Incorporando *spare parts*

Conforme indicado no capítulo 3, para que se possa analisar todo o contexto produtivo do Produto X – bem como as políticas de inventário adotadas pela Empresa A – deve-se considerar também a fabricação de suas respectivas peças de reposição. Durante o período considerado nesse estudo, foram produzidas 532.966 peças com a finalidade de reposição, advindas do BOM de diferentes configurações do Produto X em utilização no mercado e representadas por 9.449 *part numbers* distintos – normalmente classificados como de alto, médio e baixo consumo de reposição (conforme indicado pela Figura 33). Em contraponto ao panorama apresentado na Figura 34, o cenário produtivo para *spare parts* é focado majoritariamente na produção de componentes individuais – a Figura 39 mostra que somente 2.415 subconjuntos montados (menos de 1% do montante) foram produzidos para venda como reposição. Mesmo ao considerar os itens individuais que tiveram que ser produzidos para a montagem destes subconjuntos, elevando o total de peças fabricadas para 552.020 quantidades, o panorama ainda é predominantemente focado nos componentes que não fazem parte de subconjuntos – 96% ante a 4%. Ao observar a distribuição do volume de vendas de *spare parts* por trimestre, nota-se que, em comparação ao Produto X, o mesmo foi menos afetado pela desaceleração do mercado e sofreu um impacto tardio pela pandemia da Covid-19 – uma vez que a demanda se apresenta relativamente estável até o quarto trimestre de 2019. A explicação para este fator, segundo a Empresa A, é que a venda de Produtos X está majoritariamente relacionada a novos projetos ou à expansão de projetos existentes por seus clientes – ambos casos massivamente postergados no período de início da pandemia devido à incerteza de

recuperação do mercado. Em contrapartida, a venda de *spare parts* atrela-se predominantemente a projetos correntes e com compromissos de demanda menos suscetíveis a alterações de curto ou médio prazo.

Figura 39 – Histórico de vendas e fabricação de *spare parts* do Produto X



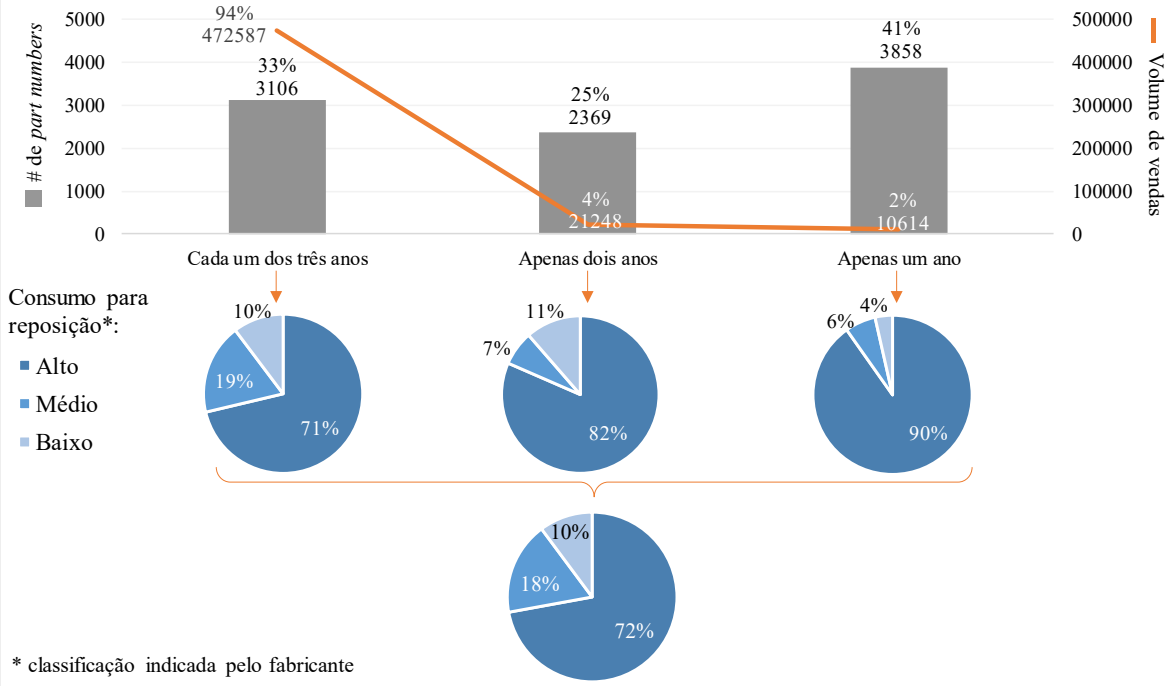

Fonte: Autor

Seguindo a linha de análise adotada na subseção 4.1.1, a Figura 40 apresenta um diagnóstico anualizado referente ao *mix* e ao volume dos *part numbers* vendidos, porém, neste caso, envolvendo as peças de reposição do Produto X. Observa-se que, apesar da frequência anual de vendas do *mix* dos *spare parts* estar mais bem distribuída em comparação ao Produto X – com 33% dos itens sendo comercializados em cada um dos três anos, ante aos 22% indicados na Figura 35 – sua predominância ainda permanece por itens com venda realizada em somente um ano. Entretanto, nota-se que o impacto do *mix* perante o volume produzido é amplamente potencializado, pois 94% do volume total de peças de reposição refere-se a itens com vendas repetidas nos três anos, ante a 74% relativo ao mesmo parâmetro para o Produto X. As causas para esta característica atrelam-se a uma combinação de fatores: a existência de três peças de reposição de alto volume (Figura 33) para cada configuração de Produto X – inferência suportada pela área inferior da Figura 40, indicando que mais de 70% da demanda das peças de reposição estão atreladas a itens indicados pela Empresa A como de alto consumo;

o fato de a vida útil do Produto X ser de no mínimo 7 anos – fazendo com que a quantidade de produtos em utilização no mercado, demandando por peças de reposição, seja significativamente maior do que o volume anual de vendas do mesmo; e a possibilidade de conversão do Produto X entre duas ou mais configurações através da troca de peças de reposição específicas, incluindo as de alto volume.

Figura 40 – Histórico anualizado, *mix* e volume de *spare parts* do Produto X

| **Período** | | **Mix e volume** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Venda realizada em | | Quantidade de *part numbers* | Volume de vendas | Volume médio por *part number* | % do total de *part numbers* | % do volume vendido |
| Cada um dos três anos | Três dos três anos | 3106 | 472587 | 152 | 33.3% | 94% |
| Apenas dois anos | Primeiro e segundo | 1048 | 9544 | 9 | 11% | 2% |
| | Primeiro e terceiro | 535 | 3612 | 7 | 6% | 1% |
| | Segundo e terceiro | 786 | 8092 | 10 | 8% | 2% |
| | Dois dos três anos | 2369 | 21248 | 9 | 25.4% | 4% |
| Apenas um ano | Somente primeiro | 1513 | 3957 | 3 | 16% | 1% |
| | Somente segundo | 1223 | 3169 | 3 | 13% | 1% |
| | Somente terceiro | 1122 | 3488 | 3 | 12% | 1% |
| | Um dos três anos | 3858 | 10614 | 3 | 41.3% | 2% |
| **Total por período** | | **9333** | **504449** | **54** | **100%** | **100%** |



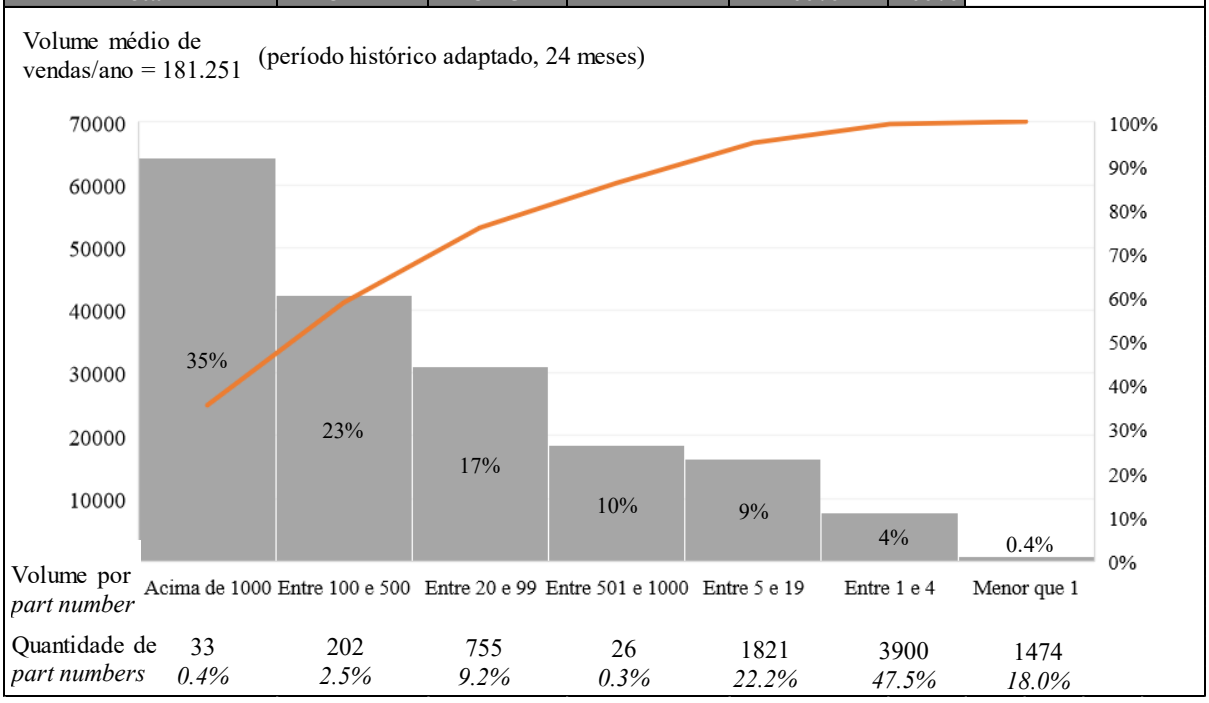

Fonte: Autor

Para complementar a análise do *mix* das peças de reposição do Produto X, as Figuras 41 e 42 categorizam os *part numbers* por sua a frequência/volume anual de vendas – sendo que a primeira aborda o período de 24 meses pré-pandemia e a segunda incorpora o período histórico completo (38 meses). As mesmas servem como um comparativo em relação às Figuras 36 e 37 para o entendimento das similaridades, ou diferenças, entre as características de demanda das peças de reposição e do produto montado.

A Figura 41 mostra que cerca de 3% do *mix* de *part numbers* (frequência anual acima de 100) foi responsável por 69% de todo o volume – comportamento distinto se comparado à demanda do produto montado, do qual 3% do *mix* equivale a menos de 40% do total produzido. A maior parte do volume restante é composta por itens com venda anual entre 5 e 99 quantidades, sendo estes encarregados por 26% do volume e aproximadamente 30% do *mix*, caracterizando a faixa mais equilibrada do espectro. Já os itens de menor demanda – consumo anual inferior a 5 quantidades – constituem os, aproximadamente, 5% do volume total e 65% do *mix* restantes. Dessa forma, a análise apresentada pela Figura 41 indica que a relação entre *mix* e volume para as peças de reposição é diversa, com predominância – sob a ótica do *mix* – por itens de baixo ou baixíssimo volume. Este panorama representa um grande desafio para a Empresa A, pois os itens de menor volume estão normalmente associados a um menor grau de previsibilidade e baixo comprometimento de demanda a longo prazo por parte de seus clientes.

Figura 41 – Análise detalhada do *mix* de *spare parts*, período adaptado

| Período histórico adaptado, 24 meses | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frequência anual vendida por *part number* | Número de *part numbers* | Média de vendas/ano | Qtd. média por *part number* | % do total de *part numbers* | % do volume vendido | | | | |
| Acima de 1000 | 33 | 64285 | 1948 | 0.4% | 35% | 46% | 69% | 95% | 100% |
| Entre 501 e 1000 | 26 | 18566 | 714 | 0.3% | 10% | | | | |
| Entre 100 e 500 | 202 | 42497 | 210 | 2.5% | 23% | | | | |
| Entre 20 e 99 | 755 | 31044 | 41 | 9.2% | 17% | | | | |
| Entre 5 e 20 | 1821 | 16324 | 9.0 | 22.2% | 9% | | | | |
| Entre 1 e 4 | 3900 | 7799 | 2.0 | 47.5% | 4% | | | | |
| Menor que 1 | 1474 | 737 | 0.5 | 18.0% | 0.4% | | | | |
| **Total** | **8211** | **181251** | **22** | **100%** | **100%** | | | | |

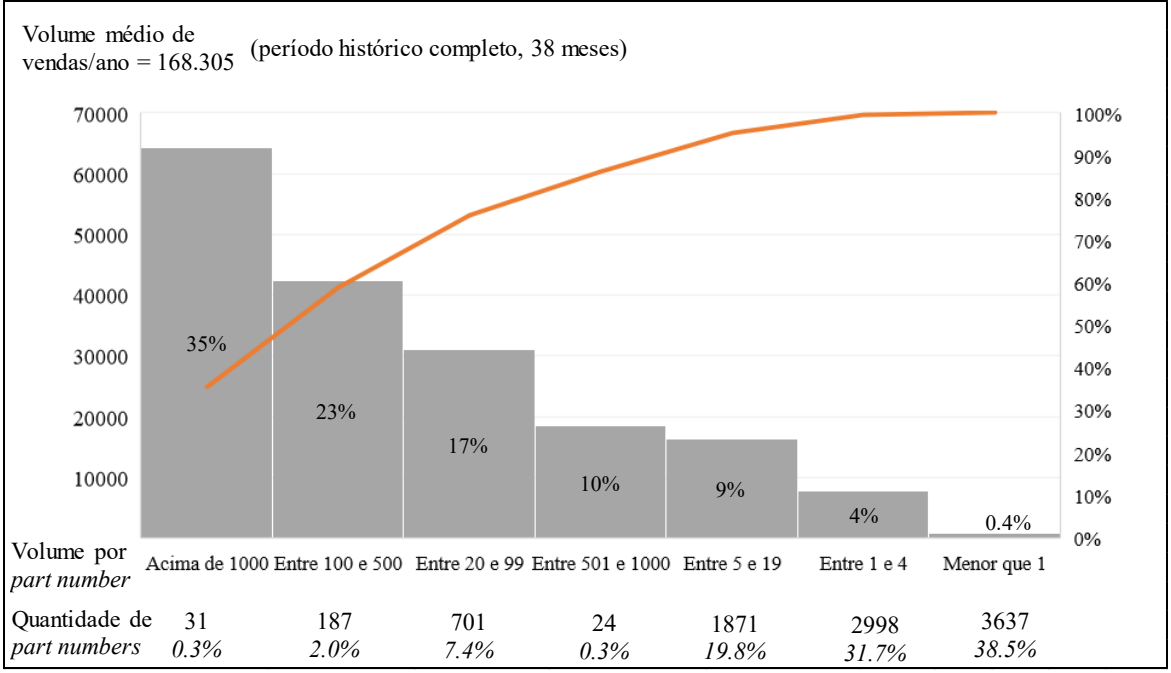



Fonte: Autor

O panorama apresentado pela Figura 42 é praticamente idêntico ao mostrado pela Figura 41 sob a ótica da distribuição do volume de produção de cada categoria – apesar da média de vendas anual ter reduzido, conforme esperado em virtude do impacto da pandemia, seu peso percentual por categoria é aproximadamente o mesmo. Entretanto, observa-se que a distribuição do *mix* por categoria foi severamente afetada, pois o grupo de itens com frequência menor que 1 quantidade é agora responsável por quase 40% do *mix*, ante a 18% relativo aos 24 meses pré-pandemia. Destaca-se que a "migração" entre categorias veio, predominantemente, dos itens com frequência anual de vendas entre 1 e 99 quantidades, uma vez que os *part numbers* da parte superior do espectro pela perspectiva de volume (acima de 100 quantidades por ano) permaneceram com aproximadamente 3% do *mix*. Além disso, nota-se também que o número de *part numbers* continuou a crescer entre os períodos (9.449 ante a 8.211 – aumento de 15%). Desta forma, pode-se inferir que, mesmo em cenários ou ciclos que representem redução temporária no volume de vendas para a Empresa A – relativos aos segmentos de mercado atendidos atualmente pelo Produto X – o *mix* de *part numbers* tende a continuar elevado.

Figura 42 – Análise detalhada do *mix* de *spare parts*, período completo

| Período histórico completo, 38 meses | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frequência anual vendida por *part number* | Número de *part numbers* | Média de vendas/ano | Qtd. média por *part number* | % do total de *part numbers* | % do volume vendido | | | | |
| Acima de 1000 | 31 | 58577 | 1890 | 0.3% | 35% | 45% | 68% | 95% | 100% |
| Entre 501 e 1000 | 24 | 16853 | 702 | 0.3% | 10% | | | | |
| Entre 100 e 500 | 187 | 39313 | 210 | 2.0% | 23% | | | | |
| Entre 20 e 99 | 701 | 28943 | 41 | 7.4% | 17% | | | | |
| Entre 5 e 20 | 1871 | 16104 | 8.6 | 19.8% | 10% | | | | |
| Entre 1 e 4 | 2998 | 6410 | 2.1 | 31.7% | 4% | | | | |
| Menor que 1 | 3637 | 2106 | 0.6 | 38.5% | 1% | | | | |
| **Total** | **9449** | **168305** | **18** | **100%** | **100%** | | | | |




Fonte: Autor

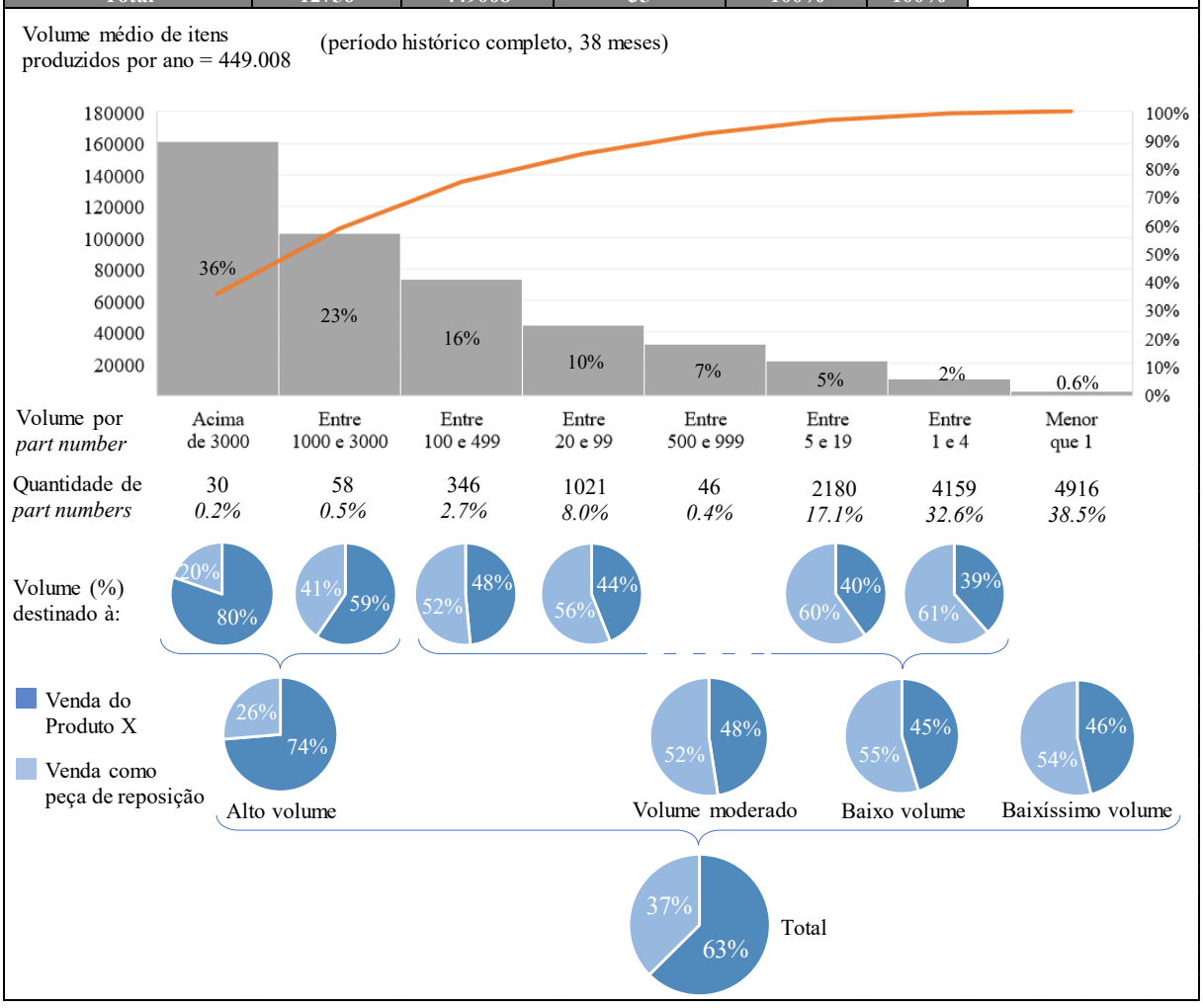
Após a análise do *mix* e volume envolvendo todo o contexto produtivo de forma separada – com a subseção 4.1.1 focando na caracterização da demanda do Produto X em si (ilustrada pelas figuras 35, 36 e 37) e do detalhamento desta mesma demanda ao nível do *part number* de seus componentes (Figura 38), e com a presente subseção enfatizando as características da demanda destinada à venda de peças de reposição – a Figura 43 explora uma análise completa do *mix* e volume envolvendo todos os componentes advindos do BOM das diferentes configurações do Produto X, sejam eles destinados à venda do produto montado ou à venda como *spare part*. Essa análise considera o período histórico completo da pesquisa, contemplando 12.756 *part numbers* distintos e que resultaram em aproximadamente 1.420.000 unidades de peças ou subconjuntos fabricados.

Conforme ilustra a Figura 43, os itens foram divididos em oito categorias com base em seu volume de produção. Para efeito desta pesquisa, as categorias que apresentam consumo acima de 1.000 unidades por ano são consideradas de alto volume, a categoria de itens com demanda anual entre 500 e 999 é classificada como volume moderado, as que possuem itens com consumo superior a 1 e inferior a 500 unidades por ano são consideradas de baixo volume e, por fim, os itens com demanda anual menor que 1 peça são classificados como de baixíssimo volume. Para cada categoria, além do *mix* ser indicado através quantidade de *part numbers*, a parte inferior da Figura 43 ilustra a porcentagem do volume de produção destinado à montagem para a venda do Produto X e a porcentagem daqueles vendidos como peça de reposição – essa distinção agrega valor à análise pois, conforme indicado na subseção 3.2.1, o ponto de penetração do pedido pode diferir dependendo da finalidade de consumo do *part number*. Os itens de alto volume representam 59% do total produzido e correspondem apenas a 0.7% do número de *part numbers*. Em relação a sua finalidade, nota-se que quanto maior o volume, mais direcionado ao consumo para montagem o mesmo está – observa-se que a porcentagem é de 80% para itens com volume médio anual acima de 3.000 peças, ante a 59% daqueles entre 1.000 e 3.000. Seguindo essa lógica, os itens de volume moderado invertem proporção de maioria entre montagem e reposição, porém de maneira bastante equilibrada; 52% dos itens são destinados à reposição e 48% ao consumo para montagem. Nessa categoria, o *mix* de *part numbers* também é baixo, representando somente 0.4% do total, e correspondem a 7% do volume de produção. Os itens de baixo e baixíssimo volume mantém o equilíbrio entre a finalidade dos itens, com leve incremento para fins de reposição; sendo aproximadamente 55% para ambas as categorias. Entretanto, as mesmas possuem diferenças expressivas em relação ao *mix* e volume. Os itens que se enquadram como baixo volume são responsáveis por cerca de um terço do volume produzido e representam cerca de 60% de todo *mix* – sendo que mais de

30% se concentram na faixa de consumo entre 1 e 4 unidades anuais. Já os itens de baixíssimo volume impactam somente 0.6% do volume anual, entretanto, essa categoria é a que possui maior relevância quanto ao *mix*, constituindo 38.5% do número total de *part numbers*.

Figura 43 – Análise detalhada da produção total de itens, período completo

| Período histórico completo, 38 meses | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Volume anual de produção por *part number* | Número de *part numbers* | Média de produção/ano | Volume médio por *part number* | % do total de *part numbers* | % do volume produzido | |
| Acima de 3000 | 30 | 161206 | 5374 | 0.2% | 36% | 59% |
| Entre 1000 e 3000 | 58 | 103067 | 1777 | 0.5% | 23% | 66% |
| Entre 500 e 999 | 46 | 32481 | 706 | 0.4% | 7% | 99% |
| Entre 100 e 499 | 346 | 73430 | 212 | 2.7% | 16% | 100% |
| Entre 20 e 99 | 1021 | 44335 | 43 | 8.0% | 10% | |
| Entre 5 e 19 | 2180 | 21639 | 9.9 | 17.1% | 5% | |
| Entre 1 e 4 | 4159 | 10142 | 2.4 | 32.6% | 2% | |
| Menor que 1 | 4916 | 2708 | 0.6 | 38.5% | 0.6% | |
| **Total** | **12756** | **449008** | **35** | **100%** | **100%** | |




Fonte: Autor

### 4.1.3 Parâmetros de gerenciamento e desempenho histórico

Como estratégia de suporte ao gerenciamento e execução do planejamento da produção (ou aquisição) dos itens contemplados na Figura 43, a Empresa A parametriza em seu sistema

MRP, incorporado ao software SAP, cada *part number* de acordo com uma matriz de classificação ABC/XYZ. Essa matriz está representada pela Figura 44, incorporando, além de seus elementos básicos – conforme apresentado na subseção 2.2.2, Figura 19, do capítulo de revisão da literatura – informações relevantes em relação ao estoque de segurança, estoque total e estratégia de gatilho de produção para cada grupo de itens localizados nas diferentes posições da matriz. As informações de estoque de segurança e estoque total referem-se à posição de inventário da Empresa A em dólares, pertinente aos componentes do Produto X, no mês de outubro de 2020 – esse mês foi escolhido como referência por se tratar do período subsequente, imediato, à inspeção física anual de inventário. Nota-se que a falta de classificação XYZ para quase 42% do total de *part numbers* evidencia a preterição da Empresa A por práticas de caracterização de demanda com base em sua intermitência / variação.

Figura 44 – Matriz ABC/XYZ dos componentes do Produto X

| ABC / XYZ | **A** (alto volume) | **B** (médio volume) | **C** (baixo volume) | **Total XYZ** |
|---|---|---|---|---|
| **X** (demanda constante) | 26.7% do volume<br>1.6% do *mix*<br>ES: $406k (24.5%)<br>ET: $947k (21.2%) | 5.1% do volume<br>1.5% do *mix*<br>ES: $38k (2.3%)<br>ET: $120k (2.7%) | 3.1% do volume<br>0.7% do *mix*<br>ES: $7k (0.4%)<br>ET: $24k (0.5%) | **34.9% do volume**<br>**3.8% do *mix***<br>**ES: $451k (27.2%)**<br>**ET: $1.091k (24.4%)** |
| **Y** (demanda flutuante) | 40% do volume<br>2.7% do *mix*<br>ES: $512k (31%)<br>ET: $1.006k (22.5%) | 11.4% do volume<br>5.3% do *mix*<br>ES: $175k (10.5%)<br>ET: $360k (8%) | 4.5% do volume<br>3.8% do *mix*<br>ES: $47k (2.8%)<br>ET: $113k (2.7%) | **55.9% do volume**<br>**11.8% do *mix***<br>**ES: $734k (44.3%)**<br>**ET: $1.479k (33.2%)** |
| **Z** (demanda esporádica) | 0.6% do volume<br>0.6% do *mix*<br>ES: $53k (3.2%)<br>ET: $132k (2.8%) | 2.4% do volume<br>5.8% do *mix*<br>ES: $166k (10%)<br>ET: $491k (11%) | 4.8% do volume<br>36.2% do *mix*<br>ES: $216k (13%)<br>ET: $823k (18.4%) | **7.8% do volume**<br>**42.6% do *mix***<br>**ES: $435k (26.2%)**<br>**ET: $1.446k (32.2%)** |
| **Subtotal ABC com classificação XYZ** | 67.3% do volume<br>4.9% do *mix*<br>ES: $971k (58.7%)<br>ET: $2.085k (46.5%) | 18.9% do volume<br>12.6% do *mix*<br>ES: $379k (22.8%)<br>ET: $971k (21.7%) | 12.4% do volume<br>40.7% do *mix*<br>ES: $270k (16.2%)<br>ET: $960k (21.6%) | **98.6% do volume**<br>**58.2% do *mix***<br>**ES: $1.620k (97.7%)**<br>**ET: $4.016k (89.8%)** |
| **ABC sem classificação XYZ** | Não significativo | 0.3% do volume<br>7% do *mix*<br>ES: $2k (0.1%)<br>ET: $13k (0.3%) | 1.1% do volume<br>34.8% do *mix*<br>ES: $39k (2.2%)<br>ET: $442k (9.9%) | 1.4% do volume<br>41.8% do *mix*<br>ES: $41k (2.3%)<br>ET: $455k (10.2%) |
| **Total ABC** | **67.3% do volume**<br>**4.9% do *mix***<br>**ES: $971k (58.7%)**<br>**ET: $2.085k (46.5%)** | **19.2% do volume**<br>**19.6% do *mix***<br>**ES: $381k (22.9%)**<br>**ET: $984k (22%)** | **13.5% do volume**<br>**75.5% do *mix***<br>**ES: $309k (18.4%)**<br>**ET: $1.402k (31.5%)** | **100% do volume**<br>**100% do *mix***<br>**ES: $1.661k (100%)**<br>**ET: $4.471k (100%)** |

*Maior parte do mix (número de part numbers) está:*

- *parametrizada para fabricação para estoque (MTS), guiados por forecast e estoque de segurança*
- *dividida entre fabricação para estoque (MTS), guiados somente por estoque de segurança, e fabricação sob encomenda (MTO)*
- *parametrizada para fabricação sob encomenda (MTO)*
- *parametrizada para fabricação para estoque (MTS), guiados somente por estoque de segurança*

*ES = Estoque de segurança*
*ET = Estoque total*

Fonte: Autor

Como esperado, os itens de maior consumo concentram-se na coluna A da matriz, sendo responsáveis por aproximadamente 67% do volume de itens fabricados e apenas 5% do *mix*. Além disso, os mesmos representam mais de 45% do valor de estoque total e quase 60% do estoque de segurança. Observa-se também que a demanda da maior parte destes itens é classificada como flutuante (posição AY da matriz), seguida por itens de demanda constante (posição AX) – sendo a estratégia de produção definida para a maior parte destes itens como de fabricação para estoque (MTS), guiada tanto pelo *forecast* quanto por parâmetros de estoque de segurança. Já os itens de alto volume com demanda esporádica (posição AZ) são pouco representativos, tendo o gatilho de produção de seus itens divididos entre MTS orientado pelo estoque de segurança e fabricação sob encomenda (MTO).

Os itens da coluna B da matriz, considerados pela Empresa A como de médio volume, possuem um equilíbrio no impacto tanto de seu *mix* quanto de seu volume – aproximadamente 20% para ambos. Entretanto, diferentemente da coluna A, os itens com demanda constante (posição BX) são pouco representativos pela perspectiva do *mix* e valores de estoque de segurança / estoque total – o impacto desses itens é abaixo de 3% em todos esses parâmetros. Os itens de maior relevância da coluna B têm sua demanda caracterizada como flutuante e esporádica – sendo cada posição (BY e BZ, respectivamente) responsável por aproximadamente 10% dos valores de estoques total e de segurança. A principal diferenciação entre essas categorias é que a fabricação da maior parte dos itens com demanda esporádica é orientada pela estratégia MTO, enquanto os que possuem demanda flutuante seguem a estratégia MTS guiados pelos parâmetros de estoque de segurança. Nota-se também que aproximadamente 7% do total de *part numbers* não possuem parametrização XYZ – apesar destes itens serem indicados como médio volume, na prática essa classificação não se sustenta pelo fato dos mesmos representarem apenas 0.3% do volume total, com valores de estoque igualmente baixos.

A coluna C apresenta os itens classificados como de baixo volume. Notavelmente, e conforme esperado diante do contexto apresentado peças seções anteriores, apesar de representarem somente 13.5% do volume total, os mesmos correspondem a cerca de 75% de todo o *mix.* Em contraste às categorias anteriores, a maior parte dos *part numbers* da coluna C é caracterizada por possuírem demanda esporádica (posição CZ), com impacto significativo no valor de estoque de segurança (13% da quantia absoluta deste parâmetro) e, principalmente, no valor de estoque total (18.4% do montante) – mesmo com a maioria deles estando parametrizada no sistema MRP seguindo a estratégia MTO. Os itens com os tipos de demanda constante e flutuante, se analisados de maneira combinada, apesar de retratarem quase 8% do

volume absoluto, representam menos de 5% do *mix* e somente em torno de 3% dos valores de estoque. Outro ponto de destaque dessa coluna é que quase 35% do número de *part numbers* não possui classificação XYZ – distintivamente dos itens da coluna B que se enquadram nessa condição, o impacto dos valores de estoque desses itens é relevante, principalmente o valor de estoque total, que representa 10% de todo o inventário.

Para melhor explorar a parametrização dos gatilhos de produção dos itens do Produto X, introduzida pela legenda de cores da Figura 44, a Figura 45 detalha, para cada posição da matriz ABC/XYZ, o balanço entre as estratégias de fabricação para estoque (MTS) e fabricação sob encomenda (MTO) adotadas pela Empresa A – indicando também como a proporção do impacto dessa definição se difunde sob as perspectivas de *mix* e volume. Observa-se que a estratégia MTS possui duas opções a nível tático: uma sendo orientada pela combinação de previsão de demanda (*forecast*) e de parâmetros de estoque de segurança, e outra sendo guiada somente pelo estoque de segurança. É importante recordar que, dependendo da finalidade do item – se utilizado para montagem do Produto X ou para a venda como *spare part* – o mesmo pode ser categorizado tanto como MTS quanto como ATO (montagem sob encomenda).

Figura 45 – Distribuição do *mix* e volume por opções de gatilho de produção

| Posição na Matriz ABC/XYZ | Número de *part numbers* | Forecast + ES[1] | ES[2] | MTO[3] | % do volume produzido | Forecast + ES[1] | ES[2] | MTO[3] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AX | 199 (1.6%) | 77% | 16% | 7% | 27% | 95% | 3% | 2% |
| AY | 345 (2.7%) | 62% | 25% | 13% | 40% | 93% | 4% | 3% |
| AZ | 76 (0.5%) | 17% | 38% | 45% | 1% | 55% | 21% | 24% |
| BX | 194 (1.5%) | 64% | 24% | 12% | 5% | 85% | 11% | 4% |
| BY | 676 (5.3%) | 19% | 42% | 39% | 11% | 66% | 23% | 11% |
| BZ | 738 (5.8%) | 8% | 38% | 54% | 2% | 28% | 36% | 36% |
| CX | 95 (0.7%) | 15% | 66% | 19% | 3% | 36% | 54% | 10% |
| CY | 485 (3.8%) | 5% | 47% | 48% | 5% | 41% | 39% | 20% |
| CZ | 4619 (36.2%) | 1% | 32% | 67% | 5% | 14% | 40% | 46% |
| B, sem XYZ | 894 (7%) | 1% | 16% | 83% | 0% | 2% | 30% | 68% |
| C, sem XYZ | 4434 (34.8%) | 1% | 12% | 87% | 1% | 2% | 27% | 71% |
| Total | 12755 (100%) | 5% | 48% | 47% | 100% | 79% | 11% | 10% |

[1] : *Fabricação para estoque (MTS) guiada por forecast e estoque de segurança*

[2] : *Fabricação para estoque (MTS) guiada somente por estoque de segurança*

[3] : *Fabricação sob encomenda (MTO)*

*% do número de part numbers ou do volume produzido:*
*acima de 30%*
*entre 10% e 30%*
*abaixo de 10%*

Fonte: Autor

Esse detalhamento aponta que os somente 5% do *mix* de *part numbers* que estão parametrizados como MTS, orientados pela combinação de *forecast* e estoque de segurança, representam quase 80% do volume – sendo a maioria de seus itens advinda das colunas A e B da matriz. Os itens guiados somente pelo estoque de segurança ou aqueles que seguem a estratégia MTO possuem aproximadamente a mesma relevância perante o *mix* e volume –

pouco menos de 50% e em torno de 10%, respectivamente. Nota-se que ambas as estratégias estão significativamente presentes nos itens de alto, médio e baixo volume – sendo mais manifestas nos itens de demanda esporádica da categoria de alto volume (posição AZ) e de demandas flutuante e esporádica das categorias de médio e baixo volume (posições BY, BZ, CY e CZ). Entretanto, para os itens de baixo volume e demanda constante, a estratégia MTS guiada por estoque de segurança é predominante. Por outro lado, a estratégia MTO possui presença majoritária para os itens que não têm sua classificação de demanda definida (posições B e C sem indicação XYZ na matriz).

Uma vez entendida a relação entre a classificação de demanda e a estratégia de produção adotada pela Empresa A, é importante que se conheçam a periodicidade de revisão definida pelas políticas de inventário e o procedimento utilizado para a definição dos lotes de produção / aquisição dos itens (a parametrização desses pontos é efetuada através da transação de *Lot-Sizing Procedure* no sistema MRP incorporado ao software SAP). Conforme mencionado na seção 2.2 desse estudo, as políticas de inventário são normalmente compostas por diferentes tipos de revisões periódicas ou contínuas. Segundo os entrevistados, as políticas de revisão mais adotadas pela Empresa A, para os *part numbers* que compõem o Produto X, são periódicas, correspondendo a 66% do *mix* – ante a 34% parametrizadas com revisões contínuas. A Figura 46 mostra que, com exceção aos itens de alto volume e demanda esporádica, as políticas de revisão periódica são maioria em todas as posições da matriz ABC/XYZ – concentrando-se, principalmente, nos itens com demandas constante ou flutuante.

Figura 46 – Distribuição do *mix* na Matriz ABC/XYZ, por política de revisão de inventário

| ABC / XYZ | **A** (alto volume) | **B** (médio volume) | **C** (baixo volume) | **Total XYZ** |
|---|---|---|---|---|
| **X** (demanda constante) | 1.6% do mix, sendo:<br>22% revisão contínua<br>78% revisão periódica | 1.5% do mix, sendo:<br>26% revisão contínua<br>76% revisão periódica | 3.1% do mix, sendo:<br>16% revisão contínua<br>84% revisão periódica | **3.8% do mix, sendo:**<br>**22% revisão contínua**<br>**78% revisão periódica** |
| **Y** (demanda flutuante) | 2.7% do mix, sendo:<br>20% revisão contínua<br>80% revisão periódica | 5.3% do mix, sendo:<br>22% revisão contínua<br>78% revisão periódica | 4.5% do mix, sendo:<br>17% revisão contínua<br>83% revisão periódica | **11.8% do mix, sendo:**<br>**20% revisão contínua**<br>**80% revisão periódica** |
| **Z** (demanda esporádica) | 0.6% do mix, sendo:<br>55% revisão contínua<br>45% revisão periódica | 5.8% do mix, sendo:<br>38% revisão contínua<br>62% revisão periódica | 4.8% do mix, sendo:<br>27% revisão contínua<br>73% revisão periódica | **42.6% do mix, sendo:**<br>**29% revisão contínua**<br>**71% revisão periódica** |
| **Subtotal ABC com classificação XYZ** | 4.9% do mix, sendo:<br>25% revisão contínua<br>75% revisão periódica | 12.6% do mix, sendo:<br>30% revisão contínua<br>70% revisão periódica | 40.7% do mix, sendo:<br>26% revisão contínua<br>74% revisão periódica | **58.2% do mix, sendo:**<br>**27% revisão contínua**<br>**73% revisão periódica** |
| **ABC sem classificação XYZ** | Não significativo | 7% do mix, sendo:<br>37% revisão contínua<br>63% revisão periódica | 34.8% do mix, sendo:<br>47% revisão contínua<br>53% revisão periódica | **41.8% do mix, sendo:**<br>**45% revisão contínua**<br>**55% revisão periódica** |
| **Total ABC** | **4.9% do mix, sendo:**<br>**25% revisão contínua**<br>**75% revisão periódica** | **19.6% do mix, sendo:**<br>**32% revisão contínua**<br>**68% revisão periódica** | **75.5% do mix, sendo:**<br>**35% revisão contínua**<br>**65% revisão periódica** | **100% do mix, sendo:**<br>**34% revisão contínua**<br>**66% revisão periódica** |

Fonte: Autor

Em relação ao procedimento para a definição do tamanho do lote de produção/aquisição dos itens, a Empresa A utiliza duas opções atreladas à revisão contínua e quatro opções relacionadas à revisão periódica. A Figura 47 detalha essas opções e relaciona o impacto das mesmas em cada posição da matriz ABC/XYZ apresentada pela Figura 46. Nota-se que, em relação à revisão periódica, a opção "W4" é a mais utilizada. A mesma é caracterizada pela revisão da posição de inventário a cada 20 dias úteis, tendo seu lote de produção/aquisição igual ao acumulado das quantidades requeridas dentro do mesmo período – seja por ordem de venda, ordem de montagem, ou reabastecimento com base nos parâmetros de estoque de segurança ou previsão de demanda. Já para a revisão contínua, a opção mais empregada é a "FX", da qual seu lote de produção/aquisição possui quantidade fixa definida pela área de planejamento e controle da produção. Observa-se também que, em virtude da indefinição do tipo de demanda para alguns itens (posições B e C, sem XYZ da matriz), algumas opções alternativas de revisão de inventário são utilizadas. Essa condição trata-se de um ponto reconhecido a ser melhorado pela Empresa A.

Figura 47 – Distribuição do *mix* por opções de *lot-sizing procedure*

| | | *Lot-sizing procedure* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Posição na Matriz ABC/XYZ | Número de *part numbers* | FX | EX | TB | W1 | W2 | W4 |
| AX | 199 (1.6%) | 20% | 2% | 6% | 5% | 4% | 63% |
| AY | 345 (2.7%) | 18% | 2% | 9% | 5% | 3% | 63% |
| AZ | 76 (0.5%) | 55% | - | 8% | 3% | 1% | 33% |
| BX | 194 (1.5%) | 25% | 1% | 6% | 3% | 1% | 64% |
| BY | 676 (5.3%) | 21% | 1% | 6% | 4% | 2% | 66% |
| BZ | 738 (5.8%) | 38% | - | 4% | 3% | 1% | 54% |
| CX | 95 (0.7%) | 16% | - | 1% | 5% | 3% | 75% |
| CY | 485 (3.8%) | 16% | 1% | 1% | 5% | 3% | 74% |
| CZ | 4619 (36.2%) | 26% | 1% | 1% | 3% | 1% | 68% |
| B, sem XYZ | 894 (7%) | 30% | 7% | - | 42% | 1% | 20% |
| C, sem XYZ | 4434 (34.8%) | 27% | 20% | - | 8% | 1% | 44% |
| Total | 12755 (100%) | 27% | 7% | 1% | 7% | 1% | 57% |

*FX: Revisão contínua. Lote de produção/aquisição com quantidade fixa*
*EX: Revisão contínua. Lote de produção/aquisição com base em cada requerimento individual*
*TB: Revisão periódica diária. Lote de produção igual à quantidade diária requerida*
*W1: Revisão periódica a cada 5 dias úteis. Lote de produção igual à quantidade requerida do período*
*W2: Revisão periódica a cada 10 dias úteis. Lote de produção igual à quantidade requerida do período*
*W4: Revisão periódica a cada 20 dias úteis. Lote de produção igual à quantidade requerida do período*
*% do número de part numbers:*
*acima de 30%*
*entre 10% e 30%*
*abaixo de 10%*

Fonte: Autor

Para finalizar o diagnóstico dos parâmetros de gestão de demanda e inventário (e de seus respectivos desempenhos históricos), o indicador de nível de serviço deve ser incorporado à análise – estando o mesmo atrelado ao desempenho de entrega de cada *part number*. A Empresa A possui como meta um nível de entrega de 87% (sendo 83.5% considerado como mínimo aceitável), seja na forma de produto final – caso do Produto X – como na forma de peça de reposição. A Figura 48 indica o nível de serviço realizado entre os meses de outubro de 2019 a setembro de 2020 dos itens pertencentes ao BOM das diferentes combinações do Produto X, indicando também o tipo de revisão de inventário predominante e a proporção do estoque de segurança em relação ao estoque total para cada posição da matriz ABC/XYZ.

Figura 48 – Distribuição do *mix* na Matriz ABC/XYZ, por nível de serviço realizado

| ABC / XYZ | A (alto volume) | B (médio volume) | C (baixo volume) | **Total XYZ** |
|---|---|---|---|---|
| **X** (demanda constante) | NS realizado: 82%<br>RP > RC<br>ES versus ET: 44% | NS realizado: 82%<br>RP>RC<br>ES versus ET: 31% | NS realizado: 86%<br>RP>RC<br>ES versus ET: 29% | **NS realizado: 83%**<br>**RP>RC**<br>**ES versus ET: 42%** |
| **Y** (demanda flutuante) | NS realizado: 80%<br>RP > RC<br>ES versus ET: 51% | NS realizado: 78%<br>RP>RC<br>ES versus ET: 49% | NS realizado: 81%<br>RP>RC<br>ES versus ET: 42% | **NS realizado: 79%**<br>**RP>RC**<br>**ES versus ET: 50%** |
| **Z** (demanda esporádica) | NS realizado: 75%<br>RC>RP<br>ES versus ET: 40% | NS realizado: 75%<br>RP>RC<br>ES versus ET: 34% | NS realizado: 75%<br>RP>RC<br>ES versus ET: 26% | **NS realizado: 75%**<br>**RP>RC**<br>**ES versus ET: 30%** |
| **Subtotal ABC com classificação XYZ** | NS realizado: 80%<br>RP>RC<br>ES versus ET: 47% | NS realizado: 77%<br>RP>RC<br>ES versus ET: 39% | NS realizado: 76%<br>RP>RC<br>ES versus ET: 28% | **NS realizado: 76%**<br>**RP>RC**<br>**ES versus ET: 41%** |
| **ABC sem classificação XYZ** | Não significativo | NS realizado: 75%<br>RP>RC<br>ES versus ET: 13% | NS realizado: 71%<br>RP~RC<br>ES versus ET: 9% | **NS realizado: 72%**<br>**RP>RC**<br>**ES versus ET: 9%** |
| **Total ABC** | **NS realizado: 80%**<br>**RP>RC**<br>**ES versus ET: 47%** | **NS realizado: 76%**<br>**RP>RC**<br>**ES versus ET: 39%** | **NS realizado: 74%**<br>**RP>RC**<br>**ES versus ET: 22%** | **NS realizado: 75%**<br>**RP>RC**<br>**ES versus ET: 37%** |

*Maior parte do mix (número de part numbers) está:*

- *parametrizada para fabricação para estoque (MTS), guiados por forecast e estoque de segurança*
- *dividida entre fabricação para estoque (MTS), guiados somente por estoque de segurança, e fabricação sob encomenda (MTO)*
- *parametrizada para fabricação sob encomenda (MTO)*
- *parametrizada para fabricação para estoque (MTS), guiados somente por estoque de segurança*

*NS: Nível de serviço realizado*
*RP: Política de inventário com Revisão Periódica*
*RC: Política de inventário com Revisão Contínua*
*ES: Estoque de segurnça*
*ET: Estoque total*

Fonte: Autor

Observa-se que o nível de serviço realizado ficou abaixo do objetivo em todas as posições da matriz ABC/XYZ – sendo 75% a média geral do desempenho de entrega de seus

respectivos *part numbers*. Notavelmente, os itens classificados com demanda constante possuem desempenho superior aos demais – 83% ante aos 79% com demanda flutuante e 75% com demanda esporádica – mesmo com a categoria de demanda flutuante obtendo um maior valor de estoque de segurança em proporção ao seu estoque total – 50% ante a 42% e 30% em comparação aos itens com demandas constante e esporádica. Esse fato, aliado à performance geral abaixo do esperado, levanta potenciais pontos de melhoria não somente quanto à quantidade, mas, principalmente, quanto à qualidade do inventário definido pela Empresa A – tópico que será explorado na próxima seção desse estudo. Outro ponto de atenção refere-se aos itens sem classificação XYZ, responsáveis pela redução em 1% do nível de serviço e valores significativamente baixos de estoque de segurança. É importante ressaltar que níveis reduzidos de estoque de segurança não são necessariamente um problema, assim como altos níveis desse mesmo parâmetro não são a solução – a busca deve ser pela correta parametrização, que incorpore elementos que absorvam as incertezas das nuances de cada característica de demanda e estratégia de produção, para que o nível de serviço se mantenha elevado.

Figura 49 – Distribuição do nível de serviço médio por *lot-sizing procedure*

| | | Média de nível de serviço por *lot-sizing procedure* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Posição na Matriz ABC/XYZ | Número de *part numbers* | FX | EX | W1 | W4 | Média |
| AX | 199 (1.6%) | 84% | 84% | 80% | 82% | 82% |
| AY | 345 (2.7%) | 80% | 80% | 82% | 80% | 81% |
| AZ | 76 (0.5%) | 75% | - | 84% | 77% | 79% |
| BX | 194 (1.5%) | 84% | 81% | 82% | 81% | 82% |
| BY | 676 (5.3%) | 78% | 78% | 77% | 78% | 78% |
| BZ | 738 (5.8%) | 73% | 75% | 67% | 77% | 73% |
| CX | 95 (0.7%) | 86% | - | 86% | 87% | 86% |
| CY | 485 (3.8%) | 83% | 86% | 78% | 80% | 82% |
| CZ | 4619 (36.2%) | 68% | 65% | 74% | 78% | 71% |
| B, sem XYZ | 894 (7%) | 76% | 79% | 73% | 76% | 76% |
| C, sem XYZ | 4434 (34.8%) | 69% | 67% | 72% | 76% | 71% |
| Média | 12755 (100%) | 71% | 65% | 73% | 78% | 75% |

*FX: Revisão contínua. Lote de produção/aquisição com quantidade fixa*
*EX: Revisão contínua. Lote de produção/aquisição com base em cada requerimento individual*
*TB: Revisão periódica diária. Lote de produção igual à quantidade diária requerida*
*W1: Revisão periódica a cada 5 dias úteis. Lote de produção igual à quantidade requerida do período*
*W2: Revisão periódica a cada 10 dias úteis. Lote de produção igual à quantidade requerida do período*
*W4: Revisão periódica a cada 20 dias úteis. Lote de produção igual à quantidade requerida do período*

Fonte: Autor

Por fim, apesar da Figura 48 indicar a predominância por políticas de revisão periódica de inventário, a mesma não apresenta um comparativo de desempenho perante os itens configurados por políticas de revisão contínua. Para explorar esse ponto, a Figura 49 indica o nível de serviço médio realizado para cada opção de *lot-sizing procedure*. Conforme ilustrado

pela Figura 47, 57% dos itens estão parametrizados para a opção “W4”, 27% para a opção “FX” e 16% distribuídos nas categorias restantes – sendo 14% relacionados às opções “EX” e “W1”, ambas com 7%. Dessa forma, as opções “TB” e “W2” não foram consideradas na análise da Figura 49 por sua baixa representatividade. Observa-se que, de forma geral, os itens com opções de revisão periódica obtiveram melhores resultados quando relacionados a características de demanda esporádica (AZ, BZ e CZ), enquanto aqueles parametrizados com políticas de revisão contínua foram levemente superiores para endereçar demandas constante ou flutuante.

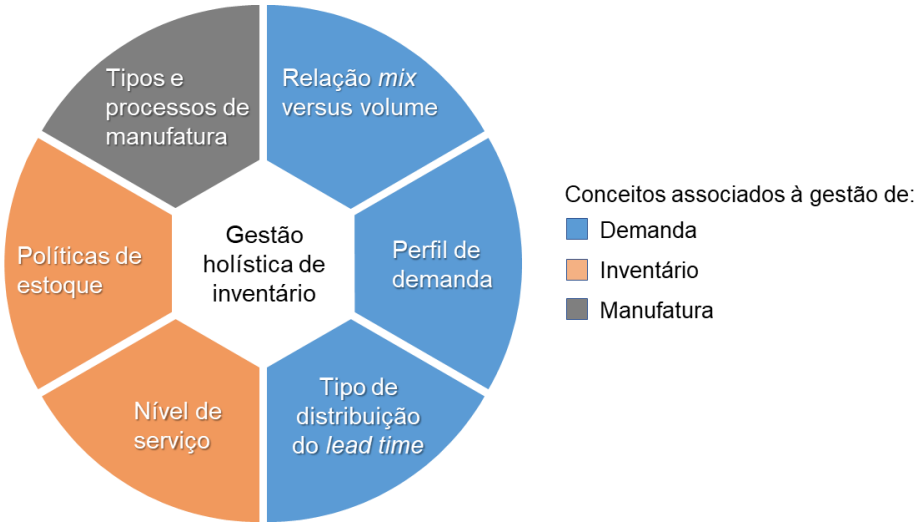
## 4.2 APLICAÇÃO DE ABORDAGEM HOLÍSTICA

Esta seção está dividida em duas partes e tem como objetivo apresentar e demonstrar a aplicação de um método com abordagem holística para a gestão de inventário, do qual integra os mecanismos de gestão de demanda com as políticas de estoque – levando também em considerações as diferentes estratégias de produção. A subseção 4.2.1 apresenta a definição desse método através de um *framework*, indicando também os detalhes de seus parâmetros e procedimentos. Já a subseção 4.2.2 demonstra a aplicação do mesmo no contexto do Produto X – introduzido na subseção 3.2.1 e aprofundado na subseção 4.2.1 do presente capítulo – indicando seus resultados comparados aos dados históricos de desempenho da Empresa A.

### 4.2.1 Apresentação do método

Em linha ao objetivo desse estudo, o método a ser apresentado nessa subseção contempla uma visão holística para a gestão de inventário, incorporando elementos da gestão de demanda, da gestão de estoques e dos processos de manufatura – este último como caráter consultivo.

Figura 50 – Conceitos incorporados no *framework* proposto



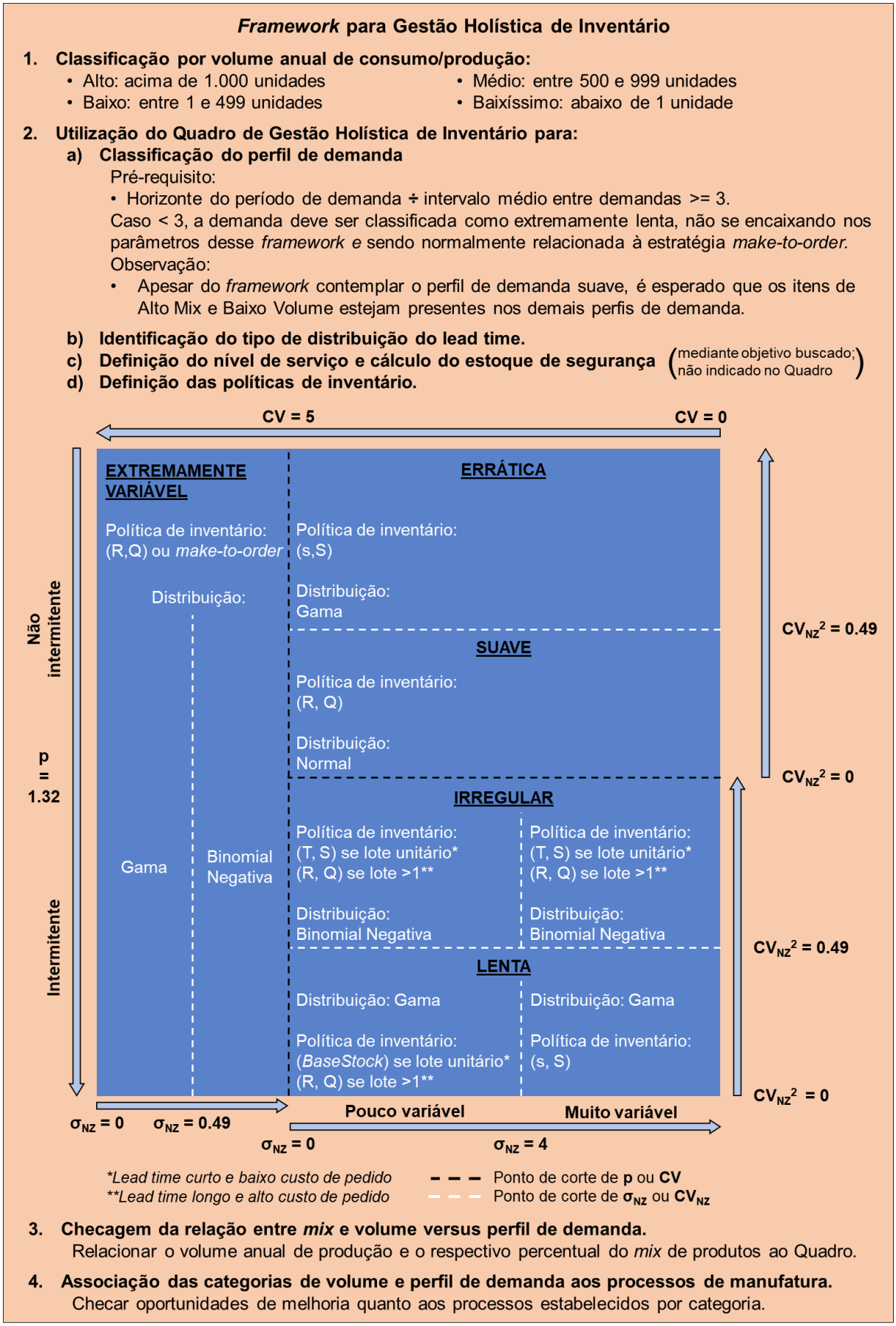

Fonte: Autor

Conforme indicado pela Figura 50, os conceitos associados à gestão de demanda referem-se à relação *mix* e volume de produção, perfil de demanda e tipo de distribuição do *lead time*. Já a gestão de inventário está atrelada às definições do nível de serviço e das diferentes políticas de estoque, enquanto a gestão de manufatura relaciona-se aos possíveis tipos e processos de fabricação. Esses conceitos foram explorados com base nos trabalhos indicados no capítulo de revisão de literatura, bem como nas práticas utilizadas pelo software Supply Chain Guru ®, e então estruturados no formato de um *framework*.

A Figura 51 apresenta o *framework* proposto, dividindo o mesmo em quatro partes para a implementação de uma gestão holística de inventário em indústrias de alto mix e baixo volume. A primeira parte recomenda a classificação dos itens produzidos mediante ao seu volume anual de produção, sendo que aqueles que possuem quantidades de consumo superiores a 1.000 unidades por ano são classificados como de alto volume, entre 500 e 999 unidades como de médio volume, entre 1 e 499 como de baixo volume e inferiores a 1 unidade como de baixíssimo volume. Apesar desse estudo focar em ambientes HMLV, itens de alto ou médio volume estão incorporados no *framework* pois é possível que os mesmos não sigam perfis de distribuição normal ou apresentem elevada irregularidade.

A segunda parte é a mais abrangente do *framework* e está dividida em quatro etapas. A primeira refere-se à classificação do perfil de demanda, da qual, para ser efetuada, os parâmetros estatísticos de média (μ), desvio padrão (σ) e coeficiente de variação (CV), dentro do horizonte de tempo analisado, devem ser calculados em duas abordagens: uma considerando todos os períodos de tempo, independentemente se há ou não demanda em cada um deles, e outra considerando somente os períodos em que a demanda não é zero (NZ) – parâmetros representados, respectivamente, por $\mu_{NZ}$, $\sigma_{NZ}$ e $CV_{NZ}$. Esses parâmetros são necessários para estabelecer o nível variabilidade da demanda; quanto maior for o desvio padrão, mais variável será o tamanho da demanda, e quanto maior for o coeficiente de variação, mais irregular ou errática será a demanda em relação à sua média. Além do nível de variabilidade, também é necessário verificar o grau de intermitência da demanda – definido através do intervalo médio entre demandas (p); quanto maior o valor de *p*, mais intermitente será a demanda. Com base nesses parâmetros, as demandas podem ser classificadas como não intermitentes (errática ou suave), intermitentes (irregular ou lenta), extremamente variáveis – casos com altíssima variabilidade relativa – ou extremamente lentas – situações em que há pouquíssimos pontos de demanda dentro do horizonte de tempo. As referências numéricas desses parâmetros, também chamadas de ponto de corte, estão indicadas no Quadro de Gestão Holística de Inventário apresentado como parte do *framework*.

Figura 51 – *Framework* proposto




Fonte: Autor

A classificação de demanda serve como ponto de partida para a definição do tipo de distribuição do *lead time* (segunda etapa dessa parte do *framework*) – sendo predominantes as distribuições gama e binomial negativas, uma vez que a distribuição normal é recomendada somente para demandas com perfil suave. Observa-se que cada categoria de perfil de demanda possui um único tipo de distribuição recomendado, com exceção das demandas extremamente variáveis que, mediante o valor do desvio padrão "não zero", seguem as distribuições gama ou binomial negativa. A combinação do perfil de demanda com o tipo de distribuição é necessária para a execução da propagação de demanda dentro do horizonte de tempo pretendido. Esse exercício é importante para a correta definição das políticas de inventário, estoque de segurança e tamanho de lote, uma vez que o comportamento da demanda total no tempo define as práticas adotadas na planta de fabricação – por exemplo, a combinação de demandas intermitentes de diferentes clientes, para um mesmo item, pode representar um perfil de demanda não intermitente na planta. Na terceira etapa, o estoque de segurança deve ser calculado com base no nível de serviço pretendido – normalmente atrelado a evitar a falta de estoque, ou evitar a falta de um certo nível mínimo de estoque. A quarta e última etapa dessa segunda parte do *framework* refere-se à definição das políticas de inventário para cada perfil de demanda – tendo seus parâmetros inter-relacionados com os objetivos de nível de serviço e estoque de segurança estabelecidos na etapa anterior. Nota-se que, para perfis de demanda lenta, as políticas de inventário variam entre três tipos de revisão contínua – (R, Q), (Basestock) e (s, S) – mediante aos valores de desvio padrão ou ao tamanho do lote. Já as políticas de estoque para demandas irregulares variam entre revisões contínuas (R, Q) e periódicas (T, S) dependendo somente do tamanho do lote. Para as demandas errática e suave, apenas um tipo de política de inventário para cada é recomendado, sendo, respectivamente, (R, Q) e (s, S). Por fim, para demandas extremamente variáveis, recomenda-se uma análise detalhada dos planejadores de material para definir se deve-se aplicar a política de revisão (R, Q) ou se é preferível parametrizar os itens como *make-to-order* (prática sugerida principalmente para itens de baixíssimo volume).

Na terceira parte do *framework* deve ser realizada a checagem da relação entre *mix* e volume para cada perfil de demanda, centralizando as informações como uma forma de *dashboard* tático e gerencial. Por fim, a quarta e última etapa refere-se à associação de cada categoria combinada de volume e perfil de demanda aos processos de fabricação, servindo como uma forma de revisão *cross* funcional para verificar se o tipo de manufatura é sinérgico às práticas de gestão de inventário. Os *templates* para a execução da terceira e da quarte partes do *framework* serão apresentados na subseção 4.2.2 desse capítulo, como parte da aplicação do estudo de caso.

### 4.2.2 Aplicação, resultados e discussão

A aplicação do método holístico nesse estudo de caso seguiu as diretrizes do *framework* elaborado na subseção 4.1.1. As diferentes etapas desta aplicação serão apresentadas na presente subseção de forma a comparar esse método – bem como suas respectivas projeções de resultado – perante o cenário atual e resultados históricos obtidos pela Empresa A.

Seguindo o critério de classificação por volume indicado na primeira parte de aplicação do *framework*, constatou-se que o *mix* dos itens relacionados ao Produto X possui 60.4% de seus *part numbers* classificados como de baixo volume, seguidos por 38.5% de baixíssimo volume e pouco mais de 1% para a combinação entre médio e alto volumes. Essa caracterização se difere consideravelmente do método utilizado pela Empresa A, do qual possui 5% dos itens classificados como de alto volume, 19% médio e 76% baixo. A Figura 52 detalha a comparação dos métodos, indicando o *mix* de *part numbers* e o volume fabricado para cada categoria durante os 38 meses de coleta de dados – tanto em quantidades (parte superior da figura) quanto em sua representatividade percentual (parte inferior). Para manter a consistência da abordagem, a Figura 52 possui subcategorias de volume anual em linha às apresentadas pela Figura 43.

Figura 52 – Classificação de volume: proposto *versus* atual

| Volume anual de produção por *part number* | | **Método proposto** | | **Método atual utilizado pela Empresa A** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **A** | | **B** | | **C** | |
| | | Número de PNs | Volume produzido | Número de *PNs* | Volume produzido | Número de *PNs* | Volume produzido | Número de *PNs* | Volume produzido |
| Alto volume | Acima de 3000 | 30 | 510,486 | 27 | 470,465 | 2 | 29,816 | 1 | 10,205 |
| | Entre 1000 e 3000 | 58 | 326,379 | 43 | 238,286 | 10 | 61,533 | 5 | 26,560 |
| | Subtotal | 88 | 836,865 | 70 | 708,751 | 12 | 91,349 | 6 | 36,765 |
| Médio volume | Entre 500 e 999 | 46 | 102,855 | 37 | 83,181 | 5 | 11,066 | 4 | 8,608 |
| | Subtotal | 46 | 102,855 | 37 | 83,181 | 5 | 11,066 | 4 | 8,608 |
| Baixo volume | Entre 100 e 499 | 346 | 232,529 | 189 | 133,179 | 105 | 64,355 | 52 | 34,995 |
| | Entre 20 e 99 | 1,021 | 140,394 | 156 | 25,433 | 573 | 79,594 | 292 | 35,367 |
| | Entre 5 e 19 | 2,180 | 68,522 | 121 | 4,332 | 570 | 20,373 | 1,489 | 43,817 |
| | Entre 1 e 4 | 4,159 | 32,113 | 29 | 276 | 594 | 4,619 | 3,535 | 27,218 |
| | Subtotal | 7,706 | 473,558 | 495 | 163,220 | 1,842 | 168,941 | 5,368 | 141,397 |
| Baixíssimo volume | Menor que 1 | 4,916 | 8,573 | 19 | 34 | 643 | 1,313 | 4,253 | 7,226 |
| | Subtotal | 4,916 | 8,573 | 19 | 34 | 643 | 1,313 | 4,253 | 7,226 |
| **Total** | | **12,756** | **1,421,851** | **621** | **955,186** | **2,502** | **272,669** | **9,631** | **193,996** |
| Volume anual de produção por *part number* | | % do total de PNs | % do volume produzido | **A** | | **B** | | **C** | |
| | | | | % *PNs* | % volume | % *PNs* | % volume | % *PNs* | % volume |
| Alto volume | Acima de 3000 | 0.2% | 36% | 0.2% | 33% | 0.0% | 2.1% | 0.01% | 0.7% |
| | Entre 1000 e 3000 | 0.5% | 23% | 0.3% | 17% | 0.1% | 4.3% | 0.04% | 1.9% |
| | Alto volume | 0.7% | 59% | 0.5% | 50% | 0.1% | 6.4% | 0.05% | 2.6% |
| Médio volume | Entre 500 e 999 | 0.4% | 7% | 0.3% | 5.9% | 0.0% | 0.8% | 0.03% | 0.6% |
| | Médio volume | 0.4% | 7% | 0.3% | 5.9% | 0.0% | 0.8% | 0.03% | 0.6% |
| Baixo volume | Entre 100 e 499 | 2.7% | 16% | 1.5% | 9.4% | 0.8% | 4.5% | 0.4% | 2.5% |
| | Entre 20 e 99 | 8.0% | 9.9% | 1.2% | 1.8% | 4.5% | 5.6% | 2.3% | 2.5% |
| | Entre 5 e 19 | 17% | 4.8% | 0.9% | 0.3% | 4.5% | 1.4% | 12% | 3.1% |
| | Entre 1 e 4 | 33% | 2.3% | 0.2% | 0.02% | 4.7% | 0.3% | 28% | 1.9% |
| | Baixo volume | 60% | 33% | 3.9% | 11% | 14% | 12% | 42% | 9.9% |
| Baixíssimo volume | Menor que 1 | 39% | 0.6% | 0.1% | 0.002% | 5% | 0.1% | 33% | 0.5% |
| | Baixíssimo volume | 39% | 0.6% | 0.1% | 0.002% | 5% | 0.1% | 33% | 0.5% |
| **Total por período** | | **100%** | **100%** | **4.9%** | **67%** | **20%** | **19%** | **76%** | **14%** |

Fonte: Autor

Observa-se que a nova categoria (baixíssimo volume) sugerida pelo método proposto possui aderência ao cenário do Produto X, não somente pela sua representatividade de 38.5% do *mix*, mas também por demonstrar assertividade na distinção do impacto no volume total produzido em comparação aos itens de baixo volume. Outro ponto de destaque, ilustrado pela Figura 52, se dá pela demonstração de falta de consistência ou erros de parametrização (em parte dos itens) do método utilizado pela Empresa A em comparação ao proposto, uma vez que as categorias A, B e C possuem ao menos um item pertencente a cada um dos critérios de volume anual de produção – por exemplo: 662 *part numbers* (5% de todo o *mix*) com volume inferior a uma peça por ano estão parametrizados para as categorias A ou B.

Na segunda fase de aplicação do *framework*, os parâmetros de intermitência e variabilidade dos itens foram calculados e seus respectivos perfis de demanda classificados – o *software* Supply Chain Guru ® foi utilizado durante a realização dessas tarefas – constatando que todos os itens relacionados ao Produto X possuem característica de demanda intermitente, sendo distribuídos entre os perfis de demanda irregular, lenta, extremamente variável e extremamente lenta. Sob a ótica do volume produzido, a Figura 53 mostra que cerca de 80%, representado por somente 4% dos *part numbers*, possui perfil de demanda irregular – com predominância de alta variabilidade. A segunda categoria com maior impacto no tocante ao volume refere-se ao perfil de demanda extremamente variável, correspondendo a 15% do total de peças fabricadas e a 56% do *mix*. Em seguida, a categoria de demanda lenta representa 4% do volume e 2% do *mix*, sendo formada quase totalmente por itens de baixa variabilidade. Por fim, os itens com demanda extremamente lenta, apesar de constituírem menos de 1% do volume, equivalem à quase 40% do número de *part numbers*.

A comparação entre os tipos de perfil de demanda identificados pelo método proposto em relação ao método de classificação XYZ utilizado pela Empresa A pode ser realizada, porém, com ressalvas. Apesar da maior parte do volume estar parametrizado com a classificação Y (demanda flutuante), e o mesmo ser equivalente, por definição, à categoria irregular apresentada pelo método proposto, a diferença entre os respectivos volumes é significativa. Além disso, a parametrização de itens dentro da categoria X (constante) é questionável pois, conforme indicado no início do parágrafo anterior, a demanda de todos os *part numbers* possui perfil intermitente. Já em relação aos itens sem classificação XYZ, observa-se uma evidente aderência dos mesmos às categorias de demanda extremamente lenta ou extremamente variável – corroborando a dificuldade da Empresa A em caracterizar estes itens pela falta de profundidade (e prioridade) dos critérios de variação e intermitência de suas respectivas demandas.

Figura 53 – Perfil de demanda: proposto *versus* atual

| Volume anual de produção por *part number* | | Método proposto | | Método parametrizado pela Empresa A | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | X | | Y | | Z | | Sem classificação | |
| | | Número de PNs | Volume produzido | Número de *PNs* | Volume produzido | Número de *PNs* | Volume produzido | Número de *PNs* | Volume produzido | Número de *PNs* | Volume produzido |
| Irregular | Muito variável | 148 | 930,493 | 42 | 340,779 | 102 | 581,350 | 4 | 8,364 | 0 | 0 |
| | Pouco variável | 344 | 214,995 | 154 | 94,579 | 171 | 111,750 | 19 | 8,666 | 0 | 0 |
| | Subtotal | 492 | 1,145,488 | 196 | 435,358 | 273 | 693,100 | 23 | 17,030 | 0 | 0 |
| Lenta | Muito variável | 1 | 611 | 0 | 0 | 1 | 611 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Pouco variável | 251 | 55,441 | 152 | 38,411 | 87 | 14,973 | 11 | 1,876 | 1 | 181 |
| | Subtotal | 252 | 56,052 | 152 | 38,411 | 88 | 15,584 | 11 | 1,876 | 1 | 181 |
| Extremamente Lenta | | 4,903 | 9,830 | 10 | 19 | 13 | 27 | 1,194 | 2,771 | 3,686 | 7,013 |
| Extremamente Variável | | 7,109 | 210,487 | 130 | 22,620 | 1,132 | 85,236 | 4,205 | 88,789 | 1,642 | 13,842 |
| **Total** | | **12,756** | **1,421,857** | **488** | **496,408** | **1,506** | **793,947** | **5,433** | **110,466** | **5,329** | **21,036** |
| Volume anual de produção por *part number* | | % do total de PNs | % do volume produzido | X | | Y | | Z | | Sem classificação | |
| | | | | % *PNs* | % volume | % *PNs* | % volume | % *PNs* | % volume | % *PNs* | % volume |
| Irregular | Muito variável | 1.2% | 65.4% | 0.3% | 24.0% | 0.8% | 40.9% | 0.0% | 0.6% | 0.0% | 0.0% |
| | Pouco variável | 2.7% | 15.1% | 1.2% | 6.7% | 1.3% | 7.9% | 0.1% | 0.6% | 0.0% | 0.0% |
| | Subtotal | 3.9% | 80.6% | 1.5% | 30.6% | 2.1% | 48.7% | 0.2% | 1.2% | 0.0% | 0.0% |
| Lenta | Muito variável | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Pouco variável | 2.0% | 3.9% | 1.2% | 2.7% | 0.7% | 1.1% | 0.1% | 0.1% | 0.0% | 0.0% |
| | Subtotal | 2.0% | 3.9% | 1.2% | 2.7% | 0.7% | 1.1% | 0.1% | 0.1% | 0.0% | 0.0% |
| Extremamente Lenta | | 38.4% | 0.7% | 0.1% | 0.0% | 0.1% | 0.0% | 9.4% | 0.2% | 28.9% | 0.5% |
| Extremamente Variável | | 55.7% | 14.8% | 1.0% | 1.6% | 8.9% | 6.0% | 33.0% | 6.2% | 12.9% | 1.0% |
| **Total por período** | | **100%** | **100%** | **3.8%** | **34.9%** | **11.8%** | **55.8%** | **42.6%** | **7.8%** | **41.8%** | **1.5%** |

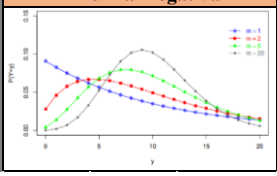
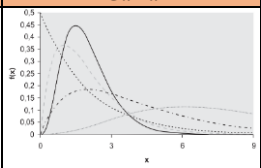
Fonte: Autor

Outra característica de demanda dos itens relacionados ao Produto X que se detecta a partir das informações apresentadas na Figura 53, refere-se aos seus tipos de distribuição do *lead time*. Conforme indicado no *framework*, o perfil de demanda irregular indica aderência à distribuição binomial negativa – representados, nesse estudo de caso, por 80% do volume produzido – enquanto os itens com demanda denominada lenta são mais bem caracterizados pela distribuição gama (4% do volume). Já os itens com perfil de demanda extremamente variável se dividem entre essas duas distribuições dependendo do seu desvio padrão – sendo 14% aderentes à distribuição binomial negativa e 1% à gama. Dessa forma, constata-se que aproximadamente 94% do volume total produzido se adere à distribuição binomial e 5% à distribuição gama. Por fim, cerca do 1% do volume restante referente ao perfil de demanda extremamente lento não se encaixa em nenhum tipo de distribuição do *framework* por seus itens possuírem períodos entre demandas excessivamente elevados.

Uma vez definidas e identificadas as características gerais de volume, perfil e distribuição do *lead time* da demanda, é importante que seus respectivos parâmetros sejam concatenados em uma única matriz para que suas interinfluências possam ser analisadas. A Figura 54 apresenta essa matriz, considerando ambas as perspectivas do *mix* de *part numbers* e do volume total de itens produzidos.

Figura 54 – Características gerais de demanda em relação ao *mix* e volume

| Características de demanda em relação ao *mix* de part numbers | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volume anual de produção por *part number* | | Irregular | | | Lenta | | | Extremamente lenta | Extremamente variável | Total |
| | | Muito variável | Pouco variável | **Subtotal Irregular** | Muito variável | Pouco variável | **Subtotal Lenta** | | | |
| Alto volume | Acima de 3000 | 30 | 1 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **31** |
| | Entre 1000 e 3000 | 57 | 0 | 57 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **57** |
| | Subtotal | 87 | 1 | 88 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **88** |
| Médio volume | Entre 500 e 999 | 26 | 18 | 44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | **46** |
| Baixo volume | Entre 100 e 499 | 35 | 226 | 261 | 1 | 38 | 39 | 0 | 46 | **346** |
| | Entre 20 e 99 | 0 | 99 | 99 | 0 | 212 | 212 | 0 | 710 | **1,021** |
| | Entre 5 e 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 6 | 2,173 | **2,180** |
| | Entre 1 e 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 523 | 3,636 | **4,159** |
| | Subtotal | 35 | 325 | 360 | 1 | 251 | 252 | 529 | 6,565 | **7,706** |
| Baixíssimo vol. | Menor que 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,374 | 542 | **4,916** |
| **Total** | | **148** | **344** | **492** | **1** | **251** | **252** | **4,903** | **7,109** | **12,756** |
| Volume anual de produção por *part number* | | % do total de PNs | | | | | | | | |
| Alto volume | Acima de 3000 | 0.2% | 0.01% | 0.2% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | **0.2%** |
| | Entre 1000 e 3000 | 0.4% | 0.0% | 0.4% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | **0.4%** |
| | Subtotal | 0.7% | 0.01% | 0.7% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | **0.7%** |
| Médio volume | Entre 500 e 999 | 0.2% | 0.1% | 0.3% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.02% | **0.4%** |
| Baixo volume | Entre 100 e 499 | 0.3% | 1.8% | 2.0% | 0.01% | 0.3% | 0.3% | 0.0% | 0.4% | **2.7%** |
| | Entre 20 e 99 | 0.0% | 0.8% | 0.8% | 0.0% | 1.7% | 1.7% | 0.0% | 5.6% | **8.0%** |
| | Entre 5 e 19 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.01% | 0.01% | 0.0% | 17.0% | **17.1%** |
| | Entre 1 e 4 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 4.1% | 28.5% | **32.6%** |
| | Subtotal | 0.3% | 2.5% | 2.8% | 0.01% | 2.0% | 2.0% | 4.1% | 51.5% | **60.4%** |
| Baixíssimo vol. | Menor que 1 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 34.3% | 4.2% | **38.5%** |
| **Total por período** | | **1%** | **3%** | **4%** | **0%** | **2%** | **2%** | **38%** | **56%** | **100%** |

| Características de demanda em relação ao volume total produzido | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volume anual de produção por *part number* | | Irregular | | | Lenta | | | Extremamente lenta | Extremamente variável | Total |
| | | Muito variável | Pouco variável | **Subtotal Irregular** | Muito variável | Pouco variável | **Subtotal Lenta** | | | |
| Alto volume | Acima de 3000 | 510,486 | 3,588 | 514,074 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **514,074** |
| | Entre 1000 e 3000 | 322,791 | 0 | 322,791 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **322,791** |
| | Subtotal | 833,277 | 3,588 | 836,865 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **836,865** |
| Médio volume | Entre 500 e 999 | 57,883 | 40,227 | 98,110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,745 | **102,855** |
| Baixo volume | Entre 100 e 499 | 39,333 | 148,258 | 187,591 | 611 | 19,346 | 19,957 | 0 | 24,981 | **232,529** |
| | Entre 20 e 99 | 0 | 22,922 | 22,922 | 0 | 36,039 | 36,039 | 0 | 81,433 | **140,394** |
| | Entre 5 e 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 56 | 56 | 160 | 68,306 | **68,522** |
| | Entre 1 e 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,721 | 29,396 | **32,117** |
| | Subtotal | 39,333 | 171,180 | 210,513 | 611 | 55,441 | 56,052 | 2,881 | 204,116 | **473,562** |
| Baixíssimo vol. | Menor que 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,949 | 1,626 | **8,575** |
| **Total** | | **930,493** | **214,995** | **1,145,488** | **611** | **55,441** | **56,052** | **9,830** | **210,487** | **1,421,857** |
| Volume anual de produção por *part number* | | % do total de PNs | | | | | | | | |
| Alto volume | Acima de 3000 | 35.9% | 0.3% | 36.2% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | **36.2%** |
| | Entre 1000 e 3000 | 22.7% | 0% | 22.7% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | **22.7%** |
| | Subtotal | 58.6% | 0.3% | 58.9% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | **58.9%** |
| Médio volume | Entre 500 e 999 | 4.1% | 2.8% | 6.9% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0.3% | **7.2%** |
| Baixo volume | Entre 100 e 499 | 2.8% | 10.4% | 13.2% | 0.04% | 1.4% | 1.4% | 0% | 1.8% | **16.4%** |
| | Entre 20 e 99 | 0% | 1.6% | 1.6% | 0% | 2.5% | 2.5% | 0% | 5.7% | **9.9%** |
| | Entre 5 e 19 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0.004% | 0.004% | 0.01% | 4.8% | **4.8%** |
| | Entre 1 e 4 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0.2% | 2.1% | **2.3%** |
| | Subtotal | 2.8% | 12.0% | 14.8% | 0.04% | 3.9% | 3.9% | 0.2% | 14.4% | **33.3%** |
| Baixíssimo vol. | Menor que 1 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0.5% | 0.1% | **0.6%** |
| **Total por período** | | **65%** | **15%** | **81%** | **0%** | **4%** | **4%** | **1%** | **15%** | **100%** |
| **Tipo de Distribuição** | | **Binomial negativa** | | | **Gama** | | | **N/A** | **BN ou Gama** | **-** |
| | |  | | |  | | | | Binomial negativa: 14%<br>Gama: 1% | |

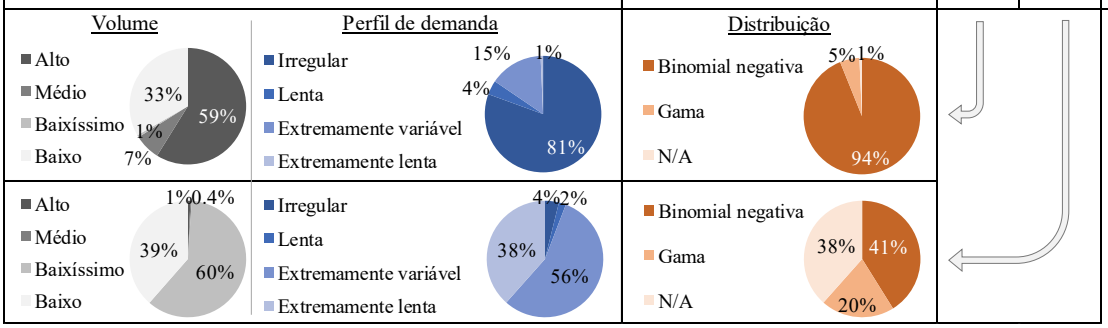
Fonte: Autor

Constata-se pela Figura 54 que os itens de alto e médio volume concentram itens com perfil de demanda irregular, majoritariamente compostos por alta variabilidade. Os itens de baixo volume, apesar de sua grande maioria de *part numbers* estar relacionada ao perfil de demanda extremamente variável (principalmente para itens com quantidade anual de produção entre 1 e 19), sua distribuição fica mais bem equilibrada junto aos itens com demanda irregular (com quantidade anual entre 20 e 499 e predominância de baixa variabilidade). Além disso, os itens de baixo volume são os únicos que também contemplam em seu *mix* ambos os itens de demandas lenta e extremamente lenta, caracterizados por baixa variabilidade. Por último, os itens de baixíssimo volume são constituídos por perfis de demanda extremos, tanto de característica lenta quanto variável – com significativa concentração em demandas extremamente lentas.

Em complemento à Figura 54, a Figura 55 apresenta as características de volume, perfil e distribuição de demanda de uma forma resumida – simplificando as camadas de informação para os níveis tático e gerencial – além de incluir o desempenho histórico de entrega (DE) para cada categoria. Nela é possível verificar que, sob a perspectiva do volume total de peças produzidas, a predominância se dá por itens de alto volume, com demanda irregular e aderentes à distribuição binomial negativa, enquanto sob a ótica do *mix* de *part numbers*, as categorias de maior representatividade estão atreladas a itens de baixíssimo volume, com demanda extremamente variável e que também seguem, em sua maioria, a distribuição binomial negativa.

Figura 55 – Características resumidas de demanda em relação ao *mix* e volume

| **Classificação do volume e perfil de demanda** | **Distribuição recomendada** | **% do volume** | **% do mix** | **% DE** |
|---|---|---|---|---|
| Alto volume com perfil de demanda irregular | Binomial negativa | 58.9% | 0.8% | 83% |
| Baixo volume com demanda irregular | Binomial negativa | 14.8% | 2.8% | 81% |
| Baixo volume com demanda extremamente variável | Binomial negativa ou Gama | 14.4% | 51.5% | 76% |
| Médio volume com demanda irregular | Binomial negativa | 6.9% | 0.3% | 82% |
| Baixo volume com demanda lenta | Gama | 3.9% | 2.0% | 83% |
| Baixíssimo volume com demanda extremamente lenta | N/A | 0.5% | 34.3% | 71% |
| Médio volume com demanda extremamente variável | Binomial negativa | 0.3% | 0.02% | 80% |
| Baixo volume com demanda extremamente lenta | N/A | 0.2% | 4.1% | 73% |
| Baixíssimo volume com demanda extremamente variável | Gama | 0.1% | 4.2% | 73% |




Fonte: Autor

Quanto ao desempenho histórico de entrega, observa-se que itens com perfis de demandas extremas (lentas e variáveis) e de baixo ou baixíssimo volumes são os que possuem os menores índices de entrega – variando entre 71 e 76%. Já os itens com demandas irregulares ou lentas, independentemente do seu volume, variam entre 81 e 83% – reitera-se que, apesar dos índices de entrega destes itens serem significativamente maiores e mais estáveis, os mesmos estão abaixo do objetivo de 87% estabelecido pela Empresa A.

Com o perfil de demanda e o tipo de distribuição do *lead time* definidos, o *software* Supply Chain Guru ® foi utilizado para a realização do cálculo do estoque de segurança e definição das políticas de inventário considerando três cenários: o primeiro com nível de serviço global de 95%, adotado como referência de "melhores práticas" dentro da Empresa A, o segundo com nível de serviço global de 87%, e o terceiro com um nível de serviço customizado de acordo com a frequência de demandas não zero, prazo de entrega, tipo de distribuição do *lead time* e categoria de custo de forma a atingir o nível de serviço mínimo aceitável de 83.5%. A Figura 56 apresenta os resultados dessa projeção indicando os valores de estoque de segurança (ES) propostos – em milhares de dólares e em termos percentuais – para cada um dos três cenários de acordo com a classificação de volume e perfil de demanda. Para fins comparativos, a Figura 56 também ilustra o nível de ES resultante do método atual utilizado pela Empresa A, bem como o desempenho de entrega realizado (DE), a posição de inventário (PI) e o montante de estoque em reserva (ER) – este último relacionado a itens sem giro de estoque nos últimos 12 meses, tendo o valor ER correspondente a parte ou à totalidade de seu custo provisionada como perda.

A Figura 56 mostra que o estoque de segurança deve aumentar em 46% em comparação ao atual para que o nível de serviço de 95% (cenário 1) seja obtido – sendo que as categorias com incremento mais significativo são as que contemplam perfis de demanda lenta ou extremamente variável (independentemente de seus respectivos volumes). Para os itens com demanda irregular, o nível de ES proposto pelo cenário 1 ante ao atual se distingue mediante ao volume de consumo – para os itens de alto e baixo volume, recomenda-se um acréscimo nos valores de ES, enquanto para os itens de médio volume o nível de ES pode ser reduzido. Já em relação aos cenários 2 e 3, os resultados apresentados são semelhantes; ambos propiciam uma redução geral do nível de estoque de segurança ante ao cenário atual – o primeiro em 3% e o segundo em 4% – sendo que o cenário 3 recomenda níveis de inventário levemente mais elevados para todas as categorias de volume e perfil de demanda em comparação ao cenário 2, exceto para os itens de baixo e baixíssimo volumes com demanda extremamente variável; nestes casos, o montante de ES indicado pelo cenário 3 é igual ou inferior ao cenário 2. Ressalta-

se que, seguindo as orientações do *framework*, os itens com demanda extremamente lenta foram associados à estratégia de fabricação *make-to-order* e, por este motivo, não possuem valores de ES indicados – observa-se que a Empresa A adota estratégia similar, uma vez que os mesmos correspondem a somente 3% do ES atualmente estabelecido. Entretanto, seus respectivos valores de ER representam quase metade do montante total, evidenciando que o tamanho de lote parametrizado para estes itens deve ser revisto.

Figura 56 – Níveis de estoque de segurança recomendados e dados comparativos

| | | | Nível de Serviço (NS) | | | | %DE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 87% | 95% | 87% | 83.5% | |
| Classificação de volume e perfil de demanda | $ PI Atual | $ ER Atual | $ ES Atual | $ ES Cenário 1 | $ ES Cenário 2 | $ ES Cenário 3 | |
| Alto volume com perfil de demanda irregular | $902 | $0.1 | $379 | $397 | $244 | $267 | 83% |
| Médio volume com demanda irregular | $145 | $1.1 | $67 | $61 | $36 | $41 | 81% |
| Médio volume com demanda extr. variável | $7.8 | $0.0 | $3 | $4.4 | $2.0 | $1.3 | 76% |
| Baixo volume com demanda irregular | $529 | $3.1 | $225 | $255 | $146 | $158 | 82% |
| Baixo volume com demanda lenta | $176 | $0.9 | $66 | $112 | $70 | $73 | 83% |
| Baixo volume com demanda extr. variável | $2,148 | $180 | $830 | $1,524 | $1,046 | $984 | 71% |
| Baixo volume com demanda extr. lenta | $67 | $24 | $7 | $0.0 | $0.0 | $0.0 | 80% |
| Baixíssimo volume com demanda extr. variável | $94 | $21 | $43 | $68 | $68 | $68 | 73% |
| Baixíssimo volume com demanda extr. lenta | $402 | $162 | $42 | $0.0 | $0.0 | $0.0 | 73% |
| **Total** | $4,471 | $393 | $1,661 | $2,422 | $1,613 | $1,593 | 75% |
| **% de aumento/redução do ES proposto *versus* valor de ES atual** | | | | +46% | -3% | -4% | |

| Classificação de volume e perfil de demanda | % PI Atual | % ER Atual | % ES Atual | % ES Cenário 1 | % ES Cenário 2 | % ES Cenário 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alto volume com perfil de demanda irregular | 20.2% | 0.01% | 22.8% | 16.4% | 15.1% | 16.8% |
| Médio volume com demanda irregular | 3.2% | 0.3% | 4.0% | 2.5% | 2.3% | 2.6% |
| Médio volume com demanda extr. variável | 0.2% | 0.0% | 0.2% | 0.2% | 0.1% | 0.1% |
| Baixo volume com demanda irregular | 11.8% | 0.8% | 13.5% | 10.5% | 9.1% | 9.9% |
| Baixo volume com demanda lenta | 3.9% | 0.2% | 4.0% | 4.6% | 4.3% | 4.6% |
| Baixo volume com demanda extr. variável | 48.0% | 45.8% | 50.0% | 62.9% | 64.8% | 61.8% |
| Baixo volume com demanda extr. lenta | 1.5% | 6.2% | 0.4% | 0% | 0% | 0% |
| Baixíssimo volume com demanda extr. variável | 2.1% | 5.4% | 2.6% | 3% | 4% | 4% |
| Baixíssimo volume com demanda extr. lenta | 9.0% | 41.2% | 2.5% | 0% | 0% | 0% |
| **Total** | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

% de aumento/redução do montante em ES proposto *versus* ES atual

- Aumento entre 0.1 - 10%
- Aumento entre 10.1 - 30%
- Aumento entre 30.1 - 50%
- Aumento superior a 50%
- Redução entre 0.1 - 10%
- Redução entre 10.1 - 30%
- Redução entre 30.1 - 50%
- Redução superior a 50%

Fonte: Autor

Conforme ilustrado pela Figura 56, há um hiato entre os níveis de serviço esperado e realizado pela Empesa A – representados, respectivamente, pela atual parametrização utilizada e pelo desempenho de entrega. Segundo os entrevistados, essa diferença está atrelada, principalmente, ao não cumprimento do *lead time* estabelecido para a fabricação/aquisição dos

itens (devido a atrasos na obtenção de matéria-prima ou em virtude de ineficiências do processo produtivo), à imprecisão da previsão de demanda, e também à falta de acuracidade dos tamanhos do lote de produção e gatilhos de revisão das políticas de inventário – argumento suportado pela Figura 47 desse estudo, que revela que mais da metade dos itens, independentemente de sua característica de demanda, possui periodicidade de revisão de 20 dias úteis. Em complemento à Figura 56 e para aprofundar o entendimento das similaridades e dos pontos de divergência entre os níveis de estoque de segurança dos cenários propostos em comparação ao atual, a Figura 57 agrupa os itens em quatro categorias, condicionadas a itens que possuem: ES sugerido em todos os cenários (propostos e atual), ES parametrizado no cenário atual e em ao menos um cenário proposto, ES recomendado somente nos cenários propostos e ES parametrizado somente no cenário atual – além de também indicar uma quinta categoria que considera os itens que não possuem ES recomendado em nenhum cenário.

Figura 57 – Detalhamento entre cenários e níveis de estoque de segurança

| | | | | Nível de Serviço (NS) | | | | %DE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 87% | 95% | 87% | 83.5% | |
| ES recomendado? | Classificação de volume e perfil de demanda | $ PI Atual | $ ER Atual | $ ES Atual | $ ES Cenário 1 | $ ES Cenário 2 | $ ES Cenário 3 | |
| Em todos os cenários | Alto volume com perfil de demanda irregular | $901 | $0.1 | $379 | $396 | $243 | $266 | 83% |
| | Médio volume com demanda irregular | $145 | $1.1 | $67 | $61 | $36 | $41 | 82% |
| | Médio volume com demanda extr. variável | $7.8 | $0 | $3 | $4.4 | $2.0 | $1.3 | 80% |
| | Baixo volume com demanda irregular | $527 | $3.1 | $225 | $253 | $145 | $157 | 81% |
| | Baixo volume com demanda lenta | $176 | $0.6 | $66 | $110 | $69 | $71 | 83% |
| | Baixo volume com demanda extr. variável | $1,466 | $22 | $824 | $873 | $535 | $479 | 78% |
| | Baixíssimo volume com demanda extr. variável | $16 | $0.5 | $40 | $6.7 | $6.7 | $6.7 | 77% |
| | Subtotal | **$3,238** (72.4%) | **$27** (6.9%) | **$1,603** (96.5%) | **$1,704** (70.4%) | **$1,038** (64.3%) | **$1,023** (64.2%) | **79%** |
| Parcialmente: atual e ao menos um proposto | Baixo volume com demanda extr. variável | **$1.2** (0.03%) | **$0** (0%) | **$0.5** (0.03%) | **$1.5** (0.06%) | **$0.2** (0.01%) | **$0** (0%) | **82%** |
| Somente em cenários propostos | Alto volume com perfil de demanda irregular | $0.7 | $0 | $0 | $1.3 | $0.8 | $1.5 | 86% |
| | Baixo volume com demanda irregular | $2.7 | $0 | $0 | $2.0 | $1.2 | $1.1 | 79% |
| | Baixo volume com demanda lenta | $0.5 | $0.3 | $0 | $1.7 | $1.0 | $1.2 | 82% |
| | Baixo volume com demanda extr. variável | $646 | $149 | $0 | $650 | $511 | $504 | 74% |
| | Baixíssimo volume com demanda extr. variável | $50 | $11 | $0 | $61 | $61 | $61 | 73% |
| | Subtotal | **$699** (15.6%) | **$160** (40.7%) | **$0** (0%) | **$716** (29.6%) | **$575** (35.7%) | **$570** (35.8%) | **74%** |
| Somente no cenário Atual | Baixo volume com demanda extr. variável | $12 | $0.7 | $5.9 | $0 | $0 | $0 | 78% |
| | Baixo volume com demanda extr. lenta | $10 | $0.7 | $7.0 | $0 | $0 | $0 | 81% |
| | Baixíssimo volume com demanda extr. variável | $2.7 | $0.1 | $2.9 | $0 | $0 | $0 | 78% |
| | Baixíssimo volume com demanda extr. lenta | $70.6 | $4.4 | $42 | $0 | $0 | $0 | 79% |
| | Subtotal | **$95** (2.1%) | **$5.8** (1.5%) | **$58** (3.5%) | **$0** (0%) | **$0** (0%) | **$0** (0%) | **79%** |
| Em nenhum cenário | Baixo volume com demanda extr. variável | $24 | $8.5 | $0 | $0 | $0 | $0 | 71% |
| | Baixo volume com demanda extr. lenta | $57 | $24 | $0 | $0 | $0 | $0 | 73% |
| | Baixíssimo volume com demanda extr. variável | $25 | $10 | $0 | $0 | $0 | $0 | 73% |
| | Baixíssimo volume com demanda extr. lenta | $331 | $158 | $0 | $0 | $0 | $0 | 71% |
| | Subtotal | **$437** (9.8%) | **$200** (50.9%) | **$0** (0%) | **$0** (0%) | **$0** (0%) | **$0** (0%) | **71%** |
| **Total** | | **$4,471** | **$393** | **$1,661** | **$2,422** | **$1,613** | **$1,593** | **75%** |

Fonte: Autor

Observa-se que somente 3.5% do montante em estoque de segurança se refere a itens recomendados apenas no cenário atual, sendo que a grande maioria concerne a perfis de demanda extremamente lentos – sendo candidatos a estratégias *make-to-order*, principalmente pelo valor de ER ser equivalente a 10% do montante em ES. No que tange aos itens recomendados em todos os cenários, a Figura 57 evidencia que a Empresa A possui oportunidades significativas de redução do ES mantendo o mesmo nível de serviço – uma vez que a diferença entre o cenário 2 e o atual é de aproximadamente 565 mil dólares (redução de 35%), sendo que praticamente metade desse valor atrela-se a itens com demanda extremamente variável. Entretanto, caso a pretensão seja elevar o nível de serviço para 95%, um aumento do ES em aproximadamente 6% é recomendado – ressalta-se que esse nível de serviço só pode ser garantido caso os pontos abordados no início do parágrafo anterior sejam solucionados. Em relação aos itens com ES recomendado exclusivamente pelos cenários propostos, percebe-se que sua totalidade é formada praticamente por perfis de demanda extremamente variáveis – representando cerca de 30% do ES total do cenário 1 e 35% para os cenários 2 e 3. Por fim, nota-se que os itens que não possuem ES recomendado em nenhum cenário atrelam-se a perfis de demanda extremamente lentos ou variáveis, sendo responsáveis por mais de 50% do montante em ES.

Uma vez evidenciado que os itens com demandas extremamente variáveis são os que possuem maior relação entre ES e ER, os cenários propostos foram modificados para incorporar a estratégia de fabricação *make-to-order* para um grupo de *part numbers* mais abrangente do que originalmente proposto para esse perfil de demanda – tendo como critério de seleção itens que inicialmente possuíam ES unitário ou que, concomitantemente, possuíam ES entre 2 e 5 e demanda anual de até 5 quantidades (estando majoritariamente atrelados a itens de baixíssimo volume ou ao espectro inferior dos itens de baixo volume). A Figura 58 apresenta os cenários propostos modificados, indicando uma redução significativa dos valores de ES em comparação à Figura 57. Neste novo panorama, é possível elevar o nível de serviço a 95% com valores totais em ES muito semelhantes ao cenário atual (incremento de apenas 2%) ou obter reduções significativas de aproximadamente 40% sem comprometer o nível de serviço. Observa-se que com essa nova dinâmica, a Empresa A pode elevar os valores em ES para perfis de demanda lenta ou irregular, independentemente do nível de volume, e agir de forma mais direcionada para itens com demanda extremamente variável – por exemplo, iniciativas que visem maior flexibilidade dos processos de fabricação para elevar a consistência do *lead time* de entrega, políticas de revisão contínua de inventário e melhor parametrização dos lotes de fabricação.

Figura 58 – Cenários modificados de estoque de segurança e dados comparativos

| | | | Nível de Serviço (NS) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 87% | 95% | 87% | 83.5% | %DE |
| Classificação de volume e perfil de demanda | $ PI Atual | $ ER Atual | $ ES Atual | $ ES Cenário 1 | $ ES Cenário 2 | $ ES Cenário 3 | |
| Alto volume com perfil de demanda irregular | $902 | $0.1 | $379 | $397 | $244 | $267 | 83% |
| Médio volume com demanda irregular | $145 | $1.1 | $67 | $61 | $36 | $41 | 81% |
| Médio volume com demanda extr. variável | $7.8 | $0.0 | $3.3 | $4.4 | $2.0 | $1.3 | 76% |
| Baixo volume com demanda irregular | $529 | $3.1 | $225 | $255 | $146 | $158 | 82% |
| Baixo volume com demanda lenta | $176 | $0.9 | $66 | $111 | $69 | $71 | 83% |
| Baixo volume com demanda extr. variável | $2,148 | $180 | $830 | $874 | $496 | $434 | 71% |
| Baixo volume com demanda extr. lenta | $67 | $24 | $7.0 | $0.0 | $0.0 | $0.0 | 80% |
| Baixíssimo volume com demanda extr. variável | $94 | $21 | $43 | $0 | $0 | $0 | 73% |
| Baixíssimo volume com demanda extr. lenta | $402 | $162 | $42 | $0.0 | $0.0 | $0.0 | 73% |
| **Total** | $4,471 | $393 | $1,661 | $1,702 | $994 | $974 | 75% |
| **% de aumento/redução *versus* valor de ES atual** | | | | 2% | -40% | -41% | |

| Classificação de volume e perfil de demanda | % PI Atual | % ER Atual | % ES Atual | % ES Cenário 1 | % ES Cenário 2 | % ES Cenário 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Alto volume com perfil de demanda irregular | 20.2% | 0.01% | 22.8% | 23.3% | 24.6% | 27.4% |
| Médio volume com demanda irregular | 3.2% | 0.3% | 4.0% | 3.6% | 3.7% | 4.2% |
| Médio volume com demanda extr. variável | 0.2% | 0.0% | 0.2% | 0.3% | 0.2% | 0.1% |
| Baixo volume com demanda irregular | 11.8% | 0.8% | 13.5% | 15.0% | 14.7% | 16.3% |
| Baixo volume com demanda lenta | 3.9% | 0.2% | 4.0% | 6.5% | 7.0% | 7.3% |
| Baixo volume com demanda extr. variável | 48.0% | 45.8% | 50.0% | 51.3% | 49.9% | 44.6% |
| Baixo volume com demanda extr. lenta | 1.5% | 6.2% | 0.4% | 0% | 0% | 0% |
| Baixíssimo volume com demanda extr. variável | 2.1% | 5.4% | 2.6% | 0% | 0% | 0% |
| Baixíssimo volume com demanda extr. lenta | 9.0% | 41.2% | 2.5% | 0% | 0% | 0% |
| **Total** | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

% de aumento/redução do montante em ES proposto *versus* ES atual

- Aumento entre 0.1 - 10%
- Aumento entre 10.1 - 30%
- Aumento entre 30.1 - 50%
- Aumento superior a 50%
- Redução entre 0.1 - 10%
- Redução entre 10.1 - 30%
- Redução entre 30.1 - 50%
- Redução superior a 50%

Fonte: Autor

A Figura 59 complementa a análise dos cenários modificados indicando que a maior parte dos itens de demanda extremamente variável que tiveram seus índices de ES reduzidos atrela-se aos *part numbers* com ES recomendados apenas pelos cenários propostos – uma vez que essa categoria representava 29% a 36% do ES total indicado na Figura 58 e, neste novo panorama, a mesma caracteriza somente cerca de 8%. O fato de os itens com esse perfil de demanda apresentarem altos índices de ER e baixo desempenho de entrega – mesmo com valores de ES significativos – corrobora com a premissa de que a Empresa A pode ser mais eficiente na parametrização dos níveis de ES e, em paralelo, focar na implementação de estratégias de produção flexíveis e na atualização dos tamanhos de lote de fabricação e das políticas de revisão de inventário.

Figura 59 – Detalhamento entre cenários modificados e níveis de estoque de segurança

| | | | | Nível de Serviço (NS) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 87% | 95% | 87% | 83.5% | |
| ES recomendado? | Classificação de volume e perfil de demanda | $ PI Atual | $ ER Atual | $ ES Atual | $ ES Cenário 1 | $ ES Cenário 2 | $ ES Cenário 3 | %DE |
| Em todos os cenários | Alto volume com perfil de demanda irregular | $901 | $0.1 | $379 | $396 | $243 | $266 | 83% |
| | Médio volume com demanda irregular | $145 | $1.1 | $67 | $61 | $36 | $41 | 82% |
| | Médio volume com demanda extr. variável | $7.8 | $0 | $3.3 | $4.4 | $2.0 | $1.3 | 80% |
| | Baixo volume com demanda irregular | $527 | $3.1 | $225 | $253 | $145 | $157 | 81% |
| | Baixo volume com demanda lenta | $176 | $0.6 | $65.8 | $110 | $69 | $71 | 83% |
| | Baixo volume com demanda extr. variável | $1,119 | $10.3 | $619 | $726 | $415 | $360 | 78% |
| | Subtotal | **$2,875** (64.3%) | **$15** (3.9%) | **$1,358** (81.8%) | **$1,551** (91.1%) | **$911** (91.7%) | **$897** (92.1%) | **79%** |
| Parcialmente: atual e ao menos um proposto | Baixo volume com demanda extr. variável | **$1.2** (0.03%) | **$0** (0%) | **$0.5** (0.03%) | **$1.5** (0.09%) | **$0.2** (0.02%) | **$0** (0%) | **82%** |
| Somente em cenários propostos | Alto volume com perfil de demanda irregular | $0.7 | $0 | $0.0 | $1.3 | $0.8 | $1.5 | 86% |
| | Baixo volume com demanda irregular | $2.7 | $0 | $0.0 | $2.0 | $1.2 | $1.1 | 79% |
| | Baixo volume com demanda lenta | $0.5 | $0.3 | $0.0 | $0.2 | $0.1 | $0.1 | 82% |
| | Baixo volume com demanda extr. variável | $105 | $12 | $0.0 | $146 | $81 | $75 | 76% |
| | Subtotal | **$109** (2.4%) | **$12** (3.2%) | **$0** (0%) | **$150** (8.8%) | **$83** (8.3%) | **$77** (7.9%) | **76%** |
| Somente no cenário Atual | Baixo volume com demanda extr. variável | $359 | $12 | $211 | $0 | $0 | $0 | 77% |
| | Baixo volume com demanda extr. lenta | $10 | $0.7 | $7.0 | $0 | $0 | $0 | 81% |
| | Baixíssimo volume com demanda extr. variável | $19 | $0.6 | $43 | $0 | $0 | $0 | 77% |
| | Baixíssimo volume com demanda extr. lenta | $71 | $4.4 | $42 | $0 | $0 | $0 | 79% |
| | Subtotal | **$458** (10.3%) | **$18** (4.6%) | **$303** (18.2%) | **$0** (0%) | **$0** (0%) | **$0** (0%) | **77%** |
| Em nenhum cenário | Baixo volume com demanda extr. variável | $565 | $145 | $0 | $0 | $0 | $0 | 74% |
| | Baixo volume com demanda extr. lenta | $57 | $24 | $0 | $0 | $0 | $0 | 73% |
| | Baixíssimo volume com demanda extr. variável | $75 | $21 | $0 | $0 | $0 | $0 | 73% |
| | Baixíssimo volume com demanda extr. lenta | $331 | $158 | $0 | $0 | $0 | $0 | 71% |
| | Subtotal | **$1,028** (23.0%) | **$347** (88.4%) | **$0** (0%) | **$0** (0%) | **$0** (0%) | **$0** (0%) | **72%** |
| **Total** | | **$4,471** | **$393** | **$1,661** | **$1,702** | **$994** | **$974** | **75%** |

Fonte: Autor

A fim de iniciar a abordagem da última etapa da segunda fase do de aplicação do *framework*, relacionada às políticas de inventário, a Figura 60 verifica a aderência da parametrização atual utilizada pela Empresa A em comparação às recomendações do *framework*, detalhando a porcentagem dos valores da posição de inventário para cada classificação de demanda. Observa-se que somente os itens com demanda extremamente lenta estão em linha ao *framework* proposto pelo fato de sua grande maioria estar atrelada a estratégias de fabricação MTO. Já os itens com perfil de demanda irregular estão parcialmente alinhados ao *framework*, uma vez que a porcentagem atrelada a políticas de revisão contínuas deveria ser mais elevada pelo fato de parte significativa dos itens não possuir lote de fabricação unitário. Já os itens com demanda extremamente variáveis de baixo ou baixíssimo volumes também refletem um alinhamento parcial, pois apesar dos mesmos possuírem uma

representatividade relevante parametrizada como MTO, as políticas de revisão contínua deveriam possuir preferência ante as de revisão periódica. Por fim, os itens de baixo volume com demanda lenta e médio volume com demanda extremamente variável não estão alinhados ao *framework* pois ambos não deveriam utilizar políticas de revisão periódica.

Figura 60 – Política de inventário atual por classificação de demanda

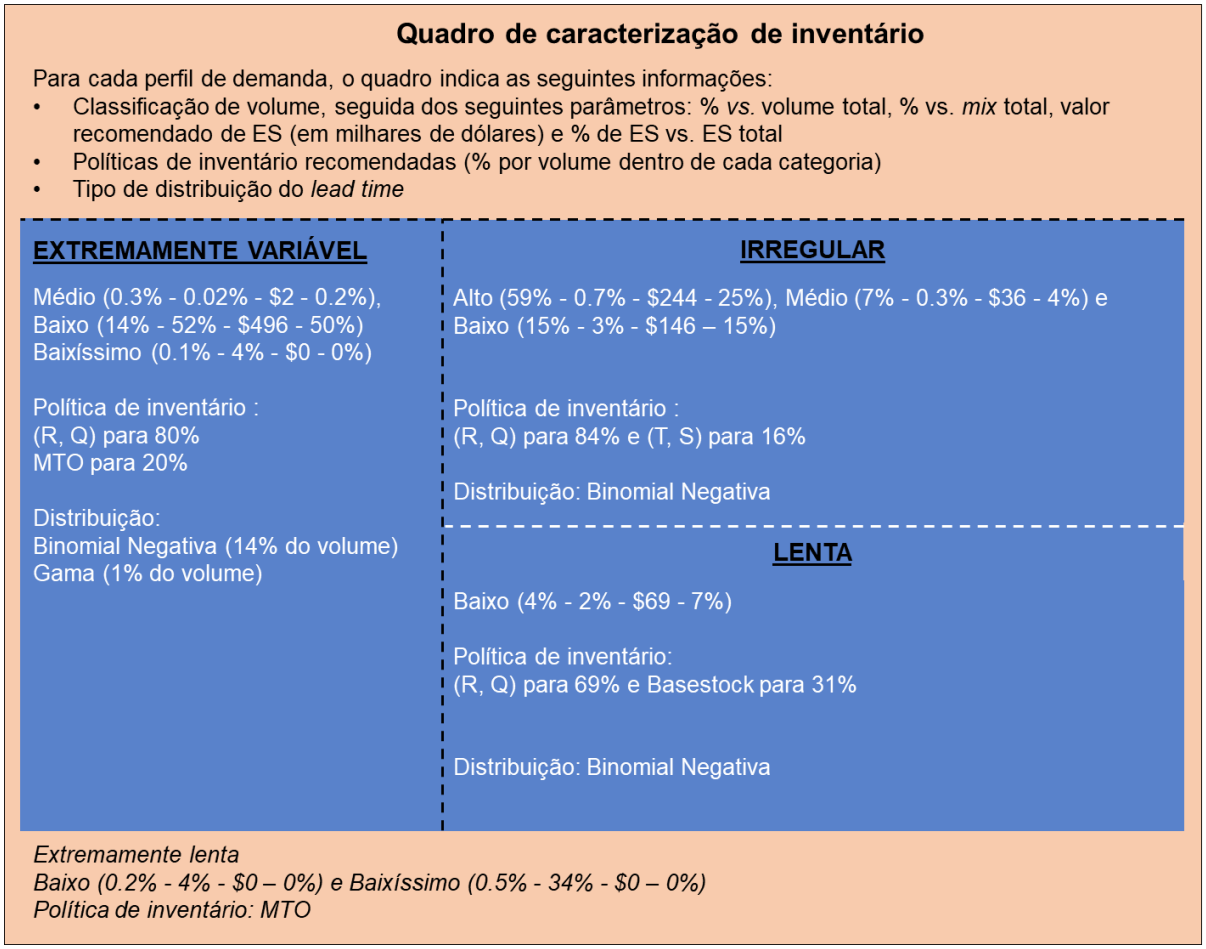
| % da Posição de Inventário por política de inventário atual e classificação de demanda | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Classificação de volume e perfil de demanda | Revisão contínua | Revisão periódica | MTO, influenciado por tamanho do lote | MTO |
| Alto volume com perfil de demanda irregular | 5.2% | 93.6% | 0.0% | 1.2% |
| Médio volume com demanda irregular | 0.0% | 91.8% | 0.0% | 8.2% |
| Médio volume com demanda extr. variável | 0.0% | 96.1% | 0.0% | 3.9% |
| Baixo volume com demanda irregular | 11.7% | 86.0% | 0.1% | 2.2% |
| Baixo volume com demanda lenta | 36.2% | 54.7% | 1.5% | 7.5% |
| Baixo volume com demanda extr. variável | 16.6% | 37.1% | 15.3% | 31.0% |
| Baixo volume com demanda extr. lenta | 1.7% | 6.5% | 7.4% | 84.3% |
| Baixíssimo volume com demanda extr. variável | 2.2% | 7.2% | 38.0% | 52.6% |
| Baixíssimo volume com demanda extr. lenta | 1.7% | 6.5% | 7.4% | 84.3% |
| Total | 12.7% | 52.3% | 10.6% | 24.4% |

Alinhado à proposta do framework?
Sim
Parcialmente
Não

Fonte: Autor

Para endereçar as políticas de inventário de acordo com a proposta do *framework*, a Figura 61 apresenta um quadro de caracterização geral de inventário. Observa-se que a política (R, Q) contínua é a mais recomendada em todas as categorias de demanda – devido à elevada intermitência e variabilidade da demanda dos itens relacionados ao Produto X, além do fato de que muitos itens de alto, médio e do espectro superior de baixo volume se aderem a lotes superiores a uma unidade. A segunda política de inventário mais presente sob a ótica de seu impacto perante o volume de produção é a (T, S) periódica; estando atrelada à itens com perfil de demanda irregular e lote unitário. Por fim, a política *Basestock* é sugerida para demandas lentas e também com lote unitário. Esse quadro, concomitantemente, já aborda a terceira etapa de aplicação do *framework*, pois o mesmo apresenta um resumo do panorama geral das características de volume, perfil de demanda, distribuição do *lead time* e estoque de segurança definidos nas etapas anteriores. Ressalta-se que o cenário considerado na elaboração desse quadro é baseado no cenário 2 modificado em virtude de o mesmo ter apresentado a melhor combinação de resultados entre nível de serviço e valores de inventário (com 87% de nível de serviço e redução em 40% dos níveis de ES, impactando, principalmente, os itens de demanda extremamente variável).

Figura 61 – Quadro de caracterização de inventário dos itens relacionados ao Produto X

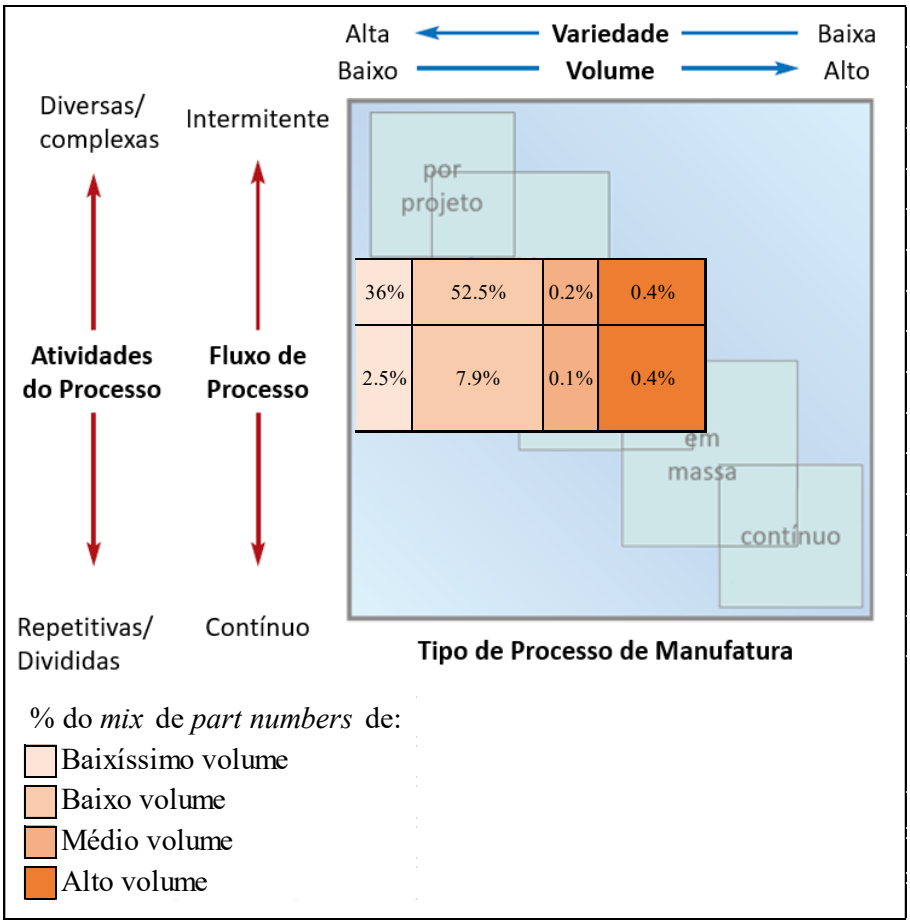



Fonte: Autor

A quarta e última etapa de aplicação do *framework* refere-se à associação das categorias de volume e perfil de demanda aos respectivos processos de manufatura estabelecidos – de forma a servir como uma verificação de segurança para validar se os mesmos estão corretamente definidos ou se há oportunidades de melhoria. Para a realização dessa tarefa, os itens tiveram seus fluxos de processos identificados pela Empresa A entre contínuo e intermitente, com suas respectivas atividades classificadas entre diversas/complexas e repetitivas/divididas – conforme sugerido na Figura 2 do capítulo de fundamentação teórica desse estudo. A Figura 62 apresenta a compilação dessa classificação, indicando que os itens se enquadram no tipo de processo de manufatura em lote – estando em linha com a prática adotada atualmente pela Empresa A. Por conta da presença de itens de baixo e baixíssimo volumes e de demanda extremamente lenta ou extremamente variável, uma parte significativa de *part numbers* do Produto X se enquadraria, conceitualmente, dentro do tipo de manufatura de *jobbing* ao invés de fabricação em lote. Entretanto, por conta do *design* modular do Produto X e da padronização dos processos de fabricação, os recursos utilizados pelas atividades dentro

do processo produtivo, bem como o fluxo seguido, pouco diferem independentemente do volume de produção.

Figura 62 – Processos de manufatura associados aos itens do Produto X



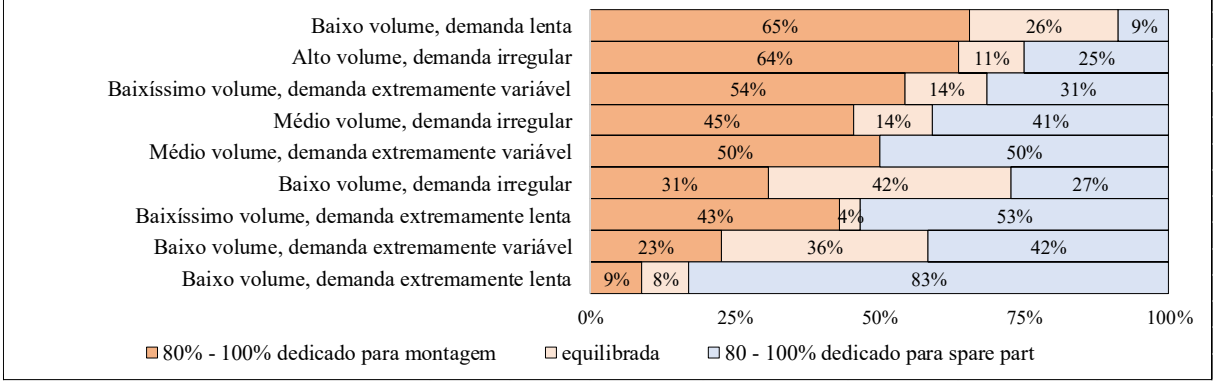

Fonte: Autor, adaptado de Slack et al., 2013

Outro ponto verificado nessa etapa relaciona-se à finalidade de consumo (montagem, reposição ou ambos) de cada item por sua respectiva classificação de volume e perfil de demanda. A Figura 63 apresenta uma análise indicando que quase 90% do *mix* é representado por itens de demanda extremamente lenta, de baixo ou baixíssimo volumes, e de demanda extremamente variável, de baixo volume, caracterizando-se por *part numbers* que são vendidos, em sua grande maioria, como peças de reposição. Dessa forma, infere-se que grande parte dos *spare parts* do Produto X possui elevada imprevisibilidade de demanda e tendência de concentração em categorias de menor volume. Em contrapartida, cerca de 7% do *mix* refere-se a itens destinados majoritariamente à montagem do Produto X, possuindo perfis de demanda irregular (de médio e alto volumes), extremamente variável (de baixíssimo volume) ou lenta (de baixo volume) – com maior representatividade de consumo dentro das categorias que incorporam médio e alto volumes. Por fim, os 3% do *mix* de *part numbers* restantes são

caracterizados por itens de demanda irregular ou extremamente variável – com volumes baixo ou médio, respectivamente – e com maior equilíbrio entre as diferentes finalidades de consumo.

Figura 63 – Finalidade de consumo do item por classificação de volume e demanda

| Classificação de volume e perfil de demanda | % do volume total | % do mix total | % do *mix* de *part numbers* produzidos **por classificação** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | dedicada p/ montagem | ao menos 80% p/ montagem | equilibrada | ao menos 80% p/ *spare part* | dedicada p/ *spare part* |
| Baixo volume, demanda lenta | 3.9% | 2.0% | 12% | 53% | 26% | 6% | 3% |
| Alto volume, demanda irregular | 58.9% | 0.8% | 0% | 64% | 11% | 24% | 1% |
| Baixíssimo volume, demanda extremamente variável | 0.1% | 4.2% | 54% | 0% | 14% | 0% | 31% |
| Médio volume, demanda irregular | 6.9% | 0.3% | 0% | 45% | 14% | 39% | 2% |
| Médio volume, demanda extremamente variável | 0.3% | 0.02% | 0% | 50% | 0% | 50% | 0% |
| Baixo volume, demanda irregular | 14.8% | 2.8% | 4% | 27% | 42% | 23% | 4% |
| Baixíssimo volume, demanda extremamente lenta | 0.5% | 34.3% | 43% | 0% | 4% | 0% | 53% |
| Baixo volume, demanda extremamente variável | 14.4% | 51.5% | 16% | 7% | 36% | 10% | 32% |
| Baixo volume, demanda extremamente lenta | 0.2% | 4.1% | 9% | 0% | 8% | 5% | 78% |
| % do mix total (montagem vs *spare part*) | | | **25.9%** | **6.0%** | **22.3%** | **6.2%** | **39.5%** |
| % do volume total (montagem vs *spare part*) | | | **2.1%** | **53.3%** | **17.9%** | **20.7%** | **6.0%** |




Fonte: Autor

O entendimento das características do processo produtivo e da finalidade de consumo dos itens, indicados pelas Figuras 62 e 63, em combinação à compreensão da caracterização de inventário, apresentada pela Figura 61, também auxilia a Empresa A na tomada de decisão *cross* funcional entre os departamentos responsáveis pela gestão de demanda, inventário e produção – uma vez que a combinação dos diferentes elementos apresentados por essas figuras possibilitam a intelecção dos processos de maneira horizontal, servindo, por exemplo, para a definição de melhorias do *layout,* da localização dos processos de manufatura ou dos estoques intermediários mediante à finalidade de consumo ou para a decisão dos tipos de itens a serem fabricados internamente *versus* adquiridos através de fornecedores, de acordo com suas respectivas classificações de volume e perfil de demanda.

# 5. CONCLUSÕES

Esse capítulo contempla as implicações dos resultados obtidos através desse estudo, considerando o aspecto holístico de gestão de inventário abordado pelo método proposto. Primeiramente, a seção 5.1 apresenta as conclusões acerca do estudo de caso apresentado no capítulo 4. Em seguida, a seção 5.2 analisa os resultados obtidos perante os objetivos e a questão de pesquisa, além de realizar uma reflexão sobre as contribuições desse trabalho para a área de conhecimento em questão. Finalmente, a seção 5.3 aborda as potenciais aplicações e recomendações para trabalhos futuros.

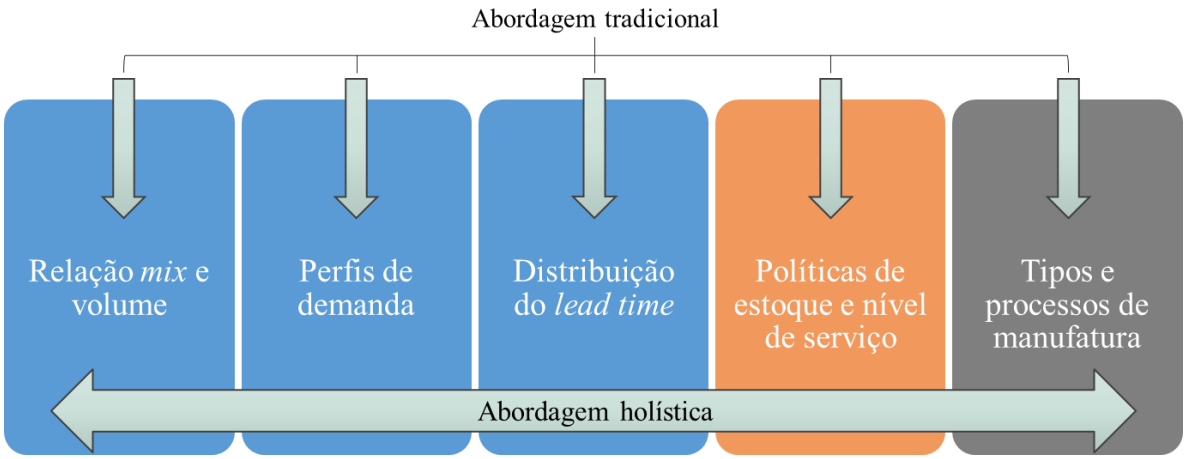
## 5.1 CONCLUSÕES ACERCA DO ESTUDO DE CASO

Uma das primeiras constatações durante a condução do estudo de caso deu-se pela identificação de que os critérios de volume e intermitência utilizados pela Empresa A, apesar de possuírem algumas similaridades, são distintos de forma geral dos parâmetros considerados pelo método proposto. Isso se dá pelo fato de os critérios utilizados pela Empresa A possuírem, em parte, caráter subjetivo ou por serem inconsistentes com o ambiente de HMLV e alta volatilidade em que seus produtos estão inseridos – por exemplo, cerca de 4% do *mix* de *part numbers* é caracterizado pela Empresa A com demanda constante, sendo que, de acordo com o método proposto todos os itens relacionados ao Produto X possuem demanda intermitente. Outro ponto de destaque, também atrelado à subjetividade e inconsistência parcial da parametrização aplicada atualmente pela Empresa A, refere-se a cerca de 40% do *mix* não possuir classificação de demanda no tocante aos parâmetros de intermitência e variabilidade (itens sem classificação XYZ, ilustrados pela Figura 44) – evidenciando tanto a dificuldade, quanto a falta de prioridade, da empresa lidar com demandas de perfil extremamente variável ou lento. Desta forma, o *framework* contribui significativamente para a melhoria do processo de classificação de demanda da Empresa A ao possuir clareza em relação aos pontos de corte de volume e perfil de demanda, por abranger os *part numbers* relacionados ao Produto X em sua totalidade e pelos novos tipos de classificação introduzidos serem aderentes à realidade da Empresa A – por exemplo, cerca de 38% do *mix* é caracterizado pela combinação de baixíssimo volume e demandas extremas (Figura 54). Além disso, apesar do foco do *framework* estar relacionado a ambientes HMLV, é positivo que o mesmo também incorpore itens de médio e alto volume, uma vez que os mesmos também podem apresentar elevados índices de intermitência e variabilidade, não sendo aderentes às práticas tradicionais para ambientes LMHV (baixo *mix* e alto volume) – conforme é o caso do Produto X.

Em relação ao desempenho dos níveis serviço e estoque de segurança propostos, alinhados ao tipo de distribuição do *lead time*, o método sugerido é capaz de entregar uma redução dos índices de estoque de segurança em cerca de 40% (Figura 58) – desde que o *lead time* de fabricação/aquisição dos itens seja executado dentro da expectativa, os tamanhos de lote e políticas de revisão de inventário sejam reavaliados conforme sugeridos pelo *framework* e a estratégia de fabricação seja MTO para a totalidade dos itens com demanda extremamente lenta e parcialmente para os que possuem demanda extremamente variável (conforme quadro de caracterização de inventário apresentado pela Figura 61). A importância destes pontos é evidenciada não somente pela análise dos níveis de estoque de segurança e desempenho de entrega, mas principalmente pelo fato de que mais de 90% dos valores de estoque em reserva estão atrelados a itens com demanda extremamente lenta ou extremamente variável. Caso esses pontos de melhoria não forem implementados, o nível de estoque de segurança deve ser elevado para cobrir a incerteza das demandas extremamente variáveis e, desta forma, o valor absoluto em estoque de segurança pouco diferirá do desempenho atual da Empresa A (Figura 56).

Por fim, o *framework* contribui também por ser um facilitador para a discussão e identificação de melhorias *cross* funcionais, por proporcionar uma síntese que concilia a inter-relação dos parâmetros de gestão de demanda, inventário e estratégias de manufatura como parte de um processo integrado – por exemplo, ao relacionar as características dos processos de fabricação mediante a classificação de volume de produção anual dos itens (Figura 62) e por indicar como o comportamento do perfil de demanda pode distinguir mediante a finalidade de consumo dos itens (Figura 63). Esse avanço na abordagem questiona o *status quo* por promover uma visão holística e horizontalizada dos conceitos discutidos e aplicados pelos diferentes departamentos da empresa, possibilitando maiores sinergia e consistência entre seus processos, conforme ilustrado pela Figura 64.

Figura 64 – Abordagem holística *versus* abordagem tradicional




Fonte: Autor

Outra contribuição viabilizada por esse estudo refere-se ao entendimento do comportamento da demanda do Produto X diante de cenários que impõem reduções temporárias significativas nos volumes de consumo e produção – uma vez que o estudo de caso foi conduzido durante o início do impacto da pandemia da Covid-19, indicando que a tendência é de que o *mix* continue elevado mesmo com uma redução expressiva dos volumes de venda.

## 5.2 CONTRIBUIÇÕES PARA A ÁREA DE CONHECIMENTO

O método holístico apresentado contribui significativamente para preencher a lacuna de pesquisa evidenciada pelo Quadro 3 desse estudo, uma vez que nenhuma das pesquisas abordadas pelo processo de revisão de literatura possui uma abrangência tão ampla sob a perspectiva da inter-relação dos conceitos de *mix* e volume, gestão de demanda, gestão de inventário, estratégias de produção e tipos de manufatura quanto o presente trabalho. Em relação aos trabalhos de outros autores considerados mais relevantes, também indicados no Quadro 3, o *framework* proposto nesse estudo se diferencia por utilizar parâmetros adicionais de caracterização de perfil de demanda (por exemplo, parâmetros estatísticos de coeficiente de variação e desvio padrão de demanda não zero) e por introduzir as categorias de perfil de demanda extremamente lenta e extremamente variável, além de definir valores objetivos para os conceitos de alto, médio, baixo e baixíssimo volumes – o Quadro 6 apresenta um resumo destes pontos de diferenciação. Já em comparação ao trabalho de Wanke (2012), considerado de grande relevância dentro da revisão de literatura desse estudo por conta de sua abordagem holística, o *framework* sugerido possui algumas vantagens adicionais além das indicadas no parágrafo anterior, das quais, destacam-se: a utilização de diferentes políticas de inventário para uma mesma categoria de demanda, a possibilidade de caracterização da demanda e recomendação de estoque de segurança para itens de baixíssimo volume, e a incorporação dos conceitos de estratégias e tipos de processos de manufatura.

Quadro 6 – Categorização dos principais estudos HMLV

| **Conceitos adicionais considerados para a implementação do método holístico** | **Conceito abordado no(s)** | |
|---|---|---|
| | **presente estudo?** | **trabalhos presentes na revisão de literatura?** |
| Parâmetros estatísticos de demanda não-zero | Sim | Não |
| Perfis de demanda extremamente lenta e variável | Sim | Não |
| Definição objetiva entre cada categoria de volume | Sim | Parcialmente |
| Definição objetiva dos pontos de corte de intermitência e variabilidade da demanda | Sim | Sim, porém menos abrangente |
| Incorporação dos conceitos de estratégias e tipos de manufatura como parte do processo de gestão de inventário | Sim | Parcialmente |

Fonte: Autor

## 5.3 TRABALHOS FUTUROS

O *framework* proposto se mostra robusto por ter sido capaz de promover recomendações e projeções de melhorias significativas no que tange aos resultados operacionais de gestão de inventário da Empresa A. Conforme apresentado pela seção 5.1, essas recomendações trazem avanços quantitativos – através de ganhos de eficiência entre os níveis de estoque de segurança e de serviço – e qualitativos – por meio de um processo claro e horizontalizado – estando em linha com os objetivos geral e específicos desse estudo. O *framework* também pode ser considerado promissor para a aplicação em diferentes estudos de caso, uma vez que a Empresa A está inserida em um ambiente competitivo e de alta complexidade – no qual a finalidade de seus itens pode estar relacionada para ambos os consumos para montagem ou reposição, em que, mesmo os itens de alto volume possuem parâmetros de elevada intermitência e variabilidade.

Em relação a trabalhos futuros, visando a evolução da abordagem apresentada, sugere-se a condução de novos estudos de com o seguinte foco:

- maior abrangência de perfis de demanda: esse estudo se restringiu a demandas com perfil intermitente e, apesar das mesmas serem o foco dos ambientes HMLV devido a elevada complexidade, o *framework* também é capaz de abordar demandas não intermitentes. Desse modo, novos trabalhos contemplando perfis de demanda tanto intermitentes quanto não intermitentes são importantes para validar o espectro geral do *framework*.
- políticas de inventário para demandas extremamente lentas: o *framework* se restringe à caracterização das demandas extremamente lentas e recomenda que as mesmas sigam a estratégia de fabricação MTO devido ao seu comportamento de intermitência extremamente elevado. Entretanto, novos estudos que se aprofundem na temática de políticas de inventário para esse tipo de perfil de demanda podem contribuir para incrementar o escopo de atuação do *framework*.

Ademais, recomenda-se também a utilização do *framework* holístico de gestão de inventário na condução de uma pesquisa-ação, a fim de elevar o grau de conhecimento e elasticidade situacional do método proposto.

# REFERÊNCIAS

AMIRKOLAII, K. N.; BABOI, A.; SHAHZAD, M. K.; TONADRE, R. Demand Forecasting for Irregular Demands in Business Aircraft Spare Parts Supply Chains by using Artificial Intelligence (AI). **ScienceDirect**, v.50, n.1. p. 15221-15226, julho 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896317331889

ATAN, Z.; AHMADI, T.; STEGEHUIS, C.; DE KOK, TON; ADAN, I. Assemble-to-Order Systems: A Review. **European Journal of Operational Research**, v. 261, n.3, p. 866-879, setembro 2017. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.02.029. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221717301510

BAI, L. **Inventory Control and Demand Distribution Characterization**. School of Industrial and Systems Engineering. Georgia Institute of Technology, Atlanta. 2005.

BARBOSA, C.; AZEVEDO, A. Hybrid modelling of MTO/ETO manufacturing environments for performance assessment. **International Journal of Production Research International Journal of Production Research**, v. 56 , n. 15, p. 5147-5171. janeiro 2018. DOI: 10.1080/00207543.2017.1421788. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2017.1421788?journalCode=tprs20

BARBOSA, C.; AZEVEDO, A. Assessing the impact of performance determinants in complex MTO/ETO supply chains through an extended hybrid modelling approach. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 11, p. 3577-3597, novembro 2018. DOI:10.1080/00207543.2018.1543970. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2018.1543970?journalCode=tprs20

BOYLAN, J.; SYNTETOS, A.; KARAKOSTAS, G. C. Classification for forecasting and stock control: a case study. **Journal of The Operational Research Society**, v. 59, n. 4, p. 473-481, Out. 2006. DOI: 10.1057/palgrave.jors.2602312. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1057/palgrave.jors.2602312

BRUNAUD, B. et al. Inventory policies and safety stock optimization for supply chain planning. **Aiche Journal**, v. 65, n. 1, p.99-112, Out. 2018.

BUXEY, G. Reconstructing inventory management theory. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 26, n. 9, p. 996-1012, 2006. DOI: https://doi.org/10.1108/01443570610682607.

CHAUCHIK-MIGUEL, P. A. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.** 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

CHOY, M.; CHEONG, M. L. F. **Identification of Demand through Statistical Distribution Modeling for Improved Demand Forecasting**. School of Information Systems, Singapore Management University. 2011

CONCEIÇÃO, S. V.; DA SILVA, G. L. C.; LU, D.; NUNES, N. T. R.; PEDROSA, G. C. A demand classification scheme for spare part inventory model subject to stochastic demand and lead time. **Production Planning & Control**, v. 26, n. 15, p. 1318-1331, maio 2015.

COSTANTINO, F. et al. **Spare parts management for irregular demand items**. Omega, v. 81, p. 57-66, dezembro 2018.

CROSTON, J. D. Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands. **Operational Research Quarterly** (1970-1977), v. 23, n. 3, p. 289-303, setembro 1972.

DE BRITO, E. **Distribuições em série de potências modificadas**: abordagem clássica e bayesiana. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

DURLINGER, P. **Inventory and holding costs:** A whitepaper approach for managers. Durlinger Consultancy. 2015.

EAVES, A. H. C. **Forecasting for the ordering and stock-holding of consumable spare parts**. The Management School. Lancaster University, Lancaster, 2002.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **The Academy of Management Review**, Stanford, v. 14, n. 4, p.532-550, outubro 1989.

FERREIRA, K. A.; ALCÂNTARA, R. L. C. Postponement e outros conceitos aplicados à gestão da produção: semelhanças e diferenças. **Revista Gestão Industrial**, v. 07, n. 01: p. 152-174, 2011. D.O.I.: 10.3895/S1808-04482011000100008

GENCER, Y. G. **Modern Inventory Control Policies for Appliance Firms**. Yalova University. Yalova, 2018.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. **Métodos de Pesquisa**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2009.

GÖDRI, I.; KARDOS, C.; PFEIFFER, A.; VÁNCZA, J. Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. **CIRP Annals - Manufacturing Technology** v. 68, n.1, 471-747, 2019. DOI:10.1016/j.cirp.2019.04.001.

GRIFFIS, S. E.; RAO, S.; GOLDSBY, T. J.; VOORHEES, C. M.; IYENGAR, D. Linking Order Fulfillment Performance to Referrals in Online Retailing: An Empirical Analysis. **Journal of Business Logistics**, v.33, n. 4, p. 279-294, 2012.

HAHN, G. J.; LEUCHT, A. Managing inventory systems of slow-moving items. **International Journal of Production Economics**, v. 170, p. 543-550, agosto 2015.

HANDFIELD, R.; MELYNK, S. The scientific theory-building process: a primer using the case of TQM. **Journal of Operations Management**, v.16 n. 4, p. 321–340, 1998.

HEIZER, J.; RENDER, B. **Principles of Operations Management**. Eigth Edition. Prentice Hall. 2011.

HENDRA; NAPITUPULU, H. L; NASUTION, H.; HIDAYATI, J. Portfolio Effect on End User Spare parts based on Demand Patterns. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** n. 505, 2019. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/505/1/012075/pdf

HUNSCHOFSKY, H.; MAUTHNER, G.; MAGNET, C. HOERBIGER. 1-1-1 Turning High-Mix / Low-Volume Manufacturing from a Constraint into a Competitive Advantage. **Journal of Materials Science and Engineering**, v. A6, n. 11-12, p. 310-320, 2016. DOI:10.17265/2161-6213/2016.11-12.004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315620576_HOERBIGER_1-1-1_Turning_High-Mix_Low-Volume_Manufacturing_from_a_Constraint_into_a_Competitive_Advantage

IVANOV, D. TSIPOULANIDIS, A. SCHONBERGER, J. **Inventory Management**. Berlin School of Economics and Law. Berlin, 2017.

KARAULOVA, T.; SHEVTSHENKO, E. Work-Cells Concept Development for High Mix Low Volume Market Conditions. **Procedia Engineering**, v.100, p. 90-99, 2015.

KATIC, M.; AGARWAL, R. The Flexibility Paradox: Achieving Ambidexterity in High-Variety, Low-Volume Manufacturing**. Global Journal of Flexible Systems Management**, v. 19, p. 69-86, março 2018.

KEATON, M. Using the Gamma distribution to model demand when response time is random. **Journal of Business Logistics**, v. 17, n. 1, p. 107-131, 1995.

KIM, Y.; LEE, J. Manufacturing strategy and production systems: An integrated framework. **Journal of Operations Management**, v. 11, n. 1, p. 3-15, março 1993.

KOCSI, B.; MANTONYA, M. M.; PUSZTAI, L. P.; BUDAI, I. **Real-Time Decision-Support System for High-Mix Low-Volume Production Scheduling in Industry 4.0**. University of Debrecen. Debrecen, 2020. DOI:10.3390/pr8080912. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343410901_Real-Time_Decision-Support_System_for_High-Mix_Low-Volume_Production_Scheduling_in_Industry_40

KWAN, H. W. **On The Demand Distributions of Slow-moving Items**. University of Lancaster. Lancaster, 1991.

LAJILI, I.; BABAI, M. Z.; LADHARI, T. **Inventory Performance of Multi-criteria Classification Methods-An Empirical Investigation**. 9th International Conference of Modeling, Optimization and Simulation. Bordeaux, 2012.

LENGU, D.; SYNTETOS, A. A.; BABAI, M. Z. Spare parts management: Linking distributional assumptions to demand classification. **European Journal of Operational Research**, v. 235, p. 624-635, 2014.

LIU, L.; XU, H.; ZHU, X. S. Push verse pull: Inventory-lead time tradeoff for managing system variability. **European Journal of Operational Research**, v. 287, p. 119–132, 2020.

MARTINS, G. A. Estudo de caso: uma reflexão sobre a aplicabilidade em pesquisas no Brasil. **Revista de Contabilidade e Organizações,** v. 2, n. 2, p. 9-18, janeiro, 2008.

MOHAMED, N. M. Z. N.; KHAN, M. K. Decomposition of Manufacturing Processes: A Review. **International Journal of Automotive and Mechanical Engineering**, v. 5, p. 545-560, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.15282/ijame.5.2012.2.0043

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. DE A. **Hidrologia Estatística**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, p.188, 2007.

PETROPOULOS, F. KOURENTZES, N. NIKOLOPOULOS, K. Another look at estimators for intermittent demand. **International Journal Production Economics**, v. 181, p. 154-161, 2016.

QUEIROZ, A. A.; CAVALHEIRO, D. **Método de previsão de demanda e detecção de sazonalidade para o planejamento da produção de indústrias de alimentos.** Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2003.

QUIVY, R.; CAMPENHOUDT, L. V. **Manual de Investigação em Ciências Sociais**. Lisboa, Gradiva. 1995.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Operations Management.** 7. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2013.

SLACK, N. et al. **Gerenciamento de Operações e de Processos.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

RAMAEKERS, K.; JANSSENS, G. **On the choice of a demand distribution for inventory management models**. Transportation Research Institute. Hasselt University. Hasselt, 2008.

ROSSETTI, M. D.; PIERSON, H. A. **Analysis of material flow in a high-mix, low-volume job shop: a case study**. Proceedings of the American Society for Engineering Management 2017 International Annual Conference. 2017.

RĂDĂŞANU, A. **Inventory Management, Service Level and Safety Stock.** Alexandru Ioan Cuza University. Iaşi. 2016.

PORRAS, E.; DEKKER, R. An inventory control system for spare parts at a refinery: An empirical comparison of different re-order point methods. **European Journal of Operational Research**, v. 184, p. 101-132, 2008.

SETH, D.; SETH, N.; DHARIWAL, P. Application of value stream mapping (VSM) for lean and cycle time reduction in complex production environments: a case study. **Production Planning & Control**, v. 28, n. 5, p. 398-419, março 2017. DOI: 10.1080/09537287.2017.1300352.

SONG, J-S.; ZIPKIN, P. Supply Chain Operations: Assemble-to-Order Systems. **Handbooks in Operations Research and Management Science**, v. 11, p. 561-596, 2003. DOI: 10.1016/S0927-0507(03)11011-0.

STANFORD, R. E.; MARTIN, W. Towards a normative model for inventory cost management in a generalized ABC classification system. **Journal of the Operational Research Society**, v. 58, p. 922–928, 2007.

STUART, I. et al. Effective case research in operations management: a process perspective. **Journal of Operations Management**, v. 20, n. 5, p.419-433, setembro 2002. DOI: 10.1016/S0272-6963(02)00022-0.

SNYDER, R. D.; ORD, J. K.; BEAUMONT, A. Forecasting the intermittent demand for slow-moving inventories: A modelling approach. **International Journal of Forecasting** v. 28, n. 2, p. 485–496, 2012. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2011.03.009.

SYNTETOS, A. A.; BABAI, M. Z.; ALTAY, N. On the demand distributions of spare parts. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 8, p. 2101-2117, 2012. DOI: 10.1080/00207543.2011.562561.

SYNTETOS, A. A.; BABAI, M. Z.; GARDNER, E. S. Forecasting intermittent inventory demands: simple parametric methods vs. bootstrapping. **Journal of Business Research**, v. 68, n. 8, p. 1746-1752, agosto 2015.

SYNTETOS, A. A.; BOYLAN, J. E.; CROSTON, J. D. On the categorization of demand patterns. **Journal of the Operational Research Society** v. 56, n. 5, p. 495–503, maio 2005. DOI:10.1057/palgrave.jors.2601841. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/28578603_On_the_categorization_of_demand_patterns

TAMÁS, P. **Simulation Investigational Method for Intermittent Production Systems.** University of Miskolc. Miskolc, 2018

TEUNTER, R. H.; DUNCAN, L. Forecasting intermittent demand: a comparative study. **Journal of the Operational Research Society**, v. 60, n. 3, p. 321-329, 2009.

TEUNTER, R. H.; BABAI, Z. M.; SYNTETOS, A. A. ABC Classification: Service Levels and Inventory Costs. **Production and Operations Management**, v. 19, n. 3, p. 343-352, maio 2010. DOI: 10.1111/j.1937-5956.2009.01098.x.

TURRINI, L.; MEISSNER, J. Spare parts inventory management: New evidence from distribution fitting. **European Journal of Operational Research**, v. 273, n. 1, p. 118–130, fevereiro 2019.

VAN KAMPEN, T. J.; AKKERMAN, R.; VAN DONK, D. P. SKU Classification: a literature review and conceptual framework. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 32, n. 7, p. 850 – 876, 2011. DOI:10.1108/01443571211250112.

VISWANATHAN, S; BHATNAGAR, R. The application of ABC analysis in production logistics: an explanation for the apparent contradiction. **International Journal Services Operations Management**, v. 1, n. 3, 2005. DOI:10.1504/IJSOM.2005.006577.

WANKE, P. Quadro conceitual para gestão de estoques: enfoque nos itens**. Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, n. 4, p. 677-687, 2012.

WILLIAMS, T. Stock Control with Sporadic and Slow-Moving Demand. J**ournal of the Operational Research Society**, v. 35, n. 10, p. 939-948, 1984. DOI:10.1057/jors.1984.185.

YANG, L.; LI, H.; CAMPBELL, J. F. Improving Order Fulfillment Performance through Integrated Inventory Management in a Multi-Item Finished Goods System. J**ournal of Business Logistics**, v. 41, n. 1, p. 54-66, 2019. DOI: 10.1111/jbl.12227.

YANG, B; BURNS, N. D. Implications of postponement for the supply chain. **International Journal of Production Research**, v. 41, n. 9, p. 2075–2090, 2003. DOI: 10.1080/00207544031000077284.

YEH, Q. J. A practical implementation of gamma distribution to the reordering decision of an inventory control problem. **Production and Inventory Management Journal**, v. 38, n. 1, p. 51-57, 1997.

YEH, Q.-J.; CHANG, T. P.; CHANG, H. C. An inventory control model with gamma distribution. **Microelectronics and Reliability**, v. 37, n. 8, p. 1197-1201, agosto 1997.

ZHANG, Z.; LI, K.W.; GUO, X.; HUANG J. A probability approach to multiple criteria ABC analysis with misclassification tolerance. **International Journal of Production Economics**, v. 229, 2020. DOI: 10.1016/j.ijpe.2020.107858.