

Dimensionamento de estoques de *spare parts* para manutenção: estudo de caso em uma empresa do ramo da tecnologia de defesa

Autor: Milena Dalla Costa

milena.costa@edu.pucrs.br, PUCRS, Brasil

Orientador: Rafael Roco de Araújo

rafael.araujo@pucrs.br, PUCRS, Brasil

Resumo: O presente estudo foi realizado em uma empresa do ramo de tecnologia de defesa que demandava o dimensionamento de estoques de *spare parts* para realização de manutenções de uma máquina crítica para a produção. Observou-se que as peças de reposição existentes não estavam nos registros de estoque e não possuíam nenhuma rastreabilidade, comprometendo o nível de serviço desejado pela empresa. Assim, este estudo teve como objetivo estruturar uma sistemática de gestão de estoques de *spare parts*, definindo os níveis de estoque de segurança e do ponto de reposição do estoque. Para apoiar no dimensionamento foi utilizada a programação de metas na otimização dos parâmetros de estoque. A partir dos resultados foram simulados cenários demonstrando os níveis de serviço que seriam possíveis de atingir dentro de um custo aceitável para a empresa.

Palavras-chave: *Spare Parts*; Dimensionamento de Estoques; Programação de Metas.

1. Introdução

Na esfera geopolítica, momentos de instabilidade surgiram em razão das incertezas provocadas pelas mudanças globais ao longo dos últimos séculos. Para se destacar, os países buscam reforçar suas capacidades de inovação tecnológica em suas indústrias de defesa, garantindo assim uma vantagem competitiva no mercado internacional (Confederação Nacional da Indústria, 2023).

No Brasil, a Base Industrial de Defesa (BID) está passando por um processo de fortalecimento após um longo período de estagnação, impulsionada por um investimento governamental de aproximadamente R\$240 milhões. Este investimento tem como objetivo reposicionar o país como um protagonista relevante no cenário global, melhorando a eficiência e a capacidade produtiva das indústrias, além de estimular a inovação em um setor que representa 4,8% do PIB e gera 2,9 milhões de empregos diretos e indiretos (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, 2023).

A inovação, a eficiência e a capacidade produtiva dependem dos sistemas de produção, e em especial, dos equipamentos utilizados nos sistemas. De acordo com Xenos (2014), o desempenho dos equipamentos depende da gestão da manutenção e do controle de estoques de peças de reposição que, quando mal dimensionados, podem causar baixa disponibilidade dos equipamentos, impactando na capacidade produtiva. Estoques de peças sobressalentes, para

atender reparos de falhas mais comuns sem atrasos, podem ser uma alternativa estratégica na gestão de sobressalentes (Slack *et al.*, 2023).

Quando se trata de peças de reposição, Campos e Simon (2019) analisaram modelos de otimização de estoques na literatura, com o objetivo de destacar benefícios específicos para cada um deles. Observou-se que aqueles direcionados para o aprimoramento das políticas de estoque são fundamentais para o controle e realização das manutenções e para aqueles que caracterizam e otimizam as demandas das peças, o uso do monitoramento das máquinas pode melhorar a previsibilidade de aquisição.

Cavalieri *et. al* (2008) buscou fornecer um método de tomada de decisão com o objetivo de orientar o gerenciamento de *spare parts* de manutenção, sendo dividido em 5 etapas: (i) mapeamento das peças; (ii) classificação das peças; (iii) previsão de demanda; (iv) política de gestão de estoque; e (v) teste de validação das políticas. Com a aplicação prática do método foi possível observar que a estrutura guiou o caminho para conduzir a análise de maneira correta e as suas decisões subsequentes que foram tomadas.

Já Basten e Ryan (2019) desenvolveram um modelo de revisão periódica para determinar a política ideal de controle de estoque para peças de reposição, sendo a principal variável de decisão o nível de estoque de segurança. Observou-se que os custos ideais do sistema e os níveis de estoque de segurança ideais não aumentam conforme os tempos de atraso permitido pela política de manutenção. Além disso, a política ideal mostra de forma explícita a interdependência entre as políticas de inventário e de manutenção, facilitando o gerenciamento conjunto dessas duas funções críticas de negócios.

A empresa analisada neste trabalho tem mais de 40 anos de experiência no mercado de tecnologia de defesa. O estudo focou nas *spare parts* essenciais para a realização de manutenções preventivas e corretivas de uma máquina crítica para a produção. A escolha dessa máquina se deve à sua necessidade de manter uma disponibilidade mais elevada em comparação com as outras máquinas de manufatura, podendo ser considerada também um gargalo em certas ocasiões. A máquina fica no final do processo e realiza a testagem do produto, o que acaba impactando em atrasos de entrega, diminuindo o índice de OTD (*On Time Delivery*).

Durante a realização das manutenções, constatou-se que as peças sobressalentes necessárias para executar o plano de manutenção preventiva e atender à demanda das manutenções corretivas não eram de fácil rastreabilidade, uma vez que os itens existentes estavam fora dos registros de estoque e sem um local de armazenagem específico e devidamente conhecido. Assim, toda vez que havia uma quebra de máquina e era necessária a reposição de uma peça, era preciso procurar o item fora do estoque ou comprá-lo. Se o item não estivesse

disponível, iniciava-se o processo de compra, gerando tempos e custos não programados, contribuindo também com uma baixa taxa de disponibilidade produtiva da máquina (em torno de 67%).

Conforme o problema apresentado, a questão de pesquisa é: quais níveis de estoque de *spare parts* garantem o nível de serviço desejado para realização das manutenções na empresa analisada? Para responder à questão, o presente trabalho tem como objetivo geral estruturar uma sistemática de gestão de estoques para peças sobressalentes em uma empresa do ramo da tecnologia de defesa. Os objetivos específicos são: (i) propor parâmetros de dimensionamento de estoque de *spare parts*; e (ii) avaliar os indicadores de desempenho da produção.

Em relação as delimitações da pesquisa, considera-se que: (i) serão utilizados dados de apenas 1 máquina para o estudo; (ii) não será realizado um estudo de viabilidade econômica dos níveis de estoques definidos; (iii) não será analisado o espaço físico que as novas peças em estoque ocuparão; (iv) a reposição dos estoques será realizada através do sistema de revisão contínua; (v) não será feita uma comparação de parâmetros devido à inexistência de dados; e (vi) será considerada como previsão de demanda a análise de especialistas.

O trabalho foi estruturado da seguinte maneira: na primeira seção, foram discutidos o contexto geral do estudo, as justificativas para a sua realização, os objetivos a serem alcançados e as delimitações que definem o escopo da pesquisa. Em seguida, na segunda etapa, foram apresentados o método de pesquisa e o método de trabalho utilizado para a execução do estudo. A etapa seguinte foi dedicada à apresentação dos resultados obtidos através da aplicação do método proposto. Por fim, a quarta e última seção apresentou as considerações finais do estudo, acompanhadas de recomendações para pesquisas futuras.

2. Procedimentos Metodológicos

A seção 2.1 aborda o método de pesquisa, examinando sua natureza, objetivos, abordagem, classificação temporal e análise dos procedimentos adotados. Em seguida, na seção 2.2, é realizada uma descrição do método de trabalho, estruturando e especificando cada etapa executada ao longo da pesquisa, bem como as ferramentas utilizadas.

2.1. Método de pesquisa

Este trabalho utiliza uma abordagem qualiquantitativa com o objetivo de reunir informações mais abrangentes do que de forma isolada. A pesquisa busca compreender, descrever e explicar o cenário por meio de uma análise qualitativa, enquanto a coleta e análise

dos dados foram realizadas de forma objetiva, com o uso de métodos quantitativos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

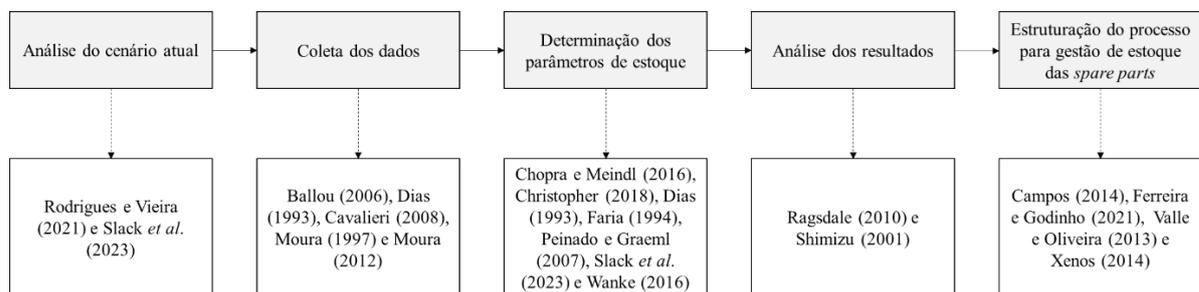
É possível classificar essa pesquisa como exploratória, tendo como objetivo principal o aprimoramento de ideias, tornando o problema mais explícito (GIL, 2007). Também é classificada como de natureza aplicada pois visa gerar conhecimentos voltados para a aplicação prática e destinados à solução de problemas específicos (SILVA; MENEZES, 2005).

O estudo pode ser definido como um estudo de caso, que envolve a análise aprofundada de um ou poucos objetos, visando obter um conhecimento amplo e detalhado sobre eles (GIL, 2007). Além disso, se caracteriza como um estudo transversal no tempo, pois examina uma amostra em um momento específico (HOCHMAN *et al.*, 2005).

2.2. Método de trabalho

O método de trabalho foi estruturado em cinco etapas, conforme apresentado na Figura 1, e dividido em: (i) Análise do cenário atual; (ii) Coleta dos dados; (iii) Determinação dos parâmetros de estoque; (iv) Análise dos resultados; e (v) Estruturação do processo para gestão de estoque das *spare parts*. Tais etapas foram adaptadas dos estudos de Ballou (2006), Campos (2014), Chopra e Meindl (2016), Christopher (2018), Cavalieri (2008), Dias (1993), Ferreira e Godinho (2021), Moura (1997), Moura (2012), Faria (1994), Peinado e Graeml (2007), Ragsdale (2010), Rodrigues e Vieira (2021), Shimizu (2001), Slack *et al.* (2023), Valle e Oliveira (2013), Wanke (2016) e Xenos (2014).

Figura 1 – Método de Trabalho



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

2.2.1. Análise do cenário atual

Slack *et al.* (2023) recomenda avaliar o desempenho da produção a nível operacional em relação aos seus objetivos (qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo). A velocidade é essencial na administração da produção, pois assegura entregas rápidas,

aprimorando o atendimento ao cliente, enquanto a confiabilidade garante pontualidade nas entregas, promovendo estabilidade operacional e diminuindo custos e tempo dedicados à resolução de problemas (SLACK *et al.*, 2023). Para avaliar o desempenho em relação a esses objetivos, podem ser utilizadas a taxa de disponibilidade produtiva, a taxa de utilização e o índice de *On Time Delivery*.

Segundo Slack *et al.* (2023), a disponibilidade é o grau pelo qual a operação está preparada para funcionar. Uma operação não pode ser considerada disponível quando tiver falhado ou quando estiver em manutenção, o que significa que pode ser comprometida tanto por tempos de parada quanto por quebras de máquina. A disponibilidade pode ser calculada por meio da Equação (1) (SLACK *et al.*, 2023):

$$\text{Taxa de Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo operacional total}}{\text{Tempo disponível}} \quad (1)$$

Outra maneira de otimização da capacidade produtiva e é através da medição da utilização dos equipamentos (SLACK *et al.*, 2023). Segundo Xenos (2014), medir a eficácia da produção através de itens de controle simples ajudam na prevenção de falhas dos equipamentos. A taxa de utilização pode ser calculada por meio da Equação (2), onde o tempo real de operação equivale ao tempo efetivo de produção, enquanto o tempo total de operação é considerando o tempo no qual a empresa se propõe a operar (XENOS, 2014).

$$\text{Taxa de Utilização} = \frac{\text{Tempo operacional real}}{\text{Tempo total}} \quad (2)$$

Segundo Rodrigues e Vieira (2021), o indicador OTD mede a relação entre entregas que são realizadas dentro do prazo estipulado pelo total de peças entregues, e pode ser calculado por meio da Equação (3):

$$OTD = \frac{\sum \text{Peças entregues no prazo}}{\sum \text{Peças entregues}} \quad (3)$$

2.2.2. Coleta dos dados

Cavaliere *et al.* (2008) destaca a necessidade da coleta de dados e da classificação das peças de reposição, já que em uma planta de produção há grande variedade de materiais utilizados para manutenções e reparos, cada um com características técnicas diferentes, permitindo que um sistema adequado forneça informações fundamentais para estabelecer a política de estoque correta. Ballou (2006) também considera essas práticas fundamentais para

as operações, pois elas fornecem informações cruciais que sustentam todas as atividades subsequentes.

Uma das maneiras para priorizar os dados analisados é a classificação dos dados por meio de uma matriz ABC. Este método apoia os processos de controle de estoques a partir da diferenciação de produtos em categorias limitadas, permitindo que cada item seja analisado com base na sua importância. A matriz ABC é baseada na Lei de Pareto ou princípio 80/20, na qual 80% das consequências estão concentradas em 20% das causas (BALLOU, 2006). Sua diferenciação é dada por: A – poucos itens muito importantes; B – alguns itens medianamente importantes, e C – muitos itens pouco importantes. A ideia é que quando há muitos itens para gerenciar, poucos deles são muito importantes, sendo necessário dar atenção principalmente a esses itens (MOURA, 2012).

Segundo Moura (1997), é necessário realizar a coleta de dados do consumo de cada item em um período específico e o seu preço unitário. Assim, pode ser realizado um ordenamento dos itens em escala decrescente de valor e calculado a participação de cada item no montante total do valor em estoque.

Segundo Dias (1993), em relação ao investimento total, os itens classificados como categoria A devem corresponder a aproximadamente a 65% desse valor, como categoria B aqueles que representam 25% e, na categoria C, os itens que correspondem a 10% deste montante.

A realização de uma coleta de dados consistente tem importância primordial para obtenção de resultados satisfatórios em uma classificação dos itens por uma matriz ABC. A fim de garantir a qualidade dos dados, é necessário que o levantamento seja conduzido por pessoas preparadas e definindo regras padronizadas para assegurar a uniformidade dos resultados (DIAS, 1993).

2.1.3. Determinação dos parâmetros de estoque

Slack *et al.* (2023) define estoque como sendo a acumulação armazenada de recursos materiais em um sistema de transformação, existindo sempre que houver uma diferença entre ritmo de fornecimento e a demanda de um item. De acordo com Ballou (2006), as razões para manter alguns níveis de estoques estão ligadas ao nível de serviço desejado e pela economia dos custos indiretos. Faria (1994) ressalta a importância do dimensionamento de peças sobressalentes para a política de estoques, que quando realizado de forma adequada, pode gerar redução de custos e de capital imobilizado.

Os níveis de serviço têm como propósito fornecer aos clientes o nível e a qualidade de atendimento que eles exigem com o menor custo possível, ou seja, alcançar a excelência de atendimento de forma consistente e rentável (CHRISTOPHER, 2018). Christopher (2018) afirma que os níveis de serviço podem ser associados à matriz ABC, estabelecendo que os itens A necessitem de uma disponibilidade em estoque de 99%, os itens B de 97% e os itens C de 90%.

Os estoques podem ser reabastecidos de duas maneiras, conforme seu consumo: pelo sistema de revisão contínua ou pelo sistema de revisão periódica. No sistema contínuo, uma quantidade fixa de material é enviada sempre que o estoque atinge um nível pré-definido, também conhecido como ponto de ressuprimento. Já o sistema periódico reabastece os estoques em intervalos regulares, com uma quantidade variável de material, calculada pelo nível alvo de estoque (PEINADO; GRAEML, 2007).

Para este estudo, a reposição dos estoques das peças de reposição será realizada com a aplicação do sistema de revisão contínua, pois esses itens possuem elevados custos de requisição, altos tempos de ressuprimento e baixo giro, sendo o mais adequado basear a política de estoques no nível de reposição (WANKE, 2006), o qual pode ser calculado por meio da Equação (4) (PEINADO; GRAEML, 2007).

$$PR = (D * TR) + ES \quad (4)$$

Onde PR é o ponto de ressuprimento; D é a demanda média do item; TR é o tempo de ressuprimento (*lead time*); e ES é o estoque de segurança.

De acordo com Chopra e Meindl (2016), a demanda é condicionada por diversos fatores e, para que seja estimada com certa precisão, podem ser empregados métodos de previsão adequados ao contexto. Em situações nas quais há escassez ou ausência de dados históricos, recomenda-se a adoção de métodos qualitativos, os quais, por serem subjetivos, baseiam-se exclusivamente no julgamento humano e utilizam a experiência e o conhecimento dos especialistas na área (CHOPRA; MEINDL, 2016).

Os estoques de segurança representam a quantidade mínima de itens que devem existir com objetivo de garantir o funcionamento ininterrupto e eficiente do processo produtivo, sem o risco de faltas, e vai depender da exatidão dos dados coletados de previsão de consumo e do grau de atendimento desejado (DIAS, 1993). Para Peinado e Graeml (2007), o objetivo é proporcionar um nível desejado de atendimento, garantindo proteção contra a falta de material

durante o período de reabastecimento. É recomendado calcular conforme a Equação (5), para demandas variadas e tempo de ressuprimento fixo (PEINADO; GRAEML, 2007).

$$ES = Z * \sqrt{TR} * \sigma_D \quad (5)$$

Onde Z é o nível de serviço desejado; TR é o tempo de ressuprimento; e σ_D é o desvio padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento.

2.1.4. Análise dos resultados

Uma organização frequentemente se encontra diante de processos de decisão que envolvem riscos e incertezas, nos quais devem ser estruturados e resolvidos de modo consistente (SHIMIZU, 2001). Shimizu (2001) considera o uso de um modelo matemático uma opção adequada para problemas de decisão, pois permite representar, descrever e simular um processo do mundo real, estabelecendo o melhor relacionamento possível entre variáveis e objetivos, respeitando os limites definidos.

A programação de metas (PM), segundo Ragsdale (2010), envolve solucionar problemas que não tenham uma função objetivo específica e sim um conjunto de metas que a organização queira atingir, envolvendo decisões gerenciais que podem ser mais precisamente modeladas usando metas ao invés de restrições rígidas.

Ragsdale (2010) resume a construção do modelo em 10 etapas: (i) identificar as variáveis de restrição; (ii) identificar as restrições rígidas; (iii) expressar as metas e o valor objetivo; (iv) criar as restrições usando as variáveis de decisão; (v) transformar as restrições anteriores em metas com variáveis de desvio; (vi) determinar quais as variáveis de desvio representam um desvio indesejável; (vii) formular um objetivo que penalize os desvios indesejáveis; (viii) identificar os pesos apropriados para o problema; (ix) resolver o problema; e (x) inspecionar a solução do problema. Portanto, o modelo pode ser expresso genericamente, conforme as Equações (6) e (7).

$$\text{Minimizar } Z = \sum \frac{1}{t_i} (w_i^- d_i^- + w_i^+ w_i^+) \quad (6)$$

Sujeito a:

$$X_n + d_n^- - d_n^+ = t_n \quad (7)$$

Onde:

X = variável de decisão principal;

d^+ = excesso da meta;

d^- = falta da meta;

w^- e w^+ = constantes numéricas;

n = número de variáveis de decisão;

t = meta.

A programação de metas como modelo matemático consiste em realizar trocas entre diferentes metas até encontrar a solução mais satisfatória para o tomador de decisão, explorando diversas alternativas possíveis até identificar aquela que melhor atende às metas estabelecidas (RAGSDALE, 2010).

2.1.5. Estruturação do processo para gestão de estoque das *spare parts*

De acordo com Campos (2014), um processo é uma sequência de atividades com um objetivo específico que pode ser classificado em três categorias: primário, de suporte ou gerencial. No contexto deste trabalho, o processo é caracterizado como suporte, pois se relaciona com os clientes internos, possuindo grande importância já que são os que guardam as maiores oportunidades de melhoria e aumento de eficiência dentro de uma organização (CAMPOS, 2014).

O objetivo desta etapa é estruturar um processo para a gestão de estoque das peças de reposição, fundamentado nos resultados obtidos nas etapas anteriores. De acordo com Valle e Oliveira (2013), essa fase visa descrever os processos para esclarecer a ordem, a hierarquia e a sequência lógica das atividades necessárias ao fluxo produtivo. Além disso, serve para validar o projeto, assegurando que seu funcionamento atenda aos requisitos estabelecidos e alcance os objetivos de entendimento, aprendizado e documentação sendo possível aplicar o ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), promovendo a melhoria contínua.

Conforme Ferreira e Godinho (2021), a gestão de peças de reposição se difere da administração de outros itens de estoque, pois sua finalidade é exclusivamente voltada à manutenção, de forma que ela garanta o funcionamento contínuo dos equipamentos de uma empresa. Portanto, a prioridade principal é assegurar a disponibilidade dessas peças para viabilizar os serviços de manutenção programados (FERREIRA; GODINHO, 2021).

Segundo Xenos (2014), a otimização do dimensionamento de *spare parts* depende da criação de um plano de manutenção aliado ao ciclo PDCA, pois é uma consequência direta desse processo. Assim, as peças passam a ser adquiridas com base em um planejamento concreto.

Ferreira e Godinho (2021) recomendam o uso de um banco de dados para armazenar dados básicos dos equipamentos e das suas peças sobressalentes, os registros de consumo das peças, informações como capacidade e quantidade dos estoques e detalhes sobre as aquisições de peças.

A manutenção e o gerenciamento de estoques são funções interdependentes, cujo desempenho eficaz requer a implementação de diversas ações com base na comunicação eficiente e alinhamento contínuo, destacando a importância da colaboração entre as partes envolvidas durante as etapas do processo para alcançar resultados mais precisos e alinhados aos objetivos organizacionais (FERREIRA; GODINHO, 2021).

Para iniciar a gestão do processo, Valle e Oliveira (2013) recomendam iniciar com a modelagem, utilizando diagramas lógicos para representar o fluxo a partir do estudo realizado. A partir disso, será necessário escolher um modelo, como o BPMN (*Business Process Modeling Notation*), uma técnica abrangente que oferece recursos para modelar diversos tipos de processos. Esse método emprega Diagramas de Processos de Negócios (DPN) para ilustrar o fluxo operacional e as atividades relacionadas a ele (VALLE; OLIVEIRA, 2013).

3. Resultados

Esta seção tem como objetivo detalhar a aplicação do método proposto no caso estudado. O foco do estudo é uma empresa com mais de 40 anos de experiência no mercado de tecnologia de defesa, localizada no Rio Grande do Sul, dedicada ao projeto, desenvolvimento, fabricação, manutenção e suporte logístico de sistemas eletrônicos avançados para uso militar e espacial. O presente trabalho restringiu-se a análise da área de manutenção, com enfoque no processo de gestão de peças sobressalentes das máquinas de produção.

3.1. Análise do cenário atual

Para avaliar o desempenho da produção no estado atual da empresa analisada, foram utilizadas duas métricas, as taxas de disponibilidade e de utilização, fazendo uso do histórico de dados do último ano da máquina em estudo. Os dados estão demonstrados na Tabela 1 e os cálculos foram realizados conforme apresentado nas Equações (8) e (9).

Tabela 1 – Dados históricos da disponibilidade produtiva da máquina em estudo

MÊS	TEMPO DISPONÍVEL (HR)	TEMPO DE UTILIZAÇÃO (HR)	PARADAS PROGRAMADAS (HR)	PARADAS NÃO PROGRAMADAS (HR)
out/23	183,8	16,00		
nov/23	183,8	73,00		
dez/23	183,8	18,50		
jan/24	183,8	19,00	61,25	
fev/24	183,8	11,00		26,25
mar/24	183,8	5,00		140,00
abr/24	183,8	18,00		
mai/24	183,8	20,00		
jun/24	183,8	31,00		
jul/24	183,8	28,00		
ago/24	183,8	53,00		
set/24	183,8	25,00		
Σ=	2205,0	317,50	61,25	166,25

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

$$\textit{Taxa de Disponibilidade} = \frac{2205}{1977,5} = 112\% \quad (8)$$

$$\textit{Taxa de Utilização} = \frac{317,5}{2205} = 14,4\% \quad (9)$$

O histórico da máquina no último ano demonstra um período muito curto de tempo em que a máquina é utilizada, mas isso se deve aos curtos tempos de ciclo e não à quantidade de vezes em que é acionada. Os resultados dos cálculos demonstram que a combinação da baixa utilização e disponibilidade elevada pode ser considerada ruim mediante aos objetivos da empresa, já que reflete ineficiência na alocação de recursos.

Apesar da taxa de disponibilidade ter resultado em um número elevado, o tempo em que a máquina se manteve parada durante os meses de fevereiro e março indicam que a sua confiabilidade é baixa, já que ficou quase um mês inteiro sem poder ser utilizada por problemas de manutenção, indicando que a resolução do problema não foi feita de maneira eficaz.

Em relação ao indicador de *On Time Delivery* (Equação 2), das 13 unidades de produção que foram testadas utilizando a máquina no último ano, 4 delas tiveram atrasos devido à problemas de disponibilidade durante os meses em que ficou parada, ocasionando em um OTD de 69%, conforme demonstrado na Equação (10).

$$\textit{OTD} = \frac{9}{13} = 0,69 \quad (10)$$

Esses três indicadores permitem visualizar que o cenário atual da empresa não demonstra uma boa velocidade de entrega dos seus produtos e nem uma boa confiabilidade da máquina, necessitando melhorar seu desempenho.

3.2. Coleta dos dados

Para coletar os dados iniciais foi necessário realizar um orçamento com o fornecedor da máquina em estudo, a fim de identificar as peças de reposição, o custo unitário e a quantidade utilizada por máquina. Após a obtenção desses dados, o primeiro passo foi calcular o valor total de cada uma das 28 peças de reposição, multiplicando a quantidade utilizada na máquina pelos seus valores unitários. Em seguida esses itens foram ordenados em escala decrescente de valor, sendo possível calcular o valor acumulado e as porcentagens absoluta e acumulada.

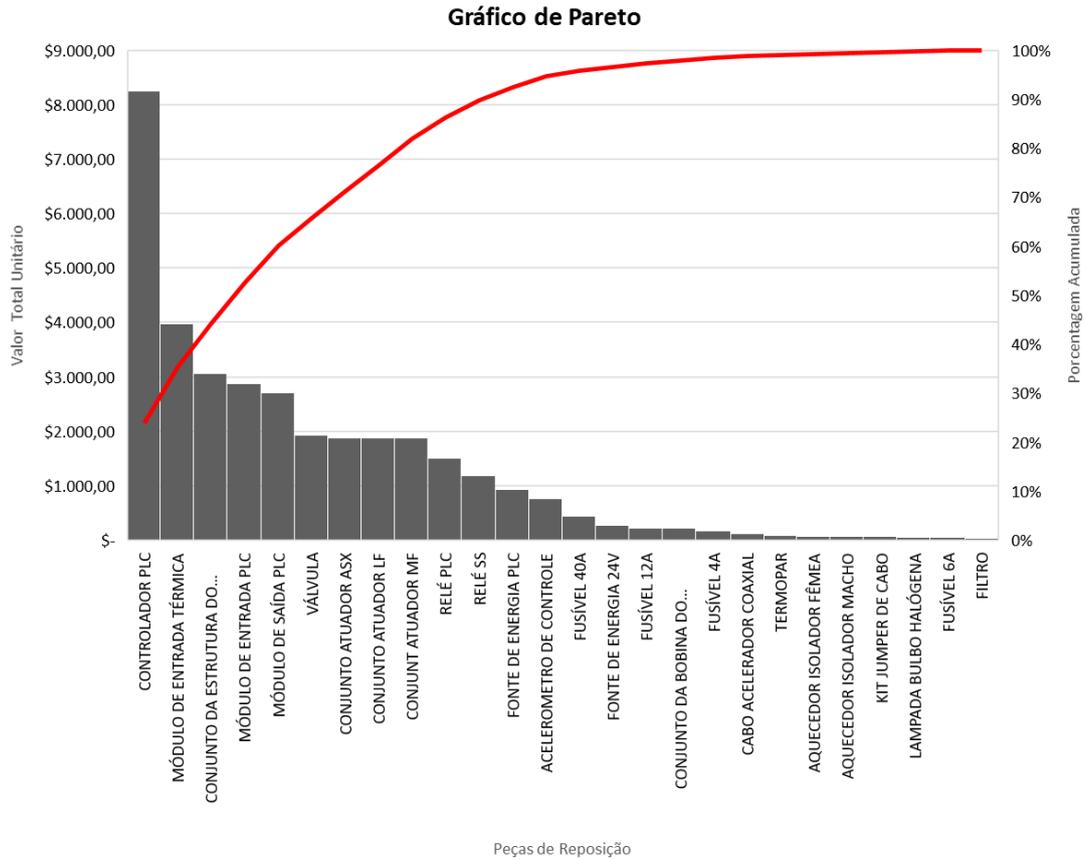
Com o resultado da porcentagem acumulada, os itens foram classificados de acordo com a curva ABC. Para isso, os que corresponderam a aproximadamente 65% do valor total do investimento, foram considerados como “A”, àqueles até 25% do valor, classificados como “B”, e o restante dos itens, correspondendo a cerca de 10%, como categoria “C”, conforme demonstrado na Figura 2. Os cálculos dos resultados são apresentados no APÊNDICE A. O método utilizado permitiu demonstrar de forma gráfica, através de Pareto, como os itens iniciais têm maior impacto, demandando mais recursos, como ilustrado na Figura 3.

Figura 2 – Classificação ABC dos itens

Classificação	Qtd. Itens	Porcentagem
A	7	65%
B	6	25%
C	15	10%

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Figura 3 – Gráfico de Pareto das peças de reposição



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

3.3. Determinação dos parâmetros de estoque

Após a coleta e classificação das peças de reposição, foi realizada uma previsão qualitativa de demanda, baseada na opinião de especialistas da área de manutenção na empresa analisada, devido à ausência de históricos de dados de consumo.

Com todos os dados disponíveis, os níveis de estoque de segurança foram calculados, com base nos níveis de serviço definidos para cada classificação: 99% para itens de classe A, 97% para itens de classe B e 90% para itens de classe C, utilizando a Equação (4). Por se tratar de uma máquina de fornecedor internacional, que exige a importação das peças de reposição, o tempo de ressuprimento para itens a pronta entrega possuem uma média de 40 dias. Já os itens que necessitam ser fabricados, requerem um prazo adicional de 30 dias para produção.

Além disso, a Equação (4) utilizada nesse cálculo inclui uma variável adicional: o desvio padrão da demanda durante o tempo de ressuprimento. No entanto, como se tratam de peças de reposição que não estão em estoque e a demanda desses itens não possui histórico de variação nesse período, essa variável foi excluída do cálculo.

Após os cálculos dos estoques de segurança feitos, foi possível realizar também o cálculo do ponto de reposição para cada uma das peças, indicando o momento em que o estoque precisa ser reabastecido, conforme a Equação (5). Os resultados são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Cálculos de estoque de segurança e ponto de ressurgimento

Item	Descrição	Tempo de ressurgimento (ano)	Demanda (ano)	Nível de serviço (%)	ES (unidades)	PR (unidades)
1	CONTROLADOR PLC	0,11	0,00	99%	0,77	0,77
2	MÓDULO DE ENTRADA TÉRMICA	0,11	0,00	99%	0,77	0,77
3	CONJUNTO DA ESTRUTURA DO AQUECEDOR	0,19	0,60	99%	1,02	1,13
4	VÁLVULA	0,11	0,20	99%	0,77	0,79
5	CONJUNTO ATUADOR ASX	0,11	0,00	99%	0,77	0,77
6	CONJUNTO ATUADOR LF	0,11	0,00	99%	0,77	0,77
7	CONJUNT ATUADOR MF	0,11	0,00	99%	0,77	0,77
8	MÓDULO DE ENTRADA PLC	0,11	0,00	97%	0,62	0,62
9	MÓDULO DE SAÍDA PLC	0,11	0,00	97%	0,62	0,62
10	RELÉ PLC	0,11	0,20	97%	0,62	0,64
11	RELÉ SS	0,11	0,20	97%	0,62	0,64
12	MÓDULO DE ENTRADA PLC	0,11	0,00	97%	0,62	0,62
13	FONTE DE ENERGIA PLC	0,11	0,20	97%	0,62	0,64
14	MÓDULO DE SAÍDA PLC	0,11	0,00	90%	0,42	0,42
15	ACELEROMETRO DE CONTROLE	0,11	0,20	90%	0,42	0,45
16	FUSÍVEL 40A	0,11	1,20	90%	0,42	0,56
17	FONTE DE ENERGIA 24V	0,11	0,20	90%	0,42	0,45
18	FUSÍVEL 12A	0,11	0,60	90%	0,42	0,49
19	CONJUNTO DA BOBINA DO AQUECEDOR	0,19	0,00	90%	0,56	0,56
20	FUSÍVEL 4A	0,11	0,40	90%	0,42	0,47
21	CABO ACELERADOR COAXIAL	0,11	0,20	90%	0,42	0,45
22	TERMOPAR	0,11	1,00	90%	0,42	0,53
23	AQUECEDOR ISOLADOR FÊMEA	0,11	0,00	90%	0,42	0,42
24	AQUECEDOR ISOLADOR MACHO	0,11	0,00	90%	0,42	0,42
25	KIT JUMPER DE CABO	0,11	0,00	90%	0,42	0,42
26	LAMPADA BULBO HALÓGENA	0,11	0,80	90%	0,42	0,51
27	FUSÍVEL 6A	0,11	0,20	90%	0,42	0,45
28	FILTRO	0,11	1,00	90%	0,42	0,53

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Os itens analisados neste estudo não estão em estoque e nem vinculados ao sistema da empresa, o que impossibilita a análise de um histórico da demanda. Por isso foi realizada a previsão de demanda contando exclusivamente com a opinião de um especialista, sendo mais um fator contribuinte para a incerteza dos dados utilizados. Além disso, a variação da demanda durante o tempo de ressurgimento foi excluída do cálculo, pelos motivos citados anteriormente, que é um dado que impacta significativamente nos resultados obtidos.

Todos esses fatores contribuíram para que os cálculos se mostrassem inconclusivos, já que tanto o ponto de reposição como o estoque de segurança obtiveram quase todos os resultados abaixo de uma unidade.

3.4. Análise dos resultados

Como os cálculos realizados na etapa 3.3 não apresentaram resultados conforme o esperado, foi necessário analisar os dados disponíveis de outra maneira, já que os indicadores de desempenho demonstrados na etapa 3.1 sinalizaram a necessidade de serem aprimorados, o que deve ser feito através da revisão da política de estoques atual.

Mediante conflito, para solucionar o problema em questão utilizou-se um modelo matemático, descrevendo e simulando resultados com base nas metas estabelecidas pela empresa analisada.

Dessa maneira, para analisar quais peças de reposição e suas respectivas quantidades a serem mantidas em estoque, foram definidas duas metas: (i) níveis de serviço superiores a 99% para Classe A, 97% para Classe B e 90% para Classe C; e (ii) somatório dos valores de estoques de segurança igual ou menor à \$3.071,00, valor no qual representa o custo de capital usando uma taxa mínima de atratividade de 10%.

Conforme o modelo genérico estabelecido, a Equação (6) expressa a minimização do somatório das variáveis de desvio dos níveis de serviço, enquanto a Equação (7) tem o objetivo de minimizar o somatório das variáveis de valor de estoque de segurança. Assim, alguns cenários puderam ser simulados.

O primeiro cenário foi baseado nos resultados dos cálculos de ponto de reposição, estabelecendo como regra não possuir itens faltantes para os itens que apresentaram valor maior que 0,5. Assim, foi encontrada uma solução que apresentou nível de serviço de 100% e custo total de estoques de \$3.296,00 totalizando um somatório de 81 peças em estoque, conforme a Figura 5 e APÊNDICE B.

Figura 5 – Cenário 1 da programação de metas

Restrições de metas	Qty peças	NS	Custo aceito
Quantidade real obtida	81	10	3.296
		Variáveis de desvio	
Faltante	59	0,0000	0,0000
Excedente	40	0,0095	225,1500

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

É possível verificar que todas as peças consideradas críticas foram dimensionadas e as que não receberam peso 1 para faltante não foram adicionadas em estoque, tendo excedente de 40 peças apenas para 1 item no qual pode ser repensado e analisado de forma exclusiva.

No segundo cenário optou-se por analisar um modelo onde todas as peças não deveriam possuir itens faltantes, nas quais receberam peso 1 e todas as excedentes peso 0. Dessa maneira, foi encontrada uma solução com nível de serviço de 100% e custo total de estoques de \$3.541,00 totalizando um somatório de 130 peças em estoque, conforme a Figura 6 e APÊNDICE C.

Figura 6 – Cenário 2 da programação de metas

Restrições de metas	Qty peças	NS	Custo aceito
Quantidade real obtida	130	10	3.541
		Variáveis de desvio	
Faltante	0	0,0000	0,0000
Excedente	30	0,0095	470,4000

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Nesse cenário, verifica-se que todas as peças foram adicionadas em estoque, porém com um custo maior que o anterior. Os 30 itens excedentes também se referem à 1 único item e pode ser analisado de forma única.

No último cenário optou-se por analisar um modelo priorizando a classificação ABC, utilizando como critério não possuir itens faltantes para as Classes A e B, que requerem um nível de serviço mais alto, enquanto para a Classe C, foi estabelecido que não deveria possuir nenhum excedente, já que eles resultariam em um custo desnecessário de estoques. Os itens excedentes e faltantes foram distribuídos com pesos 1 e 0. Foi possível verificar que com essas metas estabelecidos seria possível atingir um nível de serviço de 70% e um custo total de estoques de \$3.167,00 totalizando um somatório de 74 peças em estoque, conforme a Figura 7 e APÊNDICE D.

Figura 7 – Cenário 3 da programação de metas

Restrições de metas	Qty peças	NS	Custo aceito
Quantidade real obtida	74	7	3.167
		Variáveis de desvio	
Faltante	26	3,3205	0,0000
Excedente	0	0,0000	95,5500

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Nessa simulação, apesar de indicar um nível de serviço menor que as demais, possui o menor custo com nenhuma peça excedente.

Todas as soluções identificadas apresentam vantagens e desvantagens, cabendo à gerência a responsabilidade de determinar o cenário mais adequado às necessidades organizacionais.

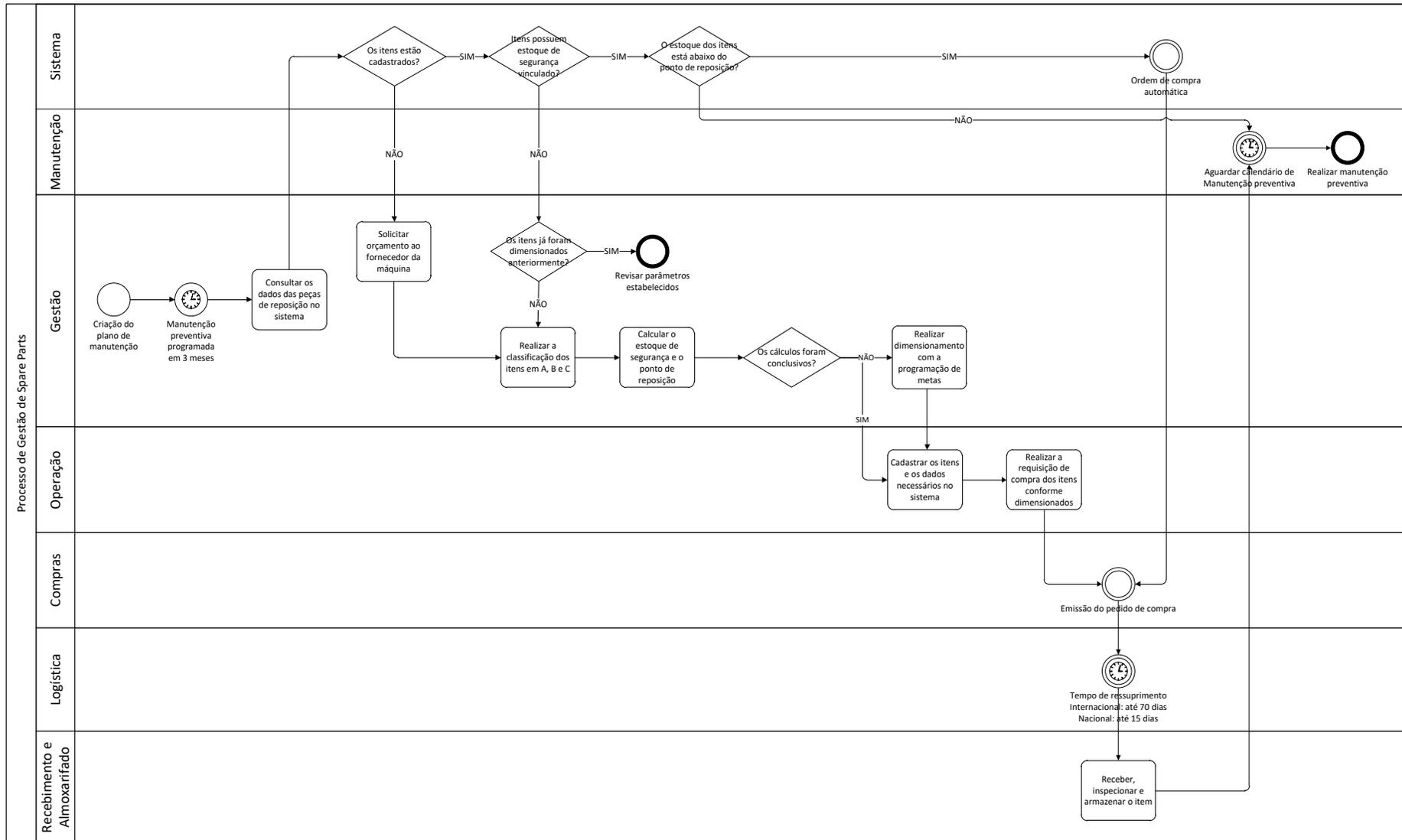
3.5. Estruturação do processo para gestão de estoque das *spare parts*

Nesta etapa, foi possível estruturar o fluxo de processo para gestão das peças sobressalentes de manutenção, fundamentada nas etapas do método proposto. Para a documentação desse fluxo foi escolhido o *software* Microsoft Visio, e a diagramação foi feita com base na notação BPMN.

O mapeamento do novo processo de gestão das *spare parts* tem início a partir da criação de um plano de manutenção preventiva e sendo executado toda vez que há uma programada em um período próximo a 3 meses. O processo foi dividido em 7 raias, nas quais representam as diferentes áreas em que o processo acontece até que a manutenção preventiva seja concluída, de forma a assegurar que todas colaborem sem que haja falhas de comunicação.

Dessa maneira, é possível visualizar a sequência dos processos a serem executados durante esse período, além de validar seu funcionamento. O resultado do mapeamento pode ser visualizado conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Mapeamento do processo de gestão de *spare parts*



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

4. Considerações Finais

Este artigo teve como objetivo estruturar uma sistemática de gestão de estoques para *spare parts* em uma empresa do ramo da tecnologia de defesa. A questão de pesquisa buscava entender quais os níveis de estoque de *spare parts* garantiam o nível de serviço desejado para a realização das manutenções. O estudo demonstrou como pode ser feita a gestão desses itens, por meio de uma metodologia adequada de gestão de estoques, apoiada pela curva ABC e por modelos de pesquisa operacional.

Em relação ao primeiro objetivo específico, foi proposta uma metodologia para a parametrização dos itens no estoque. Apesar dos cálculos não terem sido conclusivos, foi possível simular cenários conforme a programação de metas, demonstrando quais níveis de serviço seriam possíveis atingir um custo de \$3.167,00 com estoques de segurança.

Para o segundo objetivo específico, os indicadores de desempenho da produção no cenário atual foram avaliados e demonstram estar ruim mediante aos objetivos organizacionais, porém em relação ao estado futuro, o estudo apenas foi proposto e não foi aplicado, impossibilitando a análise.

Por fim, para trabalhos futuros propõe-se que caso não haja um histórico de dados da variação da demanda durante o tempo de ressuprimento, essa variável seja estimada para que os cálculos de estoque de segurança e ponto de reposição se ajustem melhor à realidade. Além disso, também se sugere que as peças de reposição sejam classificadas pela sua criticidade, de forma a analisar esses itens com outra perspectiva.

Referências

- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. Porto Alegre: Grupo A, 2006.
- BASTEN R. J. I.; RYAN, J. K. **The value of maintenance delay flexibility for improved spare parts inventory management**. *European Journal of Operational Research*, v. 278, 2. ed, 2019.
- CAVALIERI, S.; GARETTI, M.; MACCHI, M.; PINTO, R. **A decision-making framework for managing maintenance spare parts**. *Production Planning & Control*, 2008.
- CAMPOS, A. L. N. **Modelagem de processos com BPMN**. 2. ed. Rio de Janeiro, Brasport, 2014.
- CAMPOS, R. S.; SIMON, A. T. **Benefícios da otimização do estoque de peças de reposição em conjunto com as operações de manutenção**. *Exacta*, São Paulo, v. 17, 2019.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Panorama dos desafios brasileiros da indústria de defesa e segurança** / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2023.
- CHOPRA, S; MEINDL, P. **Gestão da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operações**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2016.
- CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 4. ed. Cengage Learning Brasil, 2018.
- DIAS, M. A. P. **Administração de materiais: uma abordagem logística**. 4. ed. São Paulo, Atlas, 1993.
- FARIA, J. G. A. **Administração da Manutenção: Sistema P.I.S.** São Paulo, Editora Edgard Blucher LTDA., 1994.
- FERREIRA, M. S.; GODINHO, C. V. **Peças de Reposição e Sua Gestão: Os Desafios em uma Empresa Pública de Geração de Energia**. *Rev. FSA*, Teresina, 2021.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo, Atlas, 2007.
- GURGEL, J. L. M.; CARMO, B. B. T. **Dimensionamento do estoque de derivados de sangue em um hemocentro do brasil baseado em um modelo de gestão de estoques e previsão de demanda**. *Produção Online*, Florianópolis, v. 14, 2014.
- HOCHMAN, B.; NAHAS, F. X.; FILHO, R. S. O.; FERREIRA, L. M. **Desenhos de pesquisa**. 2. ed. *Acta Cirúrgica Brasileira*, v. 20, 2005.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS. **Inovação na indústria da defesa terá investimento de R\$ 238 milhões**. Disponível em:

<https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2023/setembro/inovacao-na-industria-da-defesa-tera-investimento-de-r-238-milhoes>. Acesso em: 01 set. 2024.

MOURA, D. **Administração da produção e operações**. 1. ed. São Paulo, Saraiva, 2012.

MOURA, R. A. **Armazenagem: Do Recebimento à Expedição**. v. 2. São Paulo, IMAM, 1997.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba, UnicenP, 2007.

RAGSDALE, C. T. **Modelagem e Análise de Decisão**. 1. Ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

RODRIGUES, G. A.; VIEIRA, J. G. V. **Gerenciamento de risco de atraso em entregas logísticas por método de valor esperado**. Exacta, São Paulo, v. 19, 2021.

SHIMIZU, T. **Decisão nas Organizações**. São Paulo: Atlas, 2001.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração da Dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; BURGESS, N. **Administração da Produção**. 10. ed. Barueri, Atlas, 2023.

VALLE, R.; OLIVEIRA, S. B. **Análise e modelagem de processos: foco na notação BPMN**. 1. ed. São Paulo, Atlas, 2013.

WANKE, P. **Gestão de Estoques Na Cadeia de Suprimento: Decisões e Modelos Quantitativos**. São Paulo, Atlas, 2006.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva**. 2. ed. Nova Lima, Editora Falconi, 2014.

APÊNDICE A – Classificação das peças de reposição

Item	Descrição	Preço Unitário (USD)	Quantidade por Máquina	Valor Total	Valor Acumulado	Porcentagem Absoluta	Porcentagem Acumulada	Classificação
1	CONTROLADOR PLC	\$ 8.248,50	1	\$ 8.248,50	\$ 8.248,50	23,81%	23,81%	A
2	MÓDULO DE ENTRADA TÉRMICA	\$ 3.967,50	1	\$ 3.967,50	\$ 12.216,00	11,45%	35,26%	
3	CONJUNTO DA ESTRUTURA DO AQUECEDOR	\$ 1.020,00	3	\$ 3.060,00	\$ 15.276,00	8,83%	44,09%	
4	VÁLVULA	\$ 1.924,50	1	\$ 1.924,50	\$ 17.200,50	5,55%	49,64%	
5	CONJUNTO ATUADOR ASX	\$ 1.876,50	1	\$ 1.876,50	\$ 19.077,00	5,42%	55,06%	
6	CONJUNTO ATUADOR LF	\$ 1.876,50	1	\$ 1.876,50	\$ 20.953,50	5,42%	60,47%	
7	CONJUNT ATUADOR MF	\$ 1.876,50	1	\$ 1.876,50	\$ 22.830,00	5,42%	65,89%	
8	MÓDULO DE ENTRADA PLC	\$ 1.848,00	1	\$ 1.848,00	\$ 24.678,00	5,33%	71,22%	B
9	MÓDULO DE SAÍDA PLC	\$ 1.791,00	1	\$ 1.791,00	\$ 26.469,00	5,17%	76,39%	
10	RELÉ PLC	\$ 1.509,00	1	\$ 1.509,00	\$ 27.978,00	4,36%	80,75%	
11	RELÉ SS	\$ 297,00	4	\$ 1.188,00	\$ 29.166,00	3,43%	84,18%	
12	MÓDULO DE ENTRADA PLC	\$ 1.018,50	1	\$ 1.018,50	\$ 30.184,50	2,94%	87,12%	
13	FONTE DE ENERGIA PLC	\$ 927,00	1	\$ 927,00	\$ 31.111,50	2,68%	89,79%	C
14	MÓDULO DE SAÍDA PLC	\$ 909,00	1	\$ 909,00	\$ 32.020,50	2,62%	92,42%	
15	ACELEROMETRO DE CONTROLE	\$ 765,00	1	\$ 765,00	\$ 32.785,50	2,21%	94,62%	
16	FUSÍVEL 40A	\$ 73,50	6	\$ 441,00	\$ 33.226,50	1,27%	95,90%	
17	FONTE DE ENERGIA 24V	\$ 265,50	1	\$ 265,50	\$ 33.492,00	0,77%	96,66%	
18	FUSÍVEL 12A	\$ 75,00	3	\$ 225,00	\$ 33.717,00	0,65%	97,31%	
19	CONJUNTO DA BOBINA DO AQUECEDOR	\$ 18,00	12	\$ 216,00	\$ 33.933,00	0,62%	97,93%	
20	FUSÍVEL 4A	\$ 81,00	2	\$ 162,00	\$ 34.095,00	0,47%	98,40%	
21	CABO ACELERADOR COAXIAL	\$ 120,00	1	\$ 120,00	\$ 34.215,00	0,35%	98,75%	
22	TERMOPAR	\$ 45,00	2	\$ 90,00	\$ 34.305,00	0,26%	99,01%	
23	AQUECEDOR ISOLADOR FÊMEA	\$ 3,00	24	\$ 72,00	\$ 34.377,00	0,21%	99,22%	
24	AQUECEDOR ISOLADOR MACHO	\$ 3,00	24	\$ 72,00	\$ 34.449,00	0,21%	99,42%	
25	KIT JUMPER DE CABO	\$ 64,50	1	\$ 64,50	\$ 34.513,50	0,19%	99,61%	
26	LAMPADA BULBO HALÓGENA	\$ 28,50	2	\$ 57,00	\$ 34.570,50	0,16%	99,77%	
27	FUSÍVEL 6A	\$ 52,50	1	\$ 52,50	\$ 34.623,00	0,15%	99,93%	
28	FILTRO	\$ 25,50	1	\$ 25,50	\$ 34.648,50	0,07%	100,00%	
				Σ TOTAL	\$ 34.648,50			

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

APÊNDICE B – Cenário 1 da programação de metas

TMA 10,00%

Dados do problema	Classe A							Classe B							Classe C														Custo capital \$ 3.071
	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14	Item 15	Item 16	Item 17	Item 18	Item 19	Item 20	Item 21	Item 22	Item 23	Item 24	Item 25	Item 26	Item 27	Item 28	
Nível de Serviço	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
Custo unitário de estoque (\$)	824,9	396,8	102,0	192,5	187,7	187,7	187,7	184,8	179,1	150,9	29,7	101,9	92,7	90,9	76,5	7,4	26,6	7,5	1,8	8,1	12,0	4,5	0,3	0,3	6,5	2,9	5,3	2,6	

Restrições de metas	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14	Item 15	Item 16	Item 17	Item 18	Item 19	Item 20	Item 21	Item 22	Item 23	Item 24	Item 25	Item 26	Item 27	Item 28	NS	Custo aceito	
Quantidade real obtida	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	0	0	6	0	0	12	0	0	2	0	0	0	2	0	41	10	3.296
Faltante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	3	0	2	1	0	24	24	1	0	1	0	0,0000	0,0000	
Excedente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0,0095	225,15	
Meta	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	6	1	3	12	2	1	2	24	24	1	2	1	1	10,0000	3.070,9500	
Valor alvo	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	6	1	3	12	2	1	2	24	24	1	2	1	1	10	3.071	

Desvio percentual	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14	Item 15	Item 16	Item 17	Item 18	Item 19	Item 20	Item 21	Item 22	Item 23	Item 24	Item 25	Item 26	Item 27	Item 28		
Faltante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0,0000	0,0000
Excedente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0,00095	0,073316075

Pesos	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14	Item 15	Item 16	Item 17	Item 18	Item 19	Item 20	Item 21	Item 22	Item 23	Item 24	Item 25	Item 26	Item 27	Item 28		
Faltante	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0
Excedente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2

Função Objetivo (Minimizar) 0,1485

Classe A	65,00%
Classe B	25,00%
Classe C	10,00%
	100,00%

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

APÊNDICE C – Cenário 2 da programação de metas

TMA 10,00%

Dados do problema	Classe A							Classe B							Classe C														Custo capital \$ 3.071
	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14	Item 15	Item 16	Item 17	Item 18	Item 19	Item 20	Item 21	Item 22	Item 23	Item 24	Item 25	Item 26	Item 27	Item 28	
Nível de Serviço	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
Custo unitário de estoque (\$)	824,9	396,8	102,0	192,5	187,7	187,7	187,7	184,8	179,1	150,9	29,7	101,9	92,7	90,9	76,5	7,4	26,6	7,5	1,8	8,1	12,0	4,5	0,3	0,3	6,5	2,9	5,3	2,6	

Restrições de metas	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14	Item 15	Item 16	Item 17	Item 18	Item 19	Item 20	Item 21	Item 22	Item 23	Item 24	Item 25	Item 26	Item 27	Item 28	NS	Custo aceito	Variáveis de desvio
Quantidade real obtida	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	6	1	3	12	2	1	2	24	24	1	2	1	31	10	3.541	
Faltante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000	
Excedente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0,0095	470,4	
Meta	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	6	1	3	12	2	1	2	24	24	1	2	1	1	10,0000	3.070,9500	
Valor alvo	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	6	1	3	12	2	1	2	24	24	1	2	1	1	10	3.071	

Desvio percentual	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14	Item 15	Item 16	Item 17	Item 18	Item 19	Item 20	Item 21	Item 22	Item 23	Item 24	Item 25	Item 26	Item 27	Item 28	NS	Custo aceito
Faltante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0000	0,0000
Excedente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0,00095	0,153177356

Pesos	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14	Item 15	Item 16	Item 17	Item 18	Item 19	Item 20	Item 21	Item 22	Item 23	Item 24	Item 25	Item 26	Item 27	Item 28	NS	Custo aceito
Faltante	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Excedente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2

Função Objetivo (Minimizar) 0,3083

Classe A	65,00%
Classe B	25,00%
Classe C	10,00%
	100,00%

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

APÊNDICE D – Cenário 3 da programação de metas

TMA 10,00%

Dados do problema	Classe A							Classe B							Classe C														Custo capital \$ 3.071
	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14	Item 15	Item 16	Item 17	Item 18	Item 19	Item 20	Item 21	Item 22	Item 23	Item 24	Item 25	Item 26	Item 27	Item 28	
Nível de Serviço	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
Custo unitário de estoque (\$)	824,9	396,8	102,0	192,5	187,7	187,7	187,7	184,8	179,1	150,9	29,7	101,9	92,7	90,9	76,5	7,4	26,6	7,5	1,8	8,1	12,0	4,5	0,3	0,3	6,5	2,9	5,3	2,6	

Restrições de metas	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14	Item 15	Item 16	Item 17	Item 18	Item 19	Item 20	Item 21	Item 22	Item 23	Item 24	Item 25	Item 26	Item 27	Item 28	NS	Custo aceito	
Quantidade real obtida	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	24	24	1	2	1	1	7	3.167
Faltante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6	1	3	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3,3205	0,0000	
Excedente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95,55	
Meta	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	6	1	3	12	2	1	2	24	24	1	2	1	1	10,0000	3.070,9500	
Valor alvo	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	6	1	3	12	2	1	2	24	24	1	2	1	1	10	3.071	

Desvio percentual	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14	Item 15	Item 16	Item 17	Item 18	Item 19	Item 20	Item 21	Item 22	Item 23	Item 24	Item 25	Item 26	Item 27	Item 28		
Faltante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3321	0,0000
Excedente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03111415

Pesos	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Item 14	Item 15	Item 16	Item 17	Item 18	Item 19	Item 20	Item 21	Item 22	Item 23	Item 24	Item 25	Item 26	Item 27	Item 28		
Faltante	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Excedente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2

Função Objetivo (Minimizar) 0,3943

Classe A	65,00%
Classe B	25,00%
Classe C	10,00%
	100,00%

Fonte: Elaborado pela autora (2024)