



César Cardozo Amaral

**ELABORAÇÃO DE UM DIAGRAMA DE DECISÃO COMO
ARTEFATO PARA AUXILIAR NA DECISÃO DO MÉTODO
DE CONTROLE DE ESTOQUE DE UMA EMPRESA DO
RAMO DE PETRÓLEO E GÁS**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Logística da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Logística

Orientador: Antônio Márcio Tavares Thomé

Rio de Janeiro
setembro de 2020



César Cardozo Amaral

**ELABORAÇÃO DE UM DIAGRAMA DE DECISÃO COMO
ARTEFATO PARA AUXILIAR NA DECISÃO DO MÉTODO
DE CONTROLE DE ESTOQUE DE UMA EMPRESA DO
RAMO DE PETRÓLEO E GÁS**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Logística da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Logística.

Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

Prof. Antônio Márcio Tavares Thomé

Orientador

PUC-Rio

Marcelo Maciel Monteiro

UFF

Prof. Daniel Pacheco Lacerda

UNISINOS

Rio de Janeiro, 8 de setembro de 2020

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial do trabalho, é proibida sem a autorização da universidade, da autora e do orientador.

César Cardozo Amaral

Graduou-se em Engenharia da Produção pela UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) em 2010.

Trabalha há 8 anos em Gestão da Cadeia de Suprimentos no ramo de Petróleo e Gás.

Ficha Catalográfica

Amaral, César Cardozo

Elaboração de um diagrama de decisão como artefato para auxiliar na decisão do método de controle de estoque de uma empresa do ramo de petróleo e gás / César Cardozo Amaral ; orientador: Antônio Márcio Tavares Thomé. – 2020.

75 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2020.

Inclui bibliografia

CDD: 658.5

À minha esposa, aos meus pais e ao meu
irmão pelo apoio, pela confiança e pelo
carinho ao longo da minha jornada.

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Antônio Márcio Thomé pela parceria e ensino ao longo deste trabalho.

Aos professores da banca examinadora pela disponibilidade e comentários.

Aos meus pais pela dedicação ao longo da vida.

Ao meu irmão pelo companheirismo e amizade.

À minha esposa pelo carinho e conselhos ao longo da jornada.

À PUC-Rio pelos ensinamentos a mim confiados.

À minha empresa por disponibilizar esta oportunidade de desenvolvimento.

Ao amigo e Professor João Francisco da Fontoura Vieira pelo apoio em momentos chave.

Resumo

Amaral, César Cardozo; Thomé, Antônio Márcio (orientador). **Elaboração de um diagrama de decisão como artefato para auxiliar na decisão do método de controle de estoque de uma empresa do ramo de petróleo e gás.** Rio de Janeiro, 2020. 75p. Dissertação de Mestrado – Pontifício Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A Gestão de Estoque eficiente permeia a escolha do método de controle mais adequado, principalmente em empresas que apresentem grande variedade de itens em estoque, quando a definição de métodos diferentes para cada item pode resultar em ganhos pela redução de excessos ou faltas, assim como pela redução de custos administrativos dessa gestão. A empresa estudada se insere nesse contexto, pois apresenta excesso de materiais em estoque, bem como faltas de alguns itens, gerando prejuízos financeiros decorrentes da má gestão de seu estoque. Assim, por adotar a mesma política de controle de estoque para todos os itens, que abrangem de materiais de administração predial a equipamentos de exploração de petróleo e gás, essa empresa se depara com a necessidade de implementar controles de estoque mais adequados para cada um desses itens. Desse modo, este trabalho propõe responder a seguinte pergunta-chave de estudo: *Qual a política de gestão de estoques mais adequada para cada produto analisado?* Para responder a essa pergunta, o trabalho propõe a elaboração de um Diagrama de Decisão que auxilie na tomada dessa decisão. Para tanto, busca classificar esses SKU quanto a Curva ABC para valor (R\$), volume consumido e criticidade, sendo esta última definida com apoio do *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Além disso, analisa as distribuições de demanda e de *lead time* de cada SKU como parâmetros para auxiliar nessa decisão, formando um diagrama onde os nós representam esses parâmetros (Curva ABC, Demanda e *Lead Time*) e os caminhos correspondem as classificações internas de cada um desses parâmetros, apontando, ao final de cada caminho, qual o melhor controle de estoque para o SKU analisado considerando o *Kanban* e o MRP como alternativas. Aplicou-se a *Design Science Research* (DSR) como método de estudo. Com a aplicação desse método pretende-se que o

Diagrama proposto seja um artefato capaz de atender as diferentes áreas de negócio da empresa, contribuindo para disseminação de uma ferramenta padrão para a tomada de decisão quanto ao método de controle de estoque a ser empregado para cada SKU. Assim, espera-se que o artefato proposto possa contribuir com todas as áreas da empresa, ampliando o conhecimento gerado na área de negócio delimitada para este estudo. Por fim, o trabalho contribuiu com o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de atender as necessidades da empresa quanto a adoção de diferentes métodos de controle de estoques, indiferentemente da área de negócio a qual se aplica. Além disso, na área delimitada para implementação deste estudo, a aplicação desse diagrama obteve a redução do excesso e das faltas para os SKU analisados, bem como apresentou forte potencial de redução de custos administrativos em função da possibilidade de adotar métodos mais simples de controle de estoque para alguns itens.

Palavras-Chave

AHP; Controle de estoques; Diagrama de Decisão; DSR; Estoque; Kanban; MRP; Classificação de itens.

Abstract

Amaral, César Cardozo; Thomé, Antônio Márcio (advisor). **Elaboration of a decision diagram as an artifact to assist in the decision of the inventory control method of an oil and gas company.** Rio de Janeiro, 2020. 75p. Dissertação de Mestrado – Pontifício Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Efficient Inventory Management permeates the choice of the most appropriate control method, especially in companies that have a wide variety of items in stock, when the definition of different methods for each item can result in gains by reducing excesses or shortages, as well as by reduction of administrative costs of this management. The studied company is part of this context, as it presents an excess of materials in stock, as well as shortages of some items, generating financial losses resulting from the mismanagement of its stock. Thus, by adopting the same inventory control policy for all items, which range from building management materials to oil and gas exploration equipment, this company is faced with the need to implement more adequate inventory controls for each of these items. Thus, this paper proposes to answer the following key study question: *What is the most adequate inventory management policy for each product analyzed?* To answer this question, this work proposes the elaboration of a Decision Diagram that helps in making that decision. Therefore, it seeks to classify these SKU as the ABC Curve for value (R\$), volume consumed and criticality, the latter being defined with the support of the Analytic Hierarchy Process (AHP). In addition, it analyzes the demand and lead time distributions of each SKU as parameters to assist in this decision, forming a diagram where the nodes represent these parameters (ABC curve, Demand and Lead Time) and the paths correspond to the internal classifications of each one of these parameters, pointing, at the end of each path, which is the best stock control for the SKU analyzed considering Kanban and MRP as alternatives. Design Science Research (DSR) was applied as a study method. With the application of this method, the proposed Diagram is intended to be an artifact capable of serving the different business areas of the company, contributing

to the dissemination of a standard tool for decision making regarding the inventory control method to be employed for each SKU. Thus, it is expected that the proposed artifact can contribute to all areas of the company, expanding. Finally, the work contributed to the development of a tool capable of meeting the company's needs regarding the adoption of different inventory control methods, regardless of the business area to which it applies. In addition, in the area defined for the implementation of this study, the application of this diagram obtained the reduction of excess and shortages for the SKUs analyzed, as well as presenting a strong potential for reducing administrative costs due to the possibility of adopting simpler methods of controlling stock for some items.

Key-Words

AHP; Stock Control; Decision Diagram; DSR; Stock, Kanban; MRP; Classification of Items

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 GESTÃO DE ESTOQUES	17
2.2 CONTROLE DA PRODUÇÃO	18
2.3 FLUXO DE INFORMAÇÃO NO PROCESSO	18
2.4 EMPURRAR A PRODUÇÃO	19
2.5 PUXAR A PRODUÇÃO.....	21
2.6 MRP.....	22
2.7 KANBAN	24
2.8 MRP E KANBAN.....	27
2.9 CURVA ABC.....	29
2.10 AHP.....	23
3. METODOLOGIA.....	32
3.1 A DESIGN SCIENCE	32
3.2 A DESIGN SCIENCE RESEARCH	32
3.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO NO ESTUDO	35
3.4 ELABORAÇÃO DO ARTEFATO	37
3.5 ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)	39
3.6 DISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA NO CONTROLE DE ESTOQUE.....	41
3.7 DISTRIBUIÇÃO DE <i>LEAD TIME</i> DE ENTREGA NO CONTROLE DE ESTOQUE.....	41
3.8 ELABORAÇÃO DO DIAGRAMA DE DECISÃO	42
4. DESENVOLVIMENTO.....	44
4.1 INFORMAÇÕES DA EMPRESA.....	44
4.2 ESCOPO DO TRABALHO	44
4.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	45
4.3.1 Identificar o problema	45
4.3.2 Revisar a literatura.....	45
4.3.3 Classes de problemas	45
4.3.4 Propor artefato.....	46
4.3.5 Desenvolver o artefato.....	63
4.4 APLICAR O DIAGRAMA.....	68

4.5	VALIDAÇÃO DO DIAGRAMA	70
5.	CONCLUSÕES	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Empurrar e Puxar a produção	19
Figura 2 - CONWIP	28
Figura 3 - Exemplo do Diagrama de Decisão	38
Figura 4 - Diagrama Hierárquico para Criticidade.....	40
Figura 5 - Cubo tridimensional do Diagrama de Decisão	43
Figura 6 - Perfil de demanda	48
Figura 7 - Perfil de Lead Time de entrega.....	51
Figura 8 - Diagrama Hierárquico.....	60
Figura 9 - Cubo de respostas finais do Diagrama.....	65
Figura 10 - Diagrama Final	66
Figura 11 - Ilustração dos resultados	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quadro-resumo Kanban x MRP	29
Tabela 2 - Critérios para DSR	33
Tabela 3 - Classes de Problema x Artefatos	36
Tabela 4 - Definições das etapas da DSR.....	36
Tabela 5 - Escala de Saaty	39
Tabela 6 - Critério para distribuição de demanda	41
Tabela 7 - Critérios pra a distribuição dos <i>lead times</i> de entrega.....	42
Tabela 8 - Coeficientes de Variação (CV) dos perfis de consumo (demanda).....	49
Tabela 9 - Categorias x Coeficiente de Variação (CV).....	50
Tabela 10 - Coeficientes de Variação (CV) dos lead times de entrega	52
Tabela 11 - Categoria x CV de lead time	53
Tabela 12 - Curva ABC para volume e valor (R\$).....	53
Tabela 13 – Curva ABC por SKU	54
Tabela 14 - Categoria x Curva ABC de valor (R\$) e de consumo	55
Tabela 15 - Matriz de pesos para os critérios	56
Tabela 16 - Pesos relativo para Disponibilidade do SKU no mercado	57
Tabela 17 - Pesos relativo para Criticidade para a produção	58
Tabela 18 - Pesos relativo para Impactos em SMS	58
Tabela 19 - <i>Ranges</i> de classificação	61
Tabela 20 - AHP para os SKU.....	61
Tabela 21 - Parâmetros e critérios na Curva ABC	64
Tabela 22 - Resultado por SKU.....	69
Tabela 23 - Métricas dos SKU	71

1. INTRODUÇÃO

A definição de políticas de controle de estoques permite às empresas obterem reduções significativas de custos, seja por falta ou por excesso de materiais estocados (HOPP & SPEARMAN, 2008). Essa definição se torna ainda mais importante em empresas que precisem administrar materiais de diversas naturezas e cujo processo produtivo apresente características diferentes para cada unidade de negócio (PETTERSEN & SEGERSTEDT, 2008).

É nesse ambiente que se insere a empresa estudada nesta dissertação. Trata-se de uma empresa brasileira do ramo de Petróleo e Gás que possui milhões de itens em estoque, abrangendo de materiais químicos a produtos de administração predial, totalizando dezenas de bilhões de Reais em estoque.

Assim, essa empresa tem se deparado com uma grande complexidade na gestão de seus estoques, utilizando *software* de mercado para controle por meio do MRP. Entretanto, a adoção desse sistema não tem se mostrado adequada a todos os itens, acarretando em estoques excessivos ou em falta, bem como em custos elevados de controle para muitos itens.

Além disso, a empresa possui várias áreas de negócio que consomem materiais de uso exclusivo, bem como materiais compartilhados por todas elas. Esses materiais compartilhados possuem distribuições de demanda diferentes para cada área de negócio e criticidades distintas. Por exemplo, uma válvula pode apresentar consumo esporádico e ser extremamente crítica para uma área de negócio, mas para outra, pode não ser crítica e apresentar elevada frequência de consumo.

Assim, ao longo dos anos a empresa tem se deparado com dificuldades na gestão de seus estoques, apresentando resultados que corroboram com isso. Ela não possui políticas de gestão de estoques que sejam adequadas a cada item, adotando o mesmo sistema (MRP) para todos, sem classificação quanto a criticidade e ao volume consumido. Além disso, os impactos dessa gestão são pouco discutidos na empresa, que carece de modelo de gestão de estoques definido em suas diretrizes.

Como resultado disso, a empresa possui uma grande quantidade de estoque excedente (35% do total em Reais), segundo o último inventário de estoques, demonstrando o quanto a política atual tem sido ineficiente. Ao se analisar por material esse percentual excedente, identificam-se valores que variam de 2% a 72%,

corroborando com a hipótese de que a adoção de políticas diferentes para cada material seja mais eficaz.

Além do excedente de estoque, muitos materiais apresentam faltas no processo. Isso acarreta em não atendimento das demandas, atrasos e, até mesmo, paradas no processo. Cerca de 25% dos materiais (em quantidade total de itens) apresentam ruptura de estoque; isto é, apresentam quantidades menores do que as planejadas.

Assim, a empresa depara-se com a seguinte pergunta-chave de pesquisa: ***Qual a política de gestão de estoques mais adequada para cada produto analisado?***

Para responder essa pergunta-chave, pretende-se elaborar uma diretriz que tem por objetivo principal **contribuir para melhorar a gestão de estoques na empresa, reduzindo estoques excedentes e obsoletos**. Para tanto, busca atingir os seguintes objetivos específicos: *i)* identificar como a gestão de estoque tem sido para os produtos analisados, *ii)* analisar os dados de estoque existentes na empresa, *iii)* propor uma diretriz para a política de estoque que permita atingir o objetivo proposto e *iv)* apoiar as análises de gestão de estoques na empresa.

Essa diretriz foi elaborada como um Diagrama de Decisão para a definição da melhor política de estoque para o par SKU-área de negócio. Essa diretriz visa a padronizar a escolha dessa política na empresa com base em critérios técnicos comuns a toda a companhia, permitindo que as áreas de negócio possam utilizá-la para a definição da sua política. Desse modo, garante-se o alinhamento entre as práticas de gestão de estoque implementadas em cada área dessa empresa.

Como resultado deste trabalho espera-se que essa diretriz auxilie na implementação de uma política de estoque que gere redução dos custos administrativos da gestão de estoques e a otimização das quantidades estocadas, reduzindo as faltas e os excessos..

Entretanto, em função do elevado número de itens, o estudo limitou-se a analisar os *Stock Keep Units (SKU)* selecionados, reduzindo o quantitativo analisado. Assim, foram selecionados os SKU de Reagentes Químicos, Válvulas Esfera, Tubos de Condução de Aço Carbono, Equipamentos de manutenção de infraestrutura de rede TIC e Equipamentos de Proteção Individual (EPI), pois os especialistas da empresa

entendem que eles representam uma amostragem capaz de capturar todas as características dos materiais quanto à Demanda, *Lead Time* de entrega e Criticidade.

Além disso, por existirem diferentes Áreas de Negócio dentro da empresa, tornando a análise mais complexa em função da necessidade de envolver inúmeros *stakeholders*, definiu-se a área de Refino e Energia para delimitar o escopo de atuação do estudo, em função da maior facilidade de obtenção de dados e participação de especialistas por se tratar da área de atuação do autor.

Este trabalho está dividido da seguinte maneira: no Capítulo 2 encontra-se o Referencial Teórico que aborda os principais conceitos utilizados no estudo. No Capítulo 3, a metodologia *Design Science Research* (DSR) é abordada com maiores detalhes, e a aplicação desta metodologia é descrita no Capítulo 4, onde também são discutidos os resultados dessa aplicação. Por fim, no Capítulo 5, conclui-se o estudo destacando os pontos positivos e negativos, além de sugestões para futuros trabalhos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GESTÃO DE ESTOQUES

A Gestão de Estoques tem por objetivo otimizar as quantidades de material no processo, a fim de reduzir custos de manter esses materiais em estoque, bem como de reduzir os custos associados à falta deles no processo. Assim, cabe a ela definir o ponto ótimo no *trade-off* Custo de Manter x Custo de Falta de estoques num processo (CHAMBERS; SLACK & JOHNSON, 2002).

Dentre os custos de manter em estoque, pode-se citar o custo de manter estruturas de armazenagem, de oportunidade por conta do capital parado, de manter equipes dedicadas ao controle físico dos materiais, e, até mesmo, custos menos inerentes, como de obsolescência dos mesmos (PYKE, SILVER & THOMAS, 2017). Além disso, a manutenção de estoques em excesso ao longo de todo o processo produtivo encoberta falhas nas operações, uma vez que os estoques entre os processos servem como amortecedores no fluxo produtivo, evitando a ruptura do processo (HOPP & SPEARMAN, 2008).

No entanto, quando há esse excesso, falhas recorrentes podem ficar ocultas, uma vez que não geram estresse no fluxo do processo produtivo. Isso afeta não apenas a qualidade do processo e os custos de produzir, mas também aumenta o *lead time* do produto final, tornando o processo menos responsivo a mudanças (HOPP & SPEARMAN, 2008).

Quanto ao custo de falta, a manutenção de estoque e quantidade insuficiente para atender ao processo pode causar a interrupção do mesmo e, por consequência, acarretar em custos por vendas perdidas, atraso na entrega e ociosidade (PYKE; SILVER & THOMAS, 2017). Com isso, a manutenção de materiais em estoque deve ser realizada de forma a minimizar esses impactos, sem, contudo, gerar custos excessivos na sua manutenção (CHAMBERS; SLACK & JOHNSON, 2002).

Assim, a Gestão de Estoque busca otimizar esse *trade-off*, perseguindo o ponto ótimo a fim de reduzir o Custo Total para a empresa. Dessa forma, contribui-se para a competitividade da empresa, tornando seu processo mais responsivo a mudanças sem incorrer em faltas que impactem a entrega ao consumidor final (CHAMBERS; SLACK & JOHNSON, 2002).

2.2 CONTROLE DA PRODUÇÃO

O Controle e o Planejamento da Produção relacionam-se à forma como a informação é gerada no processo produtivo e, por isso, a forma como os materiais fluem ao longo do processo. É a partir desse controle que as diferentes operações dentro do processo se relacionam (HOPP & SPEARMAN, 2008).

Dessa forma, sua definição está diretamente ligada as decisões de estoque e programação da produção (CHAMBERS; SLACK & JOHNSON, 2002). Esse controle concilia a demanda e o suprimento em termos de volume, tempo e qualidade (CORREA & GIANESI, 2007).

Assim, a escolha do controle a ser executado influencia as demais decisões do processo produtivo, como o controle de estoques e a sincronização da produção, por exemplo (PUCHKOVA; LE ROMANCER & McFARLANE, 2016). Um dos aspectos chave na escolha desse controle é a maneira como mudanças ou novos planos de produção são encaminhados aos processos produtivos (HOPP & SPEARMAN, 2008).

2.3 FLUXO DE INFORMAÇÃO NO PROCESSO

A forma como essa comunicação é realizada (fluxo de informação) afeta diretamente o fluxo físico dos materiais e, por isso, impacta nos custos do processo de produção (HOPP & SPEARMAN, 2008). A capacidade de resposta do sistema a essas mudanças, bem como a flexibilidade do mesmo a novas planos, estão relacionadas a essa comunicação (BENTON & SHIN, 1998).

Com base na literatura, pode-se identificar dois tipos básicos de intervenção no processo produtivo a partir da comunicação: i) empurrar a produção e ii) puxar a produção (CHAMBERS; SLACK & JOHNSON, 2002; HOPP & SPEARMAN, 2008). O primeiro consiste em encaminhar as informações a todas as etapas do processo produtivo, de maneira que cada uma execute as solicitações de maneira independente. Já a segunda, define uma etapa que receberá a informação, adequando sua produção a ela e informando as demais quando necessário (HOPP & SPEARMAN, 2008). A Figura 1 esquematiza os fluxos empurrado e puxado.

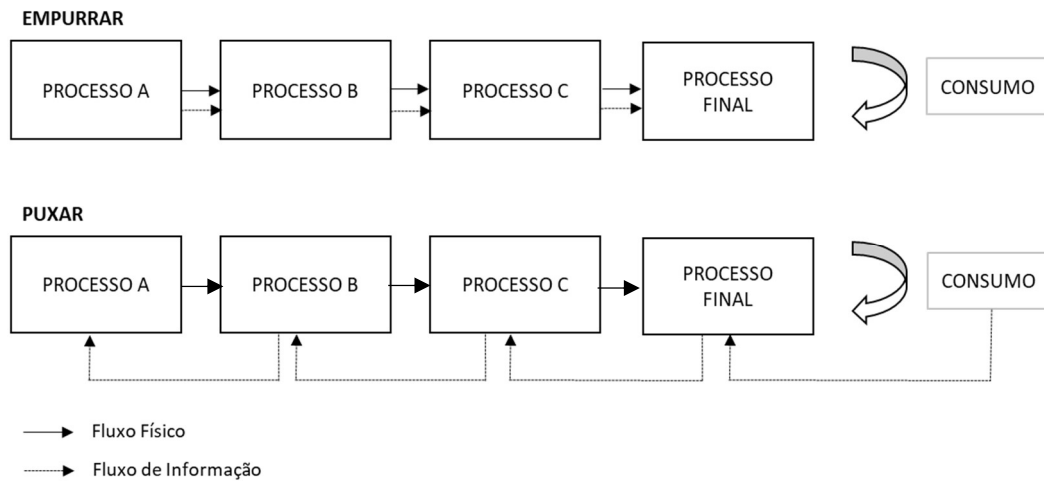


Figura 1 - Empurrar e Puxar a produção

Fonte: adaptado de Hopp & Spearman (2008)

Empurrar a produção tende a produzir maior estoque no processo em virtude da dessincronização das etapas que o compõem, gerando, com isso, custos excessivos de estoque no sistema produtivo (HOPP & SPEARMAN, 2008). Entretanto, pode minimizar custos de falta, embora isso dependa do *mix* de produção adotado (PYKE; SILVER & THOMAS, 2017).

Por outro lado, puxar a produção pode implicar em redução de estoque ao longo do processo a partir da sincronização entre as etapas do mesmo (HOPP & SPEARMAN, 2008). Isso gera redução dos custos de manutenção desses estoques, mas pode acarretar, quando mal operacionalizado, em rupturas do processo produtivo e, portanto, em custos por faltas (TAKAHASHI; HIRAKI & SOSHIRODA, 1994).

A definição de empurrar ou puxar a produção está intrinsicamente relacionada a natureza do processo e de suas operações, bem como de decisões sobre custo, qualidade e prazo a serem adotadas (GONG; YANG & WANG, 2014). Muitas empresas, inclusive, têm adotado uma combinação desses métodos, conseguindo bons resultados operacionais (RODERICK; TOLAND & RODRIGUEZ, 1993).

2.4 EMPURRAR A PRODUÇÃO

A produção empurrada consiste em enviar a programação da produção a todos os pontos produtivos, de forma que cada etapa seja tratada como se fosse um processo independente (HOPP & SPEARMAN, 2008). Assim, esses pontos seguem sua programação sem considerar os demais (OU & JIANG, 1996).

Dessa forma, não há uma relação de interdependência entre as atividades, de forma que a comunicação entre elas ocorra de maneira sincronizada. Assim, a produção ocorre como se cada etapa do processo fosse uma ilha isolada (CHAMBERS; SLACK & JOHNSON, 2002).

Em geral, esse tipo de produção tende a gerar estoques entre os processos de maneira desordenada, criando excesso ao longo da cadeia. Embora a programação da produção busque, nesses casos, gerar programas com base em previsões para evitar esse excesso, a falta de sincronização do fluxo de informação acarreta em disparidades de produção no fluxo físico (PYKE; SILVER & THOMAS, 2017).

Entretanto, esse tipo de estoque, muitas vezes, é tolerado no sistema de produção, pois acoberta falhas produtivas que poderiam gerar ruptura do processo de produção (RODERICK; TOLAND & RODRIGUEZ, 1993). Assim, muitas empresas optam por empurrar a produção a fim de mitigar essas rupturas (HOPP & SPEARMAN, 2008).

Além disso, aumentos de demanda são melhores absorvidos nesse tipo de processo, uma vez que a existência de estoque auxilia a mitigar esse aumento (FOWLER; KIM & SHUNK, 2019). Essa forma de produzir também garante a utilização máxima da capacidade de cada etapa, reduzindo a subutilização de equipamentos e atividades (SELÇUK, 2013).

Embora possua estoque de produtos acabados na última etapa de produção e seja possível, quando necessário, produzir mais produtos nessa etapa, por haver estoque de produtos da etapa anterior, o *lead time* nesse tipo de programação costuma ser elevado. Isso se deve ao fato de haver excesso de estoque entre as etapas de produção, o que gera tempos de espera de um produto antes de ser processado pela etapa seguinte (HOPP & SPEARMAN, 2008).

O *lead time* elevado e o excesso de estoque no sistema fazem com que o mesmo não possua boa flexibilidade quando há mudanças no produto para atender necessidades de mercado. Isso também se verifica quando ocorrem mudanças na variedade (*mix*) de produção (PETTERSEN & SEGERSTEDT, 2008).

Observa-se que, em função do elevado *lead time*, as demandas tendem a ser ainda mais antecipadas para compensar esse comportamento. Com isso, ocorre o aumento

do horizonte de previsão, o que pode acarretar em maiores erros de previsão e, por conseguinte, em mais estoque no sistema (ENNS, 2002).

Uma das ferramentas mais comumente utilizadas para operacionalizar os sistemas empurrados é o *Material Resource Planning (MRP)* (CHAMBERS; SLACK & JOHNSON, 2002; HOPP & SPEARMAN, 2008). O MRP, a partir de previsões de demanda de produtos finais, dispara ordens de produção a todas as etapas do processo seguindo os relacionamentos entre esses produtos e os materiais, conforme informado na *Bill of Materials (BOM)* (FONTANILI; LAURAS & MILIAN, 2016).

2.5 PUXAR A PRODUÇÃO

Os sistemas de produção puxado informam a programação da produção para apenas um ponto no processo, que dita o ritmo de produção. Esse ponto, a medida que necessita de mais materiais para produzir, “puxa” das etapas anteriores esses materiais (HOPP & SPEARMAN, 2008).

Assim, o sistema puxado tende a controlar o fluxo de informação no processo e, por consequência, controla o fluxo físico do mesmo (HOPP & SPEARMAN, 2008). Essa maneira de programar a produção acarreta em maior sincronização das etapas, fazendo com que trabalhem de maneira mais integrada, em oposição a lógica de “ilhas isoladas” do sistema de empurrar (CHAMBERS; SLACK & JOHNSON, 2002).

Entende-se que no sistema puxado de produção, as etapas do processo não são programadas para produzir conforme um plano de produção previamente definido (REDA, 1987). Ao invés disso, elas são autorizadas a produzir a partir da sinalização da etapa a qual estão interligadas, respondendo a uma demanda firme e não a um plano (SPEARMAN & HOPP, 1990).

Essa sincronização controla o estoque entre os processos, sendo esta a característica principal do sistema puxado (SPEARMAN & HOPP, 1990). Dessa maneira, evita-se o excesso de estoque no sistema, otimizando-o ao longo de todo o processo (PETTERSEN & SEGERSTEDT, 2008).

Entretanto, esse tipo de sistema exige esforços para a melhoria contínua dos processos, pois a redução de estoque no sistema pode acarretar em rupturas por

falhas nos mesmos (SELÇUK, 2013). Apesar de isso ser apontado como um ponto negativo desse sistema, ele pode se tornar positivo, pois permite a melhoria do processo a fim de mitigar essas falhas (WOMACK; JONES & ROOS, 1991).

O controle do estoque no processo reduz o lead time, uma vez que reduz os tempos de espera dos materiais em estoque (WOMACK; JONES & ROOS, 1991). Por isso, esse sistema tende a apresentar maior flexibilidade a mudanças de produtos ou do *mix* de produção (PYKE; SILVER & THOMAS, 2017).

No entanto, aumentos na demanda podem apresentar respostas mais lentas que o sistema empurrado quanto ao prazo de entrega, em função da menor quantidade de estoques em processo (FOWLER; KIM & SHUNK, 2019). Isso pode ser minimizado por meio da otimização dessa quantidade, uma vez que o sistema puxado não se caracteriza pela ausência de estoque entre processos, mas sim pelo controle dos mesmos (HOPP & SPEARMAN, 2008).

Para garantir esse controle, o sistema puxado controla o fluxo de informação, reduzindo as etapas do processo que recebem informação externa. Ele busca sincronizar o fluxo informativo a partir da definição de um ponto de recebimento dessa informação no sistema, que dispara para os demais “puxando” os materiais de etapas anteriores (HOPP & SPEARMAN, 2008).

Assim, o sistema puxado se torna mais responsivo a demanda, trabalhando com pedidos firmes e não com previsões (PETTERSEN & SEGERSTEDT, 2008). Isso reduz as incertezas na programação da produção, permitindo realizá-la de maneira mais equânime em relação a demanda (GONG; YANG & WANG, 2014).

A forma mais comum de operacionalização desse sistema é o Kanban, que surgiu no Japão a partir do Sistema Toyota de Produção. O Kanban funciona como um cartão que controla a produção ao longo do processo, limitando a quantidade estocada e sinalizando quando produzir (WOMACK; JONES & ROOS, 1991).

2.6 MRP

O *Material Requirement Planning* surgiu na década de 60 como um software capaz de gerir toda a programação de materiais a partir da relação da demanda independente com a dependente (CHAMBERS; SLACK & JOHNSON, 2002).

Como demanda independente entende-se como a dos produtos finais que estão diretamente relacionados a demanda externa de clientes. Por demanda dependente, entende-se a dos produtos semiacabados e materiais, como matérias-primas, necessárias para a produção dos produtos finais (FONTANILI; LAURAS & MILIAN, 2016).

A relação entre os produtos e seus materiais é dada pela *Bill of Materials* (BOM), que consiste na lista de materiais que compõem o produto final (KOH & SAAD, 2003). A existência da BOM reduz a complexidade da programação de produtos complexos, em que existem milhares de componentes atrelados a eles (GONG; YANG & WANG, 2014).

A partir desse relacionamento, é possível programar a produção de forma a garantir que todos os componentes necessários à fabricação do produto final estejam disponíveis no momento e nas quantidades necessárias. Para tanto, o MRP realiza o Cálculo das Necessidades Líquidas dos materiais (CHAMBERS; SLACK & JOHNSON, 2002).

Esse Cálculo das Necessidades Líquidas é realizado considerando a demanda pelo produto final e as necessidades de materiais para esse produto com base na BOM (FONTANILI; LAURAS & MILIAN, 2016). A partir da necessidade calculada, o MRP dispara as ordens de produção a todas as etapas do processo, conforme fluxo de informação dos sistemas empurrados (FOWLER; KIM & SHUNK, 2019). Assim, o processo produtivo é programado com base em previsões de demanda e não em pedidos firmes (PYKE; SILVER & THOMAS, 2017).

Isso ocorre porque a demanda independente é calculada com base na previsão de demanda do produto final. A partir dessa previsão, os demais componentes são estimados em relação à quantidade a ser produzida, levando-se em consideração a BOM registrada para o produto em questão (KOH & SAAD, 2003).

Em relação à quando produzir a quantidade definida nesse cálculo, o MRP leva em consideração o *lead time* de cada etapa do componente a ser produzido. Assim, a partir da Data de Necessidade informada para o produto final, o sistema realiza uma programação para trás a fim de definir quando o processo produtivo deve iniciar a produção dos componentes (FONTANILI; LAURAS & MILIAN, 2016).

A exemplo do sistema empurrado, o MRP, como ferramenta de operacionalização desse sistema, apresenta baixa flexibilidade. Isso se deva ao fato da programação da produção ser realizada com base em previsões para a demanda independente (PUCHKOVA; LE ROMANCER & McFARLANE, 2016).

Um ambiente ideal para a utilização do MRP é aquele em que a demanda é extremamente previsível (baixa variabilidade), está dentro da capacidade produtiva do processo e o tempo de ciclo de cada etapa apresentam pouca variabilidade, podendo ser, inclusive, constantes ao longo do tempo (ENNS, 2002). Em ambientes assim, o MRP realizará a programação da produção calculando a necessidade líquida equânime à demanda, garantindo o atendimento ao prazo requerido em função da assertividade dos cálculos da programação para trás (*lead time* quase fixos) (PYKE; SILVER & THOMAS, 2017)

Entretanto, em ambientes cuja demanda independente apresenta muita variabilidade tendem a gerar um fenômeno conhecido como nervosismo no MRP, visto que uma pequena mudança no plano de produção pode acarretar em grande quantidade de reprogramações (HOPP & SPEARMAN, 2008). Essas reprogramações ocorrem, principalmente, pelo fluxo de informação do sistema empurrado disparar ordens de produção a todos os pontos do processo (PUCHKOVA, LE ROMANCER & McFARLANE, 2016).

Além disso, por se basear em previsões de demanda, tende a apresentar falhas em função dos erros inerentes a essa previsão (HOPP & SPEARMAN, 2008). Quando ela estima para baixo a quantidade em relação a demanda real, as ordens de produção são emitidas tardiamente. Esse erro pode ocasionar em falta ou atraso no atendimento a data de necessidade (ENNS, 2002; INDERFURTH, 2007).

Já para previsões que estimam para cima a quantidade em relação a demanda real, as ordens de produção antecipam as necessidades de produtos. Com isso, há excesso de estoque no sistema gerando maiores custos no processo (INDERFURTH, 2007; ABOLGHASEMIA, 2020).

2.7 KANBAN

O Kanban foi desenvolvido pelo Sistema Toyota de Produção como uma ferramenta de controle da produção (OHNO, 1996). Seu principal objetivo é controlar o estoque entre processos, o que vai de encontro com a principal característica dos

sistemas puxados (WOMACK; JONES & ROSS, 1991). Esse controle se dá pelo fluxo de informação adotado no sistema puxado que utiliza o Kanban. Uma estação de trabalho busca (puxa) o produto de uma estação anterior, autorizando-a a produzir para repor essa quantidade puxada (SPEARMAN & HOPP, 1990). Essa autorização se dá pela sinalização do processo a partir de um cartão Kanban (OHNO, 1996).

Dessa forma, o fluxo de comunicação no processo permite a sincronização do mesmo, garantindo que uma estação produza materiais somente quando solicitados. Por isso, o processo mantém sob controle o estoque em seu sistema (GODINHO FILHO & LAGES JUNIOR, 2010).

Esse controle da quantidade em estoque ocorre em função do Kanban informar ao sistema a quantidade que se pode produzir a cada lote e, além disso, a quantidade de cartões no sistema informa a quantidade máxima de estoque permitido no processo (OHNO, 1996). Entretanto, por ser um cálculo realizado por analistas do processo, pode haver excesso de estoque se esse cálculo superestimar a quantidade a fim de minimizar os impactos da falta de estoque no sistema (GODINHO FILHO & LAGES JUNIOR, 2010).

Em geral, pela simplicidade desse controle (o Kanban pode ser um simples cartão), ele apresenta baixo custo de implementação e operação. Embora necessite de mudanças culturais quanto a maneira de produzir, é de fácil entendimento e aplicação (PETTERSEN & SEGERSTEDT, 2008).

Em função disso, apresenta ótimos resultados para o controle de itens simples. Hautaniemi e Pirttila, (1999), Moleneers *et al.* (2011) e Mehdizadeh (2019), recomendam sua aplicação em itens C na classificação da Curva ABC, seja em valor monetário ou em volume consumido.

Por controlar o estoque em processo e, com isso, permitir maior flexibilidade da variedade e do volume de produção, o *lead time* em sistemas controlados pelo Kanban costuma ser menor do que em sistemas operados pela lógica de empurrar (HOPP & SPEARMAN, 2008). Assim, há maior flexibilidade a mudanças na programação, garantindo respostas mais rápidas as mesmas (PYKE; SILVER & THOMAS, 2017).

Por essa característica, sistemas que apresentam tempos de ciclo com maior variabilidade são melhor operacionalizados pelo Kanban. Isso ocorre porque a autorização para produzir se dá somente quando o Kanban é retirado pela etapa subsequente, evitando produção antes da hora (excesso de estoque) (SPEARMAN & HOPP, 1990). Além disso, a quantidade de Kanban entre essas etapas controla o estoque para evitar seu excesso, mas também busca evitar a falta do mesmo (CORREA & GIANESI, 2007).

Se o tempo de ciclo de uma etapa for maior que a média, a quantidade de Kanban no sistema (se bem dimensionada) deve impedir a ruptura do processo, caso a variação esteja dentro do que se considera inerente ao processo. No caso desse tempo de ciclo ser menor que a média, a etapa não produz até que seja autorizado pelo processo subsequente por meio do Kanban, evitando a produção excessiva e o consequente aumento de estoque no processo (HOPP & SPEARMAN, 2008).

Por operacionalizar o sistema puxado de modo a controlar a produção impedindo que ela ocorra antes do momento adequado, o Kanban torna o sistema mais responsivo e com menores *lead times*. Com isso, permite que as ordens de produção sejam liberadas somente quando existem pedidos firmes (GUPTA & AL-TURKI, 1997).

Assim, em sistemas operados pelo Kanban, o planejamento da programação da produção depende menos de previsões da demanda, trabalhando mais próximo dos pedidos efetivamente colocados. Isso minimiza os impactos das eventuais falhas na previsão da demanda, ampliando a flexibilidade do sistema (ENNS, 2002).

Em função dessa flexibilidade, o sistema operado pelo Kanban lida melhor com as variações dos tempos de ciclo, pois a necessidade de o processo subsequente autorizar a produção através do Kanban garante que acontecerá no momento adequado (GUPTA & AL-TURKI, 1997). Assim, a variação do tempo de ciclo é estabilizada pela necessidade de autorização e, em caso de atraso nesse tempo, a quantidade de estoque em processo permite absorver esse atraso sem, contudo, gerar excesso de estoque, uma vez que é limitado pelo número de Kanban entre as estações (HOPP & SPEARMAN, 2008).

2.8 MRP E KANBAN

Muitos autores têm estudado a integração das duas formas apresentadas de operar um sistema produtivo: MRP e Kanban (RODERICK *et al.*, 1993; PUCHKOVA *et al.*, 2016; TAKAHASHI *et al.*, 2005; PETTERSEN *et al.*, 2009). Esses autores identificaram que diversas empresas têm aplicado essas duas formas de controle em seus processos, obtendo resultados satisfatórios.

Para tanto, é necessário implementar o que há de melhor em cada um deles, a fim de potencializar os ganhos de sua implementação conjunta. Resultados positivos são observados nas empresas que buscam gerar um controle capaz de mesclar as vantagens de cada um (RODERICK *et al.*, 1993; PUCHKOVA *et al.*, 2016; HAUTANIEMI *et al.*, 1999; TAKAHASHI *et al.*, 2005; PETTERSEN *et al.*, 2009; DE SMET & GELDERS, 1998).

Assim, muitos sistemas utilizam o MRP a fim de planejar a aquisição de matérias-primas e de produtos complexos que apresentam grande número de componentes associados, fazendo uso da BOM. Além disso, em alguns casos, a previsão da demanda é realizada e, após isso, a programação da produção via MRP é disparada para produtos semiacabados, que se encontram em módulos na produção (TAKAHASHI *et al.*, 2005; PETTERSEN *et al.*, 2009). Desse modo, as empresas conseguem reduzir a imprevisibilidade da demanda (torna-se agregada) e conseguem programar sua produção olhando para o longo prazo (PETTERSEN *et al.*, 2009; DE SMET & GELDERS, 1998).

A partir disso, essa programação é direcionada a um único ponto no processo, que se comunica com os demais por meio do Kanban. Com isso, consegue-se controlar os estoques entre processos e manter maior flexibilidade do sistema às mudanças que ocorrerão na programação (GUPTA & AL-TURKI, 1997).

O exemplo mais comumente encontrado desse tipo de sistema é o *Constant Work in Process* (CONWIP), desenvolvido por Spearman e Hopp em 1990. A Figura 2 ilustra o funcionamento desse sistema.

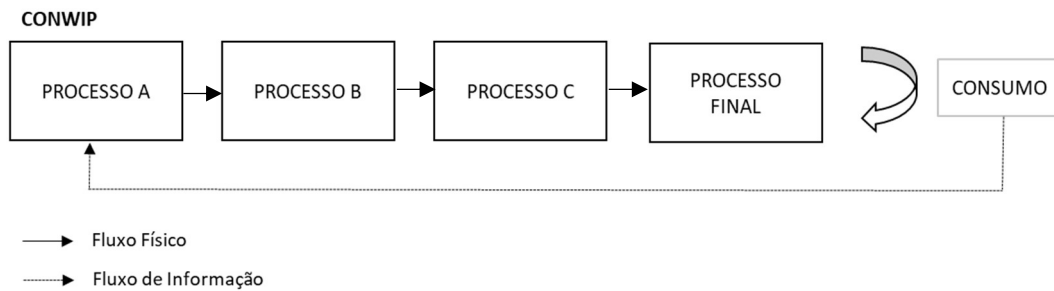


Figura 2 - CONWIP

Fonte: adaptado de Hopp & Spearman (2008)

Por fim, alguns estudos apontam que o Kanban, por ser mais simples e de menor custo que o MRP, deve ser aplicado para o controle de itens mais baratos no sistema (itens C) conforme classificação ABC (HAUTANIEMI & PIRTTILA, 1999; MEHDIZADEH, 2019; GUPTA & AL-TURKI, 1997). Além disso, para produtos em que não haja complexidade quanto a sua configuração (menor quantidade de componentes), o Kanban tende a ser mais eficaz em função da sua facilidade de operação (HOPP & SPEARMAN, 2008; PETTERSEN & SEGERSTEDT, 2008; BENTON & SHIN, 1998). Caso contrário, o MRP pode ser mais eficaz por utilizar a BOM, relacionando mais facilmente essa diversidade de componentes (CHAMBERS; SLACK & JOHNSON, 2002; FOWLER, KIM & SHUNK, 2019; KOH & SAAD, 2003).

Para produtos com menor variabilidade da demanda, as previsões se tornam mais assertivas, e o MRP pode ser mais eficaz, visto que o nervosismo desse sistema pode ser reduzido nesses casos (FONTANILI, LAURAS & MILIAN, 2016; GODINHO FILHO & JUNIOR LAGE, 2010; HAUTANIEMI & PIRTTILA, 1999; KOH & SAAD, 2003). Se, além da demanda, os tempos de ciclo forem estáveis, o pressuposto do MRP de tratá-los como fixos aproxima-se da realidade, tornando-o menos suscetível ao efeito de nervosismo (KOH & SAAD, 2003).

A Tabela 1 apresenta um resumo da comparação entre o MRP e o Kanban a partir das definições discutidas neste Capítulo.

Tabela 1 - Quadro-resumo Kanban x MRP

Critério	MRP	Kanban
Varição de Tempo de Ciclo/ <i>Lead Time</i>	Muito afetado pela variação, pois tende a considerar fixos esses tempos	Pouco afetado, pois controla a autorização da produção por meio do cartão
Varição da Demanda	Afetado, pois busca antecipar a programação da produção com base em previsões de demanda	Pouco afetado, pois autoriza a produção com base em pedidos firmes de demanda
Complexidade do item controlado	Facilidade de lidar com itens complexos, pois utiliza a BOM para estabelecer os relacionamentos	Dificuldade de estabelecer relacionamentos mais complexos
Custo de aplicação	Maior, tornando-o mais recomendável para itens de maior valor monetário	Baixo, podendo ser aplicado em itens de baixo valor monetário

2.9 CURVA ABC

A Curva ABC categoriza os itens em classes A, B e C de acordo com o critério escolhido. Dentre esses critérios, o volume consumido ao longo de um determinado período ou o valor monetário dos itens costumam ser os mais utilizados na análise de itens em estoque num processo (SLACK; CHAMBERS & JOHNSTON, 2002).

Assim, a Curva ABC divide os itens nas categorias citadas a partir do percentual que cada uma representa para o critério definido. Em geral, os itens A são aqueles que representam 70% do valor monetário ou da quantidade consumida, por exemplo, mas representam somente 20% da quantidade total de itens. Os da classe B correspondem a valores intermediários, e os da classe C são aqueles que representam apenas 5% da quantidade consumida ou do valor monetário, mas 50% da quantidade total de itens (MEHDIZADEH, 2019).

Mehdizadeh (2019) e Hauaniemi *et al.* (1999), entre outros, recomendam a Curva ABC como parâmetro para a definição da política de controle de estoque, uma vez que os itens C podem ser controlados por métodos mais simples, deixando os métodos mais complexos para os itens A, e os intermediários para os itens B.

Entretanto, muitos autores ressaltam que a escolha com base na Curva ABC pode ser incompleta quando se pretender analisar a importância de um item para um

processo. Isso se deve ao fato dessa ferramenta não capturar outros critérios que possam ser relevantes para essa análise (MEHDIZADEH, 2020; MOLENEARS *et al.*, 2011; FLORES & WHYBARK, 1988; HAUTANIEMI & PIRTTILA, 1999).

Como exemplo desses critérios não capturados, pode-se citar a criticidade de um item para o processo (HAUTANIEMI & PIRTTILA, 1999). Esse item, numa classificação ABC, pode ser enquadrado como da classe A em função do seu valor, mas pode ser pouco ou nada crítico ao processo. Do mesmo modo, um item da classe C em valor monetário pode ser extremamente crítico ao processo e, numa curva ABC, seria subestimado quanto a necessidade de um acompanhamento mais preciso do item.

Como forma de mitigar isso, muitos autores sugerem a incorporação de métodos multicriteriais, garantindo que outros critérios sejam considerados na análise (MEHDIZADEH, 2020; MOLENEARS *et al.*, 2011; HAUTANIEMI & PIRTTILA, 1999). Com isso, pode-se adotar a Curva ABC incorporando a criticidade, por exemplo, definindo-a a partir de um método multi-criterial e, após isso, incorporando-a a Curva ABC (MOLENEARS *et al.*, 2011).

2.10 AHP

Métodos multicritérios, consistem em métodos capazes de capturar aspectos qualitativos ao se categorizar os itens analisados. Dessa forma, permitem análises mais consistentes, baseadas em critérios que não sejam puramente quantitativos e que incorporem a opinião de especialistas, por exemplo (DURMOSOGLU, 2018).

Dentre esses métodos, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um dos mais utilizados. Ele foi desenvolvido por Tomas L. Saaty no início da década de 70, tornando-se o método mais utilizado por analistas e pesquisadores na resolução de conflitos na tomada de decisão quando se deparam com multicritérios para essa decisão (DURMOSOGLU, 2018).

O AHP consiste em definir critérios e compará-los par a par, obtendo relações quantitativas entre eles. Assim, geram-se matrizes cujos vetores normalizados são definidos como os índices para cada critério (CARRA *et al.*, 2019).

Esses índices são utilizados na classificação do item analisado, que consiste em classificá-lo em cada critério, capturando o peso relativo de cada um. Assim, gera-se uma nota final que define a classificação desse item (CARRA *et al.*, 2019).

3. METODOLOGIA

3.1 A DESIGN SCIENCE

A Design Science (DS) é uma abordagem científica que busca aplicar o conhecimento científico de maneira prática, a fim de que possa ser utilizado não somente para resolver um problema específico de uma empresa, mas também para gerar conhecimento que permita sua aplicação em outros ambientes. Assim, garante a ampliação do conhecimento científico, aproximando a teoria do conhecimento acadêmico com a prática do meio empresarial (DRESCH, 2013).

As ciências tradicionais têm dificuldade em aplicar os conhecimentos gerados para resolução de problemas no âmbito empresarial. Assim, a DS surge como uma alternativa que propõe a criação de artefatos que resolvam os problemas específicos encontrados nas empresas e permitam o avanço do conhecimento científico a partir da comunicação e aplicabilidade desses artefatos em outros ambientes profissionais (SIMON, 1996).

Para isso, a DS foca em como a solução de um problema específico foi desenvolvida e não somente nos resultados obtidos a partir dela. Uma vez que não foca apenas na aplicação dessa solução e de seus resultados, essa ciência foca em obter uma solução que seja satisfatória no contexto em que o problema se insere (SIMON, 1996).

Em outras palavras, procura obter uma solução que não seja necessariamente ótima para o problema em questão, desde que seja rigorosamente validada quanto a sua aplicabilidade e eficácia (DRESCH; LACERDA & ANTUNES, 2015). Para tanto, essa validação da solução deve ser perseguida ao longo de todo o trabalho, garantindo, dessa forma, que a solução resolva efetivamente o problema, mesmo que não seja ótima (DRESCH, 2013).

3.2 A DESIGN SCIENCE RESEARCH

A *Design Science Research* (DSR) surge como um método para operacionalizar a DS e seu objetivo de desenvolver artefatos que resolvam o problema estudado e ampliem o conhecimento acadêmico. Assim, consiste em desenvolver tais artefatos sob rigoroso processo de validação e comunicação dos resultados (MARCH; STOREY, 2008).

Um ponto-chave da DSR é o foco na resolução do problema a partir de soluções satisfatórias (não necessariamente ótimas) para a situação estudada com base na construção de artefatos. Esses artefatos geram conhecimento que pode ser utilizado por outras empresas para resolução de problemas práticos, garantindo a disseminação e ampliação do conhecimento (HEVNER *et al.*, 2004). Com isso, garante-se que os preceitos da DS sejam aplicados no trabalho a partir da DSR (DRESCH; LACERDA & ANTUNES, 2015).

Hevner *et al.* (2004) propõem como critérios necessários para a correta aplicação da DSR os seguintes pontos: *i)* a criação de um artefato; *ii)* o problema de pesquisa ser relevante; *iii)* os artefatos criados serem avaliados; *iv)* a pesquisa contribuir com o conhecimento acadêmico; *v)* a pesquisa ser elaborada com rigor científico; *vi)* e os resultados serem comunicados. A Tabela 2 descreve esses critérios conforme proposto por Hevner *et al.* (2004).

Tabela 2 - Critérios para DSR

Critério	Descrição e detalhamento
Artefato	A pesquisa deve desenvolver artefatos viáveis na forma de constructos, modelos, métodos ou instâncias
Relevância do problema	O problema pesquisado deve permitir a elaboração de soluções que contribuam para a resolução de problemas importantes e relevantes para a empresa estudada
Avaliação dos artefatos elaborados	A utilidade, qualidade e, principalmente, a eficácia dos resultados a partir dos artefatos elaborados devem ser rigorosamente avaliados por meio de métodos apropriados
Contribuição acadêmica	A pesquisa, por meio dos artefatos, deve contribuir com o conhecimento acadêmico auxiliando na sua evolução, enquadrando os artefatos elaborados na Classe de Problema mais adequada
Rigor na elaboração da pesquisa	O método deve ser rigorosamente aplicado tanto na construção quanto na validação dos artefatos
Comunicação dos resultados	A comunicação dos resultados deve ocorrer tanto na empresa estudada quanto no meio acadêmico, por meio de produções científicas (artigos, apresentações, dentre outras)

Fonte: Hevner *et al.* (2004)

Diversos autores abordam diferentes métodos para implementação da DSR, mas a maioria deles converge para etapas consideradas essenciais. Isso ocorre em função da necessidade da DSR operacionalizar os critérios para uma pesquisa com base na DS (DRESCH; LACERDA & ANTUNES, 2015).

Van Aken *et al.* (2012) e Alturki *et al.* (2011) definem as seguintes etapas como fundamentais para atender aos critérios citados da DSR: *i)* Definição do Problema; *ii)* Definição de soluções possíveis; *iii)* Validação das soluções propostas; e *iv)* Comunicação dos resultados obtidos.

Van Aken *et al.* (2012) recomendam que a etapa de Definição do problema deva ser o passo inicial da DSR, uma vez que o entendimento do contexto em que o problema se insere interfere na solução a ser proposta. Para Alturki *et al.* (2011), entender o problema e defini-lo adequadamente é a principal maneira de assegurar a relevância da pesquisa.

Alturki *et al.* (2011) entendem que o propósito da DSR é o desenvolvimento de artefatos que permitam a aplicação das soluções em ambientes diversos daqueles onde o estudo foi realizado. Esses artefatos devem permitir a obtenção de soluções adequadas e satisfatórias ao ambiente ao qual se aplicam, devendo ser validadas quanto a isso.

Essa validação é entendida por Van Aken *et al.* (2012) como de suma importância para garantia do rigor da pesquisa realizada. Esses autores sugerem como forma de validar a solução o uso de simulações, testes experimentais, análises de otimização pela Pesquisa Operacional, análises descritivas e observações de campo.

Outra forma de garantir a aplicabilidade da solução proposta é a validação dos artefatos por especialistas, sejam da empresa estudada e/ou do meio acadêmico (DRESCH, 2013). Para Van Aken *et al.* (2012) a discussão da solução por um time de especialistas permite a obtenção de *feedback* adequado a fim de melhorar o desenvolvimento, estabelecendo um ciclo de melhoria na criação do artefato. A participação desses especialistas garante, assim, o rigor na aplicação da DSR, conforme recomendado como critério para a condução dessa pesquisa (ALTURKI *et al.*, 2011)

3.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO NO ESTUDO

O presente estudo adotou a DSR como metodologia de pesquisa pois, segundo Dresch *et al.* (2015), foca na resolução de um problema a fim de obter uma solução suficiente, desenvolvendo artefatos que sirvam em outras aplicações desse mesmo problema. Assim, dado que a empresa estudada necessita redefinir sua política de controle de estoques e, em virtude da grande quantidade de dados e da variação da utilização dos materiais em cada área de negócio da mesma, limitou-se o escopo do trabalho para os SKU de: i) Reagentes Químicos, ii) Válvulas Esfera, iii) Tubos de Condução de Aço Carbono, iv) Equipamentos de manutenção de infraestrutura de rede TIC e v) Equipamentos de Proteção Individual (EPI), por representarem uma amostragem capaz de capturar todas as características dos materiais quanto à Demanda, *Lead Time* de entrega e Criticidade. Além disso, a área de Refino e Energia foi definida para este estudo pois é a área de atuação do autor, facilitando o levantamento de dados e a consulta aos especialistas.

Dessa forma, ao se elaborar uma diretriz para definição da melhor política de controle de estoques (artefato), validando-a para uma unidade de negócio e alguns SKU, pode-se, futuramente, aplicar essa diretriz nas demais unidades e nos demais SKU. Com isso, desenvolve-se uma solução que atende à necessidade imediata da companhia e que permita sua implementação em outras áreas.

O desenvolvimento desses artefatos é justamente o que difere a DSR das demais metodologias, como a Pesquisa-Ação e o Estudo de Caso (DRESCH, 2013). Esses artefatos permitem a ampliação do conhecimento e possibilidade de aplicação das soluções em outras situações (DRESCH; LACERDA & ANTUNES, 2015), o que vai de encontro com a necessidade da empresa estudada. Isso é possível em função da generalização da solução para uma Classe de Problema, que consiste em um conjunto de problemas que possuem relação entre si e onde se pode obter artefatos que auxiliem na sua solução (DRESCH, 2013).

A partir dessas Classes de Problemas, as soluções elaboradas podem ser generalizadas, ampliando o conhecimento existente. Desse modo, outros pesquisadores podem acessar esses artefatos a fim de resolver seus problemas de pesquisa (DRESCH; LACERDA & ANTUNES, 2015). Exemplos dessas Classes são encontrados na Tabela 3 - Classes de Problema x Artefatos

Tabela 3 - Classes de Problema x Artefatos

Classe de Problema	Artefatos existentes
Planejamento e controle da produção	Tambor-pulmão-corda (Goldratt, 1984)
	Kanban (Ohno, 1988)
	CONWIP (Spearman et al., 1990)
Análises de custeio	Contabilidade de atravessamento (Goldratt, 2006)
	Custeio baseado em atividades (Cooper e Kaplan, 1988)
	Unidades de esforço padrão (Allora, 1985)
Mapeamento de processos	Mapeamento de fluxo de valor (Rother e Shook, 2000)
	Mecanismo da função da produção (Shingo, 1989)
	ARIS (Sheer, 2005)
Gerenciamento de projetos	Caminho crítico (Goldratt, 1997)
	PERT/CPM
Análise de processos e suporte à tomada de decisão	Processo de pensamento (Goldratt, 1994)
	Sistemas de decisão e cenários de planejamento (Andrade <i>et al.</i> , 2006)
	Método para identificação, análise e solução de problemas (Kepner and Tregoe, 1980)

Fonte: Dresch; Lacerda & Antunes (2015).

Por essa característica, a DSR demonstra ser, mais uma vez, a metodologia mais adequada para o problema a ser estudado na empresa escolhida. Dessa forma, buscou-se aplicar essa metodologia segundo o modelo definido por Dresch, Lacerda e Antunes (2015).

Os autores elaboraram esse modelo a partir de extensa pesquisa literária, identificando as etapas abordadas nas pesquisas estudadas, a fim de definir aquelas entendidas pelos autores como essenciais. Assim, elaboraram como recomendação para aplicação da DSR os seguintes pontos: *i)* identificar o problema, *ii)* revisar a literatura; *iii)* identificar os artefatos existentes para a Classe de Problema estudada, *iv)* propor artefatos para resolver o problema específico; *v)* desenvolver os artefatos propostos; *vi)* avaliar esses artefatos; *vii)* aprender a partir dos resultados, *viii)* generalizar para a Classe de Problema; *ix)* comunicar os resultados.

Na Tabela 4 as definições de cada etapa são abordadas.

Tabela 4 - Definições das etapas da DSR

Etapas	Definição
1. Identificar o problema	Formalizar a pergunta-chave da pesquisa
2. Revisar a literatura	Entender as soluções já propostas e levantar as Classes de Problemas
3. Identificar os artefatos existentes para a Classe de Problema definida	Levantar os artefatos existentes para as Classes de Problemas identificadas, entendendo as soluções propostas

4. Propor artefatos para o problema estudado	Formalizar as soluções a serem implementadas considerando a revisão literária
5. Desenvolver os artefatos propostos	Construir os artefatos conforme proposição, elaborando-os fisicamente se necessário
6. Avaliar os artefatos	Testar os artefatos desenvolvidos utilizando métodos como Pesquisa Operacional, teste físicos a partir de protótipos, aplicações de caso em ambientes controlados, dentro outros
7. Aprender a partir dos resultados	Obter <i>feedback</i> de especialistas, discutir os resultados, a fim de melhorar o artefato produzido
8. Generalizar para a Classe de Problema definida	Generalizar o artefato para a Classe de Problema definida a fim de ampliar o conhecimento acadêmico
9. Comunicar os resultados	Divulgar na empresa estudada os resultados obtidas e no meio acadêmico por meio de publicações

Fonte: Dresch, Lacerda e Antunes (2015).

3.4 ELABORAÇÃO DO ARTEFATO

Para o presente estudo, essas etapas foram elaboradas conforme as informações existentes na empresa. Com isso, procurou-se desenvolver cada etapa atentando para disponibilidade das informações e a viabilidade das ações frente as limitações existentes.

Na etapa 1, a definição do problema como sendo a necessidade de buscar modelos mais eficientes de controle do estoque se deu a partir do consenso entre especialistas no processo de Gerir Estoques e dos resultados identificados que demonstram o impacto negativo da atual política de controle. Assim, entende-se que as soluções para esse problema poderiam impactar positivamente a empresa, a partir da resposta para a seguinte pergunta-chave do estudo: *Qual a política de gestão de estoques mais adequada para cada produto analisado?*

A etapa 2 foi realizada abordando a Gestão de Estoques, os modelos de controle de estoque existentes, as soluções discutidas para problemas similares ao estudado, dentre outros assuntos. Assim, foi possível identificar a Classe de Problema de Gestão de Materiais como a de escopo para este estudo.

Para a proposição de artefatos (etapa 4), conforme apresentado no Capítulo 2 (Referencial Teórico), identificou-se que a definição da melhor política de controle de estoque entre Kanban e MRP pode ser definida com base na análise de três parâmetros para cada SKU: *i)* distribuição de probabilidade da demanda; *ii)*

distribuição de probabilidade do *lead time* de entrega e *iii*) Curva ABC considerando Valor (R\$), Volume e Criticidade.

Para definir essa política, elaborou-se um Diagrama de Decisão que consiste em uma tabela de decisão representada em formato de árvore, facilitando a visualização das possibilidades de decisão e seus relacionamentos (MOLENEARS *et al.*, 2011). Esse Diagrama permite enquadrar o SKU analisado em critérios para cada um dos parâmetros (distribuição da demanda, distribuição do *lead time* e curva ABC). A Figura 3 - Exemplo do Diagrama de Decisão exemplifica esse Diagrama.

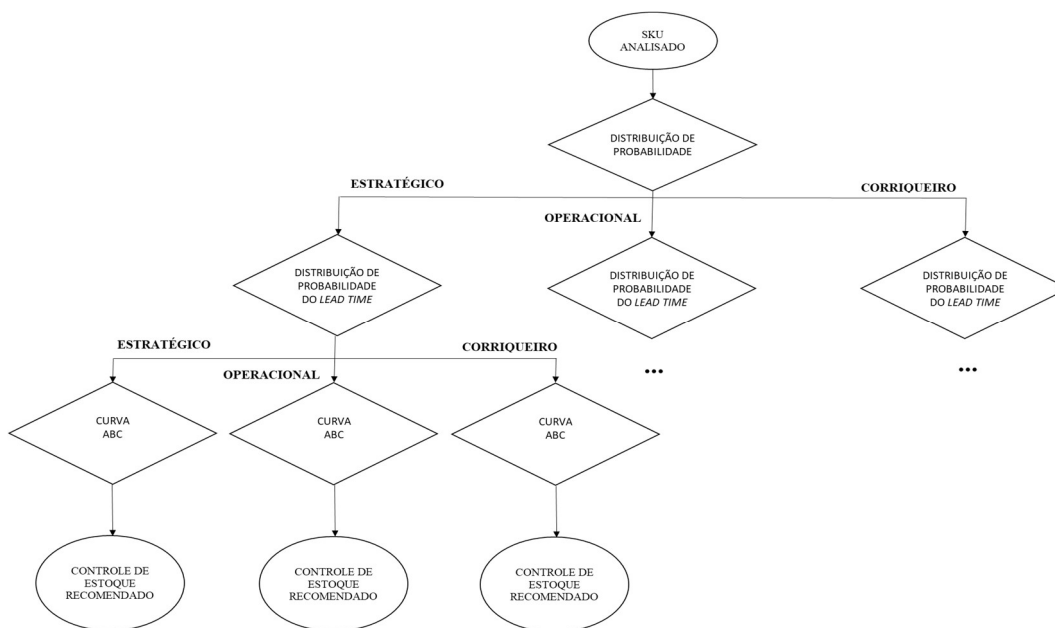


Figura 3 - Exemplo do Diagrama de Decisão

Fonte: adaptado de Molenears *et al.* (2011)

Esses parâmetros são avaliados nos Nós de Decisão considerando três critérios estabelecidos conforme definições internas da empresa: *i*) Estratégicos, *ii*) Operacionais e *iii*) Corriqueiros. O enquadramento dos parâmetros nesses critérios se dá a partir da análise dos valores de cada SKU em cada parâmetro.

Em função dos SKU apresentarem criticidades diferentes para cada unidade de negócio, entendeu-se necessário o desenvolvimento de uma metodologia que levasse em consideração esse aspecto. Assim, observou-se que a Curva ABC considerando apenas Valor (R\$) e Volume não seria adequada como parâmetro de classificação no Diagrama de Decisão.

Dessa forma, optou-se por adotar um método multi-criterial para melhor definição da Criticidade do SKU, pois esses métodos geram resultados mais satisfatórios quando há mais de um critério a ser. Dentre os métodos de análise multi-criterial, o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é o mais amplamente utilizado, avaliando critério quantitativos e qualitativos (LIMA *et al.*, 2019). Além disso, por estabelecer grau de importância (pesos) para cada critério, o AHP consegue relacionar esses diferentes critérios de maneira mais eficiente (MOLENAERS *et al.*, 2011).

3.5 ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

A aplicação da AHP consiste em definir n critérios de comparação e, a partir disso, compará-los par a par com base na Escala de Saaty (Tabela 5).

Tabela 5 - Escala de Saaty

Escala	Descrição
1	Elementos de igual importância
3	Moderada importância de um em relação ao outro
5	Forte importância de um em relação ao outro
7	Muito forte importância de um em relação ao outro
9	Extrema importância de um em relação ao outro

Fonte: Lima *et al.* (2019)

A comparação entre os n critérios gera uma tabela com os pesos definidos a partir dessa comparação, calculando-se os autovetores conforme a Equação 1.

Equação 1 - Cálculo dos autovetores

$$A = \begin{bmatrix} -1 & a_{12} & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{2n} \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1 \end{bmatrix}$$

$$W_1 = [(a_{11} * a_{12} * a_{1n})^{1/n}]$$

$$W_2 = [(a_{21} * a_{22} * a_{2n})^{1/n}]$$

$$W_n = [(a_{n1} * a_{n2} * a_{nn})^{1/n}]$$

$$\text{Autovetor 1} = W_1 / \sum W$$

$$\text{Autovetor 2} = W_2 / \sum W$$

$$\text{Autovetor n} = W_n / \sum W$$

Depois, com base na Escala de Saaty, realiza-se a comparação de cada critério (individualmente) com base em m subcritérios definidos. Assim, gera-se, para cada

critério, uma matriz de pesos relativos, onde calculam-se os autovetores com base na Equação 1.

A partir dos autovetores calculados, elabora-se um diagrama que representa a hierarquia entre os critérios e os subcritérios. Nesse diagrama, os critérios compõem os nós de nível 1, que se desdobram nos subcritérios no nível 2 (Figura 4). Nos nós de critérios encontram-se os seus respectivos autovetores e, por sua vez, nos nós dos subcritérios, encontram-se os autovetores dos mesmos.

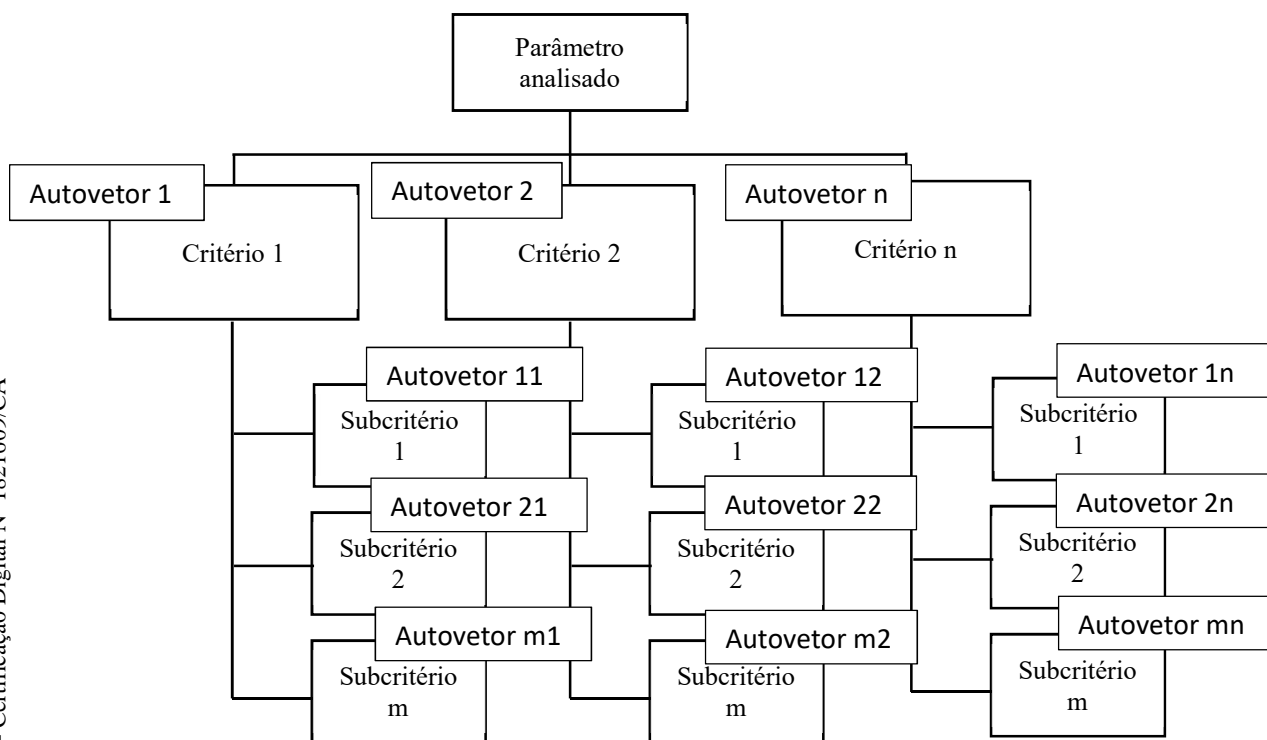


Figura 4 - Diagrama Hierárquico para Criticidade

A partir desse Diagrama, são calculados os *ranges* de classificação, conforme Equação 12:

Equação 2 - Cálculo dos *ranges* de classificação

$$\text{Máximo} = (\text{Autovetor1} * \text{Autovetor11}) + (\text{Autovetor2} * \text{Autovetor12}) + (\text{Autovetor n} * \text{Autovetor1n})$$

$$\text{Mínimo} = (\text{Autovetor1} * \text{Autovetor21}) + (\text{Autovetor2} * \text{Autovetor22}) + (\text{Autovetor n} * \text{Autovetor2n})$$

$$\text{Amplitude} = (\text{Autovetor1} * \text{Autovetor m1}) + (\text{Autovetor2} * \text{Autovetor m2}) + (\text{Autovetor n} * \text{Autovetor nm})$$

Para cada análise, realiza-se o enquadramento no subcritério correspondente ao critério analisado, capturando-se os autovetores associados. Com isso, soma-se cada uma dessas capturas a fim de se definir a classificação, onde o range Máximo equivale ao Critério 1 e o Mínimo ao Critério 2.

3.6 DISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA NO CONTROLE DE ESTOQUE

Para a distribuição da demanda, levantou-se o histórico da demanda para os SKUs definidos no estudo. A partir da revisão literária, identificou-se que o sistema puxado operado pelo Kanban é mais eficiente em ambientes cuja demanda apresente maior variabilidade (SELÇUK, 2013). Já para materiais cuja demanda apresente menor variabilidade, o MRP pode trazer resultados positivos, visto que a previsão da demanda tende a ser mais assertiva, reduzindo o efeito de nervosismo do MRP (KOH & SAAD, 2003).

A literatura estudada demonstra que uma das medidas de dispersão dos dados que permite capturar essa variabilidade é o Coeficiente de Variação (CV)¹. Para valores abaixo de 25%, entende-se que os dados são mais próximos da média, apresentando uma variabilidade menor (MONTGOMERY & RUNGER, 2016). Dessa forma, considerou-se esse critério para enquadramento das distribuições de demanda nos parâmetros adotados.

Portanto, para a distribuição de demanda, os SKU são enquadrados nos critérios definidos conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Critério para distribuição de demanda

	Estratégico	Operacional	Corriqueiro
Distribuição de probabilidade da Demanda	Demanda com coeficiente de variação maior que 50%	Demanda com coeficiente de variação entre 25% e 50%	Demanda com coeficiente de variação menor ou igual a 25%

3.7 DISTRIBUIÇÃO DE *LEAD TIME* DE ENTREGA NO CONTROLE DE ESTOQUE

Em relação a distribuição do *lead time* de entrega, identificou-se esse tempo para cada SKU, observando-se o comportamento ao longo do tempo. Se o *lead time* de entrega é previsível e possui baixa variabilidade, o MRP tende a ser mais assertivo

em seus cálculos de necessidades líquidas de materiais (BENTON & SHIN, 1998). Assim, para *lead times* de entrega com maior variabilidade, o Kanban apresenta maior capacidade de se adequar a essa característica, minimizando erros quando comparado ao MRP (TAKAHASHI, HIRAKI & SOSHIRODA, 1994).

Assim, para a distribuição do *lead time* de entrega, classifica-se os SKU nos critérios estabelecidos conforme Tabela 7, adotando-se a mesma análise de variabilidade utilizada na Distribuição da Demanda (uso do Coeficiente de Variação).

Tabela 7 - Critérios para a distribuição dos *lead times* de entrega

	Estratégico	Operacional	Corriqueiro
Distribuição de probabilidade do Lead Time	Demanda com coeficiente de variação maior que 50%	Demanda com coeficiente de variação entre 25% e 50%	Demanda com coeficiente de variação menor ou igual a 25%

3.8 ELABORAÇÃO DO DIAGRAMA DE DECISÃO

A elaboração do Diagrama de Decisão é realizada com base nas definições citadas ao longo deste Capítulo. Dessa forma, considera-se para os nós de decisão a Distribuição de Demanda, de *Lead Time* e a Criticidade obtida a partir do AHP, e nos ramos estabelece-se as classificações em Estratégico, Operacional ou Corriqueiro, conforme definido pelos especialistas.

Assim, o resultado final do Diagrama para cada caminho percorrido abrange três possibilidades: *i)* utilizar MRP; *ii)* utilizar Kanban e *iii)* utilizar Kanban ou MRP (quando os métodos trariam resultados similares).

Moleneers *et al.* (2011) sugere a visualização dos resultados possíveis para um Diagrama de Decisão através de um cubo tridimensional. A Figura 5 apresenta esse cubo.

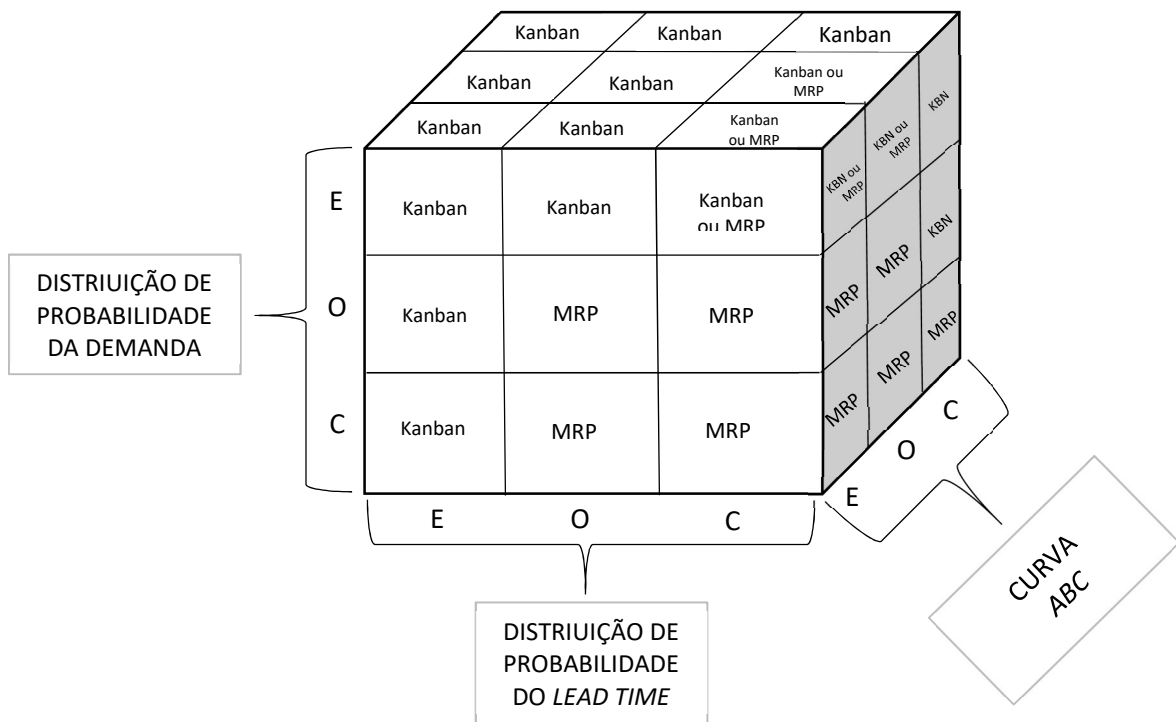


Figura 5 - Cubo tridimensional do Diagrama de Decisão

Fonte: adaptado de Moleneers *et al.* (2011)

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 INFORMAÇÕES DA EMPRESA

A empresa estudada possui 1,3 milhão de SKU registrados em seu sistema de gestão. Além disso, pode-se identificar 3 grandes áreas de negócio: *i)* Refino e Energia; *ii)* Exploração e *iii)* Corporativo.

Em torno de 950 mil desses SKU (73%) são utilizados em todas as três áreas de negócio. Assim, possuem parâmetros de estoque, níveis de consumo e criticidades diferentes na empresa, em função de cada uma dessas áreas.

Atualmente, a empresa não possui qualquer diferenciação quanto à política de estoque a ser adotada para cada item. Desse modo, materiais de diferentes naturezas e padrões de consumo são tratados da mesma maneira, não considerando particularidades de consumo e criticidade.

Dentre o total de SKU, observa-se um índice médio de excedente de estoque de 35%, variando, por SKU, de 2% a 72% (conforme último relatório de inventário de estoques). Isso demonstra que a empresa sofre com os impactos do excesso de material, gerando custos excessivos no sistema e ocultando perdas ao longo do processo.

Além do excesso, segundo o último relatório de inventário, a empresa também se depara com faltas de materiais em estoque, com 25% dos SKU com algum tipo de falta de material. Isso acarreta em atrasos no processo e interrupções do mesmo, gerando prejuízos financeiros à empresa.

4.2 ESCOPO DO TRABALHO

Uma vez que se torna inviável trabalhar com todos os SKU do sistema, principalmente quando se considera sua replicação nas três áreas de negócio, este trabalho optou por selecionar cinco SKU a fim de delimitar o escopo. Essa quantidade foi definida a partir da opinião de especialistas da empresa, por entenderem que com esses cinco SKU é possível abranger as diferentes características dos produtos quanto a distribuição de demanda, de *lead time* de entrega, criticidade, volume em unidades consumidas e em valor monetário. Assim, foram escolhidos os SKU de: *i)* Reagentes Químicos, *ii)* Válvulas Esfera, *iii)* Tubos de Condução de Aço Carbono, *iv)* Equipamentos de manutenção de infraestrutura de rede TIC e *v)* Equipamentos de Proteção Individual (EPI)

Por fim, em relação às áreas de negócio, considerou-se a área de Refino e Energia, em função da maior facilidade de obtenção de dados e de consulta aos especialistas existentes. Portanto, os SKU foram selecionados considerando essa área, embora sejam utilizados pelas outras áreas também.

4.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Conforme descrito no Capítulo 3, desenvolveu-se o trabalho utilizando a metodologia da DSR aplicando-se as etapas preconizadas por Dresch *et al.* (2015), conforme a seguir.

4.3.1 Identificar o problema

A falta e o excesso de estoques na empresa foram identificados a partir de relatórios de inventário. Os valores obtidos (25% de falta e 35% de excedente, em média) demonstram que o processo de Gerir e Controlar Estoque na empresa não tem sido eficiente.

O fato da empresa não diferenciar seus materiais em estoque para adoção de políticas de controle tem contribuído para esses resultados. Faz-se necessária a segregação desses materiais no que tange a política de controle dos mesmos, uma vez que a empresa possui materiais em estoque que vão desde materiais de escritório a materiais para operação de poços submarinos. Assim, a definição da melhor política de controle de estoques para os SKU analisados tornou-se uma das iniciativas estratégicas da empresa, sendo objeto de estudo deste trabalho.

4.3.2 Revisar a literatura

Conforme Capítulo 2, revisou-se da literatura a fim de levantar as principais discussões em torno do tema de Gerir e Controlar Estoque. Nessa etapa, identificou-se a Classes de Problema e seus respectivos artefatos que, por sua vez, balizaram o desenvolvimento deste trabalho.

4.3.3 Classes de problemas

A partir da revisão da literatura, foi observado que a Classe de Problema em que se enquadra este estudo é a de Gestão de Materiais, conforme identificado por Dresch *et al.* (2015). Nessa Classe, identificam-se artefatos como o Kanban, MRP, CONWIP e Tambor-pulmão-corda.

Dentre essas políticas identificadas na Classe de Problema Planejamento e Controle da Produção, foi definido o Kanban como alternativa para o MRP utilizado na empresa. Essa escolha foi embasada em função da simplicidade dessa ferramenta e por ser de conhecimento de muitos especialistas do processo de Gerir e Controlar Estoque.

4.3.4 Propor artefato

O artefato a ser elaborado é um Diagrama de Decisão que, a partir de alguns parâmetros, permite identificar qual a melhor política de gestão e controle de estoques entre MRP e Kanban para cada SKU analisado. Dessa forma, contribui-se para a tomada de decisão na empresa e permite-se a aplicação desse diagrama em qualquer Área de Negócio, ampliando o conhecimento gerado.

Como parâmetros a serem adotados, conforme discutido no Capítulo 2, o volume consumido em unidades, o valor monetário em estoque, a distribuição de demanda e de *lead time* de entrega, bem como a criticidade, foram identificados como os mais relevantes para definição da política a ser adotada. Assim, levantaram-se os dados correspondentes a esses parâmetros para desenvolver o diagrama.

A partir da opinião dos especialistas, definiu-se as categorias **Estratégico**, **Operacional** e **Corriqueiro** para a classificação dos SKU em cada um dos parâmetros citados, pois essa nomenclatura facilitaria o entendimento na empresa, visto que é utilizada na mesma para definição de materiais internamente.

A consulta a esses especialistas se deu através de reuniões com a participação de todos eles. Foram realizadas três reuniões para obtenção de convergência quanto aos assuntos discutidos. Na primeira reunião o problema foi introduzido, assim como apresentada a DSR e a proposta de um Diagrama de Decisão como artefato utilizando como nós a Demanda, o *Lead Time* e a Curva ABC incorporando a Criticidade. Na demais reuniões, os especialistas propuseram a categorização citada e definiram os critérios de corte conforme apresentado na Seções 4.3.4.1, 4.3.4.2 e 4.3.4.3. A aplicação da AHP exigiu a realização de mais duas reuniões a fim de atingir o consenso quanto à classificação segundo a escala de Saaty, conforme apresentado na Seção 4.3.4.4.

Como especialistas foram chamados cinco funcionários com pelo menos sete anos de atuação na empresa, sendo quase todo esse tempo dedicado a atuação em gestão

de estoques. A fim de garantir uma boa representatividade, foram chamados dois da área de Refino e Energia, um da área de Exploração e dois da área Corporativa.

4.3.4.1 Distribuição de demanda

Os dados levantados para identificar a demanda correspondem a seis anos, pois, segundo Enns (2002), horizontes acima de cinco anos permitem identificar comportamentos da demanda que ocorram em intervalos de tempo maiores (acima de um ano, por exemplo).

Como Demanda, entende-se as solicitações de materiais pelas áreas usuárias, indiferentemente da existência do material em estoque no momento da solicitação, o que, em caso de falta, gera uma ordem de compra.

Para tanto, obteve-se os dados a partir do sistema de gestão da empresa considerando a limitação de escopo para a área de Refino e Energia e para os SKU definidos. Após a extração desses dados, calculou-se o Coeficiente de Variação (CV), visto que essa medida é uma das mais utilizadas para capturar a variabilidade de um conjunto de dados, sendo de fácil entendimento (ENNS, 2002).

A Figura 6 ilustra o padrão de consumo dos SKU analisados e a Tabela 8 identifica o CV para cada um desses SKU.

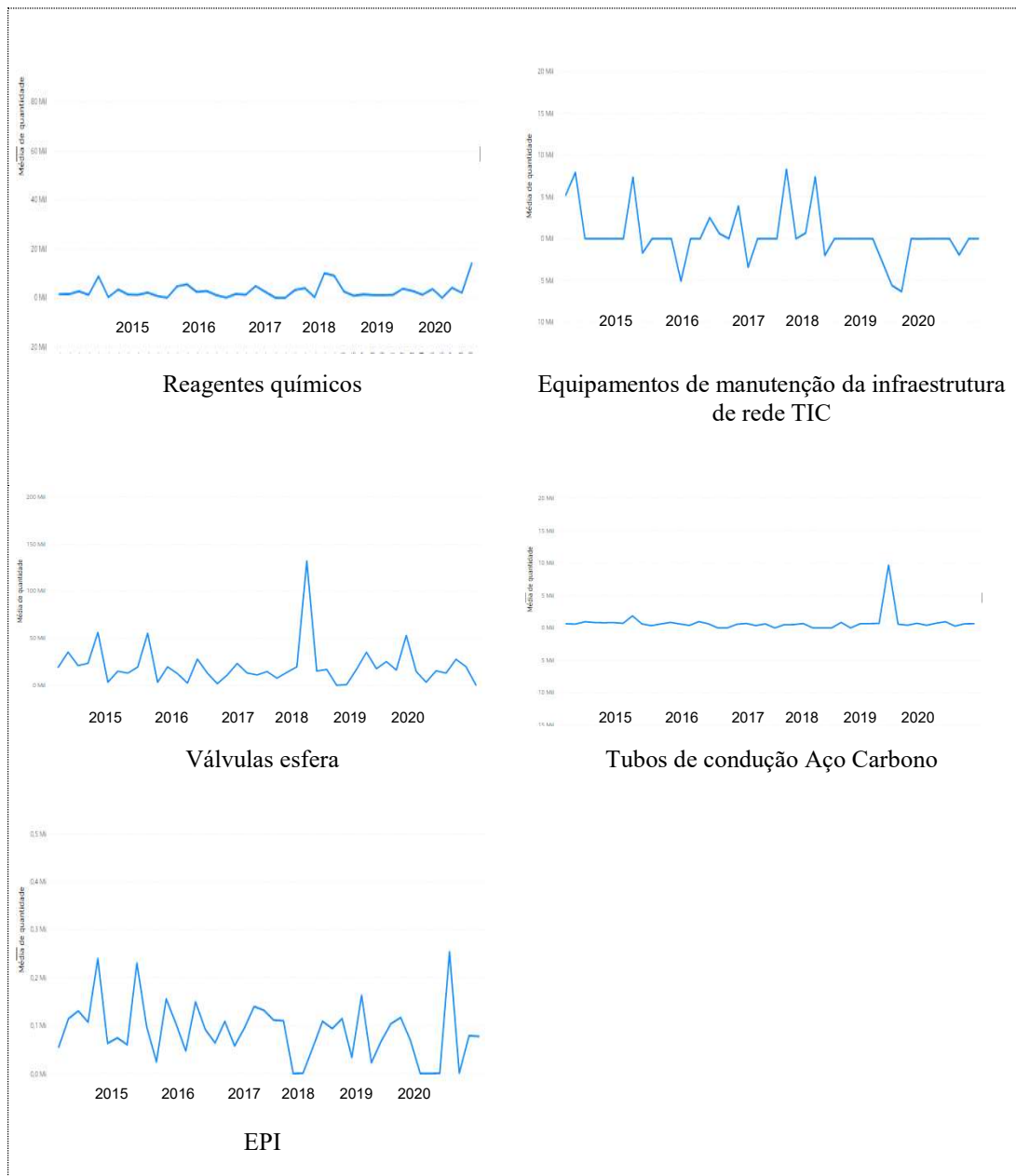


Figura 6 - Perfil de demanda

Tabela 8 - Coeficientes de Variação (CV) dos perfis de consumo (demanda)

SKU	CÁLCULO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV)
Reagentes químicos	$CV = \frac{\text{desvpad}}{\text{média}} * 100\% = 9,5k \text{ litros} / 65k \text{ litros}$	14,61%
Válvulas esfera	$CV = 8,9k \text{ unidades} / 33k \text{ unidades}$	26,97%
Tubos condutores de Aço Carbono	$CV = 45 \text{ unidades} / 590 \text{ unidades}$	7,62%
Equipamento de manutenção da infraestrutura de rede TIC	$CV = 160 \text{ conjuntos} / 270 \text{ conjuntos}$	59,26%
Equipamento de proteção individual (EPI)	$CV = 1,4k \text{ conjuntos} / 1,6k \text{ conjuntos}$	87,50%

Como critério para enquadrar esses SKU nas categorias Estratégico, Operacional ou Corriqueiro, estabeleceu-se como ponto de corte o valor de 25% para o CV. Essa definição se deu com base na literatura revisada no Capítulo 2, onde identificou-se que uma distribuição com CV acima desse valor apresenta variabilidade relevante. Além disso, também se identificou que valores acima de 50% representam uma variabilidade muito elevada, necessitando de métodos mais complexos para identificar padrões ao longo do tempo, o que tende a reduzir a assertividade das previsões (ENNS, 2002; ABOLGHASEMIA *et al.*, 2020)

A categoria Estratégico é entendido pela empresa como que tendem a apresentar consumo esporádico e, provavelmente, elevada variabilidade, sendo mais interessante adotar essa classificação para SKU com CV acima de 50%. Já para os Corriqueiros, a empresa entende como aqueles que possuem frequência de consumo elevada. Assim, estabeleceu-se para essa categoria o percentual abaixo de 25% como ponto máximo de classificação da mesma. A Tabela 9 apresenta a classificação em cada categoria de acordo com o CV.

Tabela 9 - Categorias x Coeficiente de Variação (CV)

	Estratégico	Operacional	Corriqueiro
Distribuição de probabilidade da Demanda	Demanda com coeficiente de variação maior que 50%	Demanda com coeficiente de variação entre 25% e 50%	Demanda com coeficiente de variação menor ou igual a 25%

4.3.4.2 Distribuição de *lead time*

Os dados levantados para identificar o *lead time* de entrega também correspondem a seis anos, garantindo o alinhamento desses dados com os da distribuição de demanda.

Como *lead time* de entrega, entende-se o tempo decorrente entre a solicitação do material e a entrada do mesmo no estoque. Esse tempo incorpora os tempos de colocação dos pedidos junto aos fornecedores, o de fabricação e de entrega. Quanto aos fornecedores, não foram realizadas diferenciações quanto a localidade dos mesmos ou importância, sendo considerado os resultados a partir da consolidação de todos eles.

Esses dados foram obtidos a partir do sistema de gestão da empresa considerando o escopo do estudo para a área de Refino e Energia e os SKU definidos. Da mesma forma que para a demanda, calculou-se o Coeficiente de Variação para cada SKU analisado. A Figura 7 apresenta as curvas de *lead time* de cada um desses SKU e a Tabela 10 demonstra os cálculos do CV.

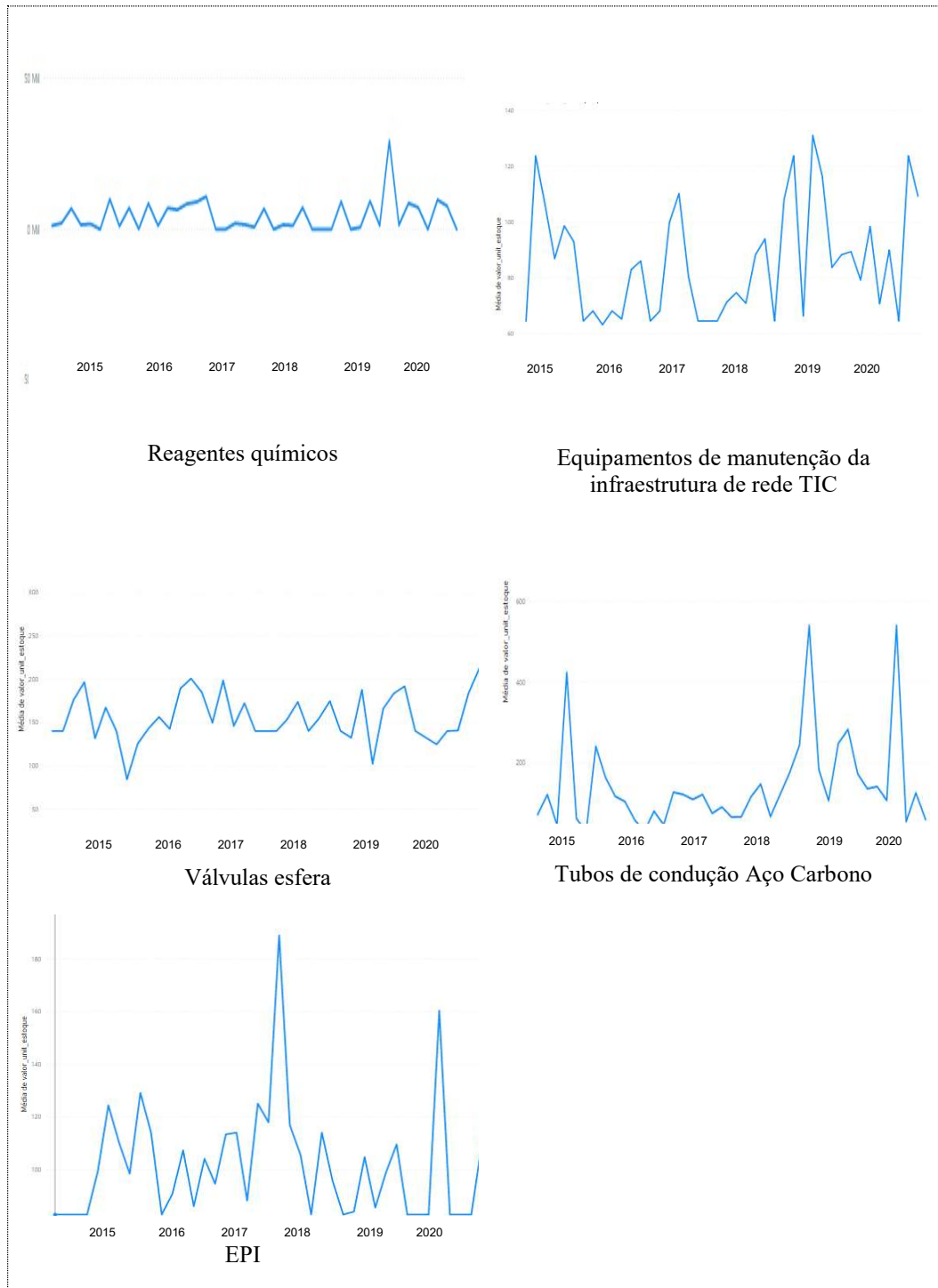


Figura 7 - Perfil de Lead Time de entrega

Tabela 10 - Coeficientes de Variação (CV) dos *lead times* de entrega

SKU	CÁLCULO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV)
Reagentes químicos	CV = (desvpad/média)*100%= 25,43 dias/109,32 dias	23,26%
Válvulas esfera	CV= 7,92 dias/34,67 dias	22,84%
Tubos condutores de Aço Carbono	CV= 153,36 dias/188,72 dias	81,26%
Equipamento de manutenção da infraestrutura de rede TIC	CV= 58,47 dias/166,33 dias	35,15%
Equipamento de proteção individual (EPI)	CV= 24,10 dias/88,92 dias	27,10%

Da mesma forma que para a distribuição de demanda, identificou-se que um CV acima de 25% é considerado elevado e, por isso, é o ponto central da classificação nas categorias Estratégico, Operacional e Corriqueiro. Uma vez que valores de CV acima de 50% representam distribuições com variabilidade muito elevada, optou-se por definir a classificação na categoria Estratégico para valores nessa faixa. Itens nessa faixa de CV tendem a apresentar maior complexidade de fabricação, tendendo a possuir maior variabilidade no *lead time* de entrega.

Para os Corriqueiros definiu-se como os SKU com CV abaixo de 25%. Nessa faixa de CV, costuma-se encontrar itens de prateleira, com fornecimento rápido em função da existência de estoque final nos fornecedores.

A Tabela 11 apresenta os pontos de classificação nessas categorias de acordo com o CV obtido para o *lead time*.

Tabela 11 - Categoria x CV de lead time

	Estratégico	Operacional	Corriqueiros
Distribuição de probabilidade do Lead Time	Demanda com coeficiente de variação maior que 50%	Demanda com coeficiente de variação entre 25% e 50%	Demanda com coeficiente de variação menor ou igual a 25%

4.3.4.3 Curva ABC

A curva ABC é gerada a partir da identificação de todos os SKU da empresa, uma vez que se faz necessário classificá-los como um percentual em função do valor monetário e do volume em unidades consumidas. Para as unidades consumidas, considerou-se o histórico de seis anos, a fim de alinhar com o horizonte definido para as distribuições de demanda e de *lead time* de entrega. Já para o valor monetário, utilizou-se o valor em estoque apresentando no inventário do primeiro trimestre de 2020.

Dado o escopo definido para este trabalho, analisou-se a Curva ABC para todos os SKU da área de Refino e Energia. A partir disso, identificou-se, para cada SKU analisado, o enquadramento quanto a ser um item de Classe A, B ou C.

A partir desse levantamento, identificou-se que a faixa dos itens A se encontra na entre R\$ 5.000.000,00 e R\$ 50.000.000,00 quanto ao valor em estoque. Para o volume consumido em unidades, encontra-se na faixa de 5.000 a 200.000,00 unidades ao ano.

Por sua vez, os itens C enquadram-se na faixa de valor entre R\$ 105,00 e R\$ 549.999,99. Para as unidades consumidas estão na faixa de 0 a 749 unidades ao ano.

A Tabela 12 apresenta essas faixas de valores identificadas para a classificação nas categorias A, B e C.

Tabela 12 - Curva ABC para volume e valor (R\$)

Classe do item	Faixa em R\$	Faixa em unidades consumidas (5 anos)
A	5.000.000,00 - 50.000.000,00	5.000 – 200.000
B	550.000,00 - 4.999.999,99	750 – 4.999
C	105,00 - 549.999,99	0 – 749

Ao se analisar os SKU definidos, classificou-se os mesmos nessa Curva ABC. Para o valor em estoque (R\$), utilizou-se os valores informados no sistema de gestão da empresa para o primeiro trimestre do ano de 2020. Já para a quantidade consumida, considerou-se os mesmos dados obtidos no levantamento da demanda na Seção 4.3.4.1. A Tabela 13 – Curva ABC por SKU apresenta os resultados da classificação ABC para os SKU analisados.

Tabela 13 – Curva ABC por SKU

SKU	Valor em R\$ - Faixa ABC	Valor consumido em unidades (5 anos) – Faixa ABC
Reagentes químicos	Valor aproximado de R\$ 12 milhões. Classe A	Quantidade consumida de aproximadamente 65 mil itens. Classe A
Válvulas esfera	Valor aproximado de R\$ 3,5 milhões. Classe B	Quantidade consumida de aproximadamente 33 mil itens. Classe A
Tubos condutores de Aço Carbono	Valor aproximado de R\$ 35 milhões. Classe A	Quantidade consumida de aproximadamente 590 itens. Classe C
Equipamento de manutenção da infraestrutura de rede TIC	Valor aproximado de R\$ 2 milhões. Classe B	Quantidade consumida de aproximadamente 270 itens. Classe C
Equipamento de proteção individual (EPI)	Valor aproximado de R\$ 432 mil. Classe C	Quantidade consumida de aproximadamente 2 mil itens. Classe B

A partir da opinião dos especialistas, entendeu-se que os itens considerados Estratégicos são aqueles que se enquadram na Classe A de valor monetário (R\$), em função de serem, em geral, equipamentos de produção. Além disso, quanto ao volume, tendem a se enquadrar nas Classes C por possuírem consumo mais esporádico em função dessa característica.

Para os itens Corriqueiros, os especialistas apontaram como aqueles que tendem a possuir alto consumo por serem de uso típico no dia a dia da empresa. Entretanto, ao se analisar em função do valor (R\$), tendem a apresentar baixo valor, uma vez que são materiais mais simples, tidos como de prateleira.

Assim, para classificar os SKU em Estratégico, Operacional ou Corriqueiro a partir da Curva ABC, foram estabelecidos os critérios apresentados na Tabela 4.

Tabela 14 - Categoria x Curva ABC de valor (R\$) e de consumo

	Estratégico	Operacional	Corriqueiros
Curva ABC	Valor (R\$): Classe A Volume consumido: Classe C	Valor (R\$): Classe B Volume consumido: Classe B ou C	Valor (R\$): Classe C Volume consumido: Classe A ou B

4.3.4.4 AHP

Para a definição dos critérios de criticidade dos SKU, consultou-se os especialistas da empresa que defiram três critérios considerando o processo produtivo da empresa: *i)* Disponibilidade o SKU no mercado, *ii)* Criticidade para a produção e *iii)* Impacto em SMS.

Esses especialistas entenderam que esses critérios são os que melhor definem as variáveis dos materiais quanto a sua criticidade nas áreas de negócio. A adoção desses três critérios permitiria distinguir essa criticidade tanto entre os materiais quanto para um mesmo material entre as três áreas de negócio.

Para a Disponibilidade do SKU no mercado, entendeu-se como a existência de empresas que produzam o SKU analisado e, com isso, a capacidade de obtê-lo mais rapidamente no mercado, reduzindo a necessidade de estocar itens a fim de mitigar sua falta.

Assim, para esse critério, os especialistas definiram como Muito Crítico aqueles que não possuem no mercado fornecedor empresas nacionais, o que não permite a obtenção rápida do SKU quando necessário, impedindo aquisições emergenciais, por exemplo. Para aqueles que possuem fornecedores nacionais, se possuírem menos de três fornecedores, entende-se que são classificados como Críticos, uma vez que o processo de aquisição para obtenção dos itens se torna mais complexo em função de exigências adicionais de Conformidade.

Quanto à Criticidade para o processo produtivo, analisa-se o impacto que a falta do SKU pode gerar no processo produtivo da empresa. Por impacto, entende-se como a possibilidade de gerar atrasos ou paradas do processo. Os especialistas apontaram como Muito Crítico aqueles que podem interromper o processo produtivo em caso de falta. Os Críticos, por sua vez, não causam a interrupção do mesmo, mas geram atrasos que podem levar a perdas financeiras.

Por fim, o Impacto em SMS define os SKU quanto as consequências que sua falta traz para a Segurança, o Meio-Ambiente e a Saúde dos funcionários da empresa, bem como da comunidade em que se insere. Para os Muito Críticos, os especialistas definiram SKU cuja falta acarreta em danos graves, como poluição ambiental, acidentes de trabalho que levem a afastamento e absenteísmo elevado. Para os Críticos, considerou-se os SKU cuja falta quase acarrete em um dano ambiental (vazamentos controlados, por exemplo) ou ocorra um incidente de trabalho.

4.3.4.4.1 Definição dos pesos

Os critérios foram comparados entre si utilizando a Escala de Saaty. Para definição dos pesos segundo essa escala, foram convocados especialistas que discutiram os pesos em duas reuniões a fim de chegar a um consenso.

Nessas reuniões foi apresentada a Escala de Saaty e solicitado aos especialistas que realizassem as classificações de maneira independente. Após isso, as classificações de cada um foram apresentadas e discutidas a fim de se obter o consenso. Após a segunda reunião o mesmo foi obtido conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Matriz de pesos para os critérios

	Disponibilidade do SKU no mercado	Criticidade para a produção	Impacto em SMS
Disponibilidade o SKU no mercado	1	1/5	1/7
Criticidade para a produção	5	1	1/3
Impacto em SMS	7	3	1

Os especialistas entendem que o Impacto em SMS é o fator mais crítico para um SKU, em função dos riscos que a falha nesse critério pode acarretar tanto para a segurança e meio-ambiente, quanto para a imagem da empresa, sendo mais crítico a ocorrência de um impacto em SMS do que a interrupção do processo produtivo.

Assim, esse critério apresenta os maiores índices quando comparados aos outros dois.

A Criticidade para a produção foi apontada como o segundo critério mais crítico e, portanto, com peso maior quando comparado à Disponibilidade de SKU no mercado. Por fim, este critério foi definido como o de menor criticidade quando comparado aos demais, visto que medidas mitigatórias para ele são mais fáceis de serem estabelecidas.

A partir da matriz da Tabela 5, calcularam-se os autovetores normalizados para cada um dos critérios:

Cálculo dos autovetores W:

$$\text{Disponibilidade do SKU no mercado: } W1 = (1 \cdot 1/5 \cdot 1/7)^{1/3} = 0,306$$

$$\text{Criticidade para a produção: } W2 = (5 \cdot 1 \cdot 1/3)^{1/3} = 1,260$$

$$\text{Impactos em SMS: } W3 = (7 \cdot 3 \cdot 1)^{1/3} = 2,759$$

Normalização dos autovetores W:

$$\text{Disponibilidade do SKU no mercado: } N1 = 0,306 / (\sum W) = 0,071$$

$$\text{Criticidade para a produção: } N2 = 1,260 / (\sum W) = 0,291$$

$$\text{Impactos em SMS: } N3 = 2,759 / (\sum W) = 0,638$$

4.3.4.4.2 Definição dos pesos relativos

Após a realização da comparação entre os critérios, elabora-se a matriz de pesos relativos para cada um dos critérios considerando-se a classificação em Muito Crítico, Crítico e Pouco Crítico. Para isso, os mesmos especialistas definiram os pesos nas reuniões citada na Seção 4.3.4.4.1.

A Tabela 16 apresenta esse relacionamento para o critério de Disponibilidade do SKU no mercado.

Tabela 16 - Pesos relativo para Disponibilidade do SKU no mercado

Disponibilidade do SKU no mercado			
	Muito crítico	Crítico	Pouco crítico
Muito crítico	1	5	7
Crítico	1/5	1	3
Pouco crítico	1/7	1/3	1

Considerando que o Muito Crítico é aquele em que não há fornecedor nacional, os especialistas entenderam que sua relevância é alta quando comparada ao Crítico que possui menos de três fornecedores nacionais. Embora a complexidade de aquisição aumente para o Crítico por possuir menos de três fornecedores nacionais, entendeu-se que ainda assim seria mais simples obter o SKU no mercado do que se existissem apenas fornecedores internacionais.

Para o Pouco Crítico, houve consenso de que o processo licitatório não demanda medidas adicionais de Conformidade. Logo, foi definido o peso 3 para estabelecer essa relação.

A Tabela 17 apresenta os relacionamentos elaborados para o critério de Criticidade para a produção.

Tabela 17 - Pesos relativo para Criticidade para a produção

Criticidade para a produção			
	Muito crítico	Crítico	Pouco crítico
Muito crítico	1	5	9
Crítico	1/5	1	7
Pouco crítico	1/9	1/7	1

Os especialistas apontaram que o Muito Crítico, por gerar parada do processo produtivo, tem elevada importância sobre os demais critérios.

O Crítico, no entanto, não para o processo, mas gera atrasos. Assim, entendeu-se que esses atrasos podem acarretar em perdas financeiras para a empresa, definindo-se uma importância muito forte em relação ao Pouco Crítico.

Por fim, na Tabela 18 são definidos os pesos relativos para o critério de Impacto em SMS.

Tabela 18 - Pesos relativo para Impactos em SMS

Impactos em SMS			
	Muito crítico	Crítico	Pouco crítico
Muito crítico	1	9	9
Crítico	1/9	1	7
Pouco crítico	1/9	1/7	1

Para o Muito Crítico, em função de causa danos ambientais ou acidentes com afastamento, os especialistas entenderam que sua relação com os demais critérios é de extrema importância, adotando-se o índice 9 para essa comparação.

Quanto ao Crítico, por quase gerar dano ambiental ou por causar acidente sem afastamento, e pelo fato do SMS ser um fator estratégico para a empresa, foi definido como 7 (importância muito forte) quando comparado ao Pouco Crítico.

4.3.4.4.3 Cálculo dos autovetores

Uma vez elaborado as matrizes de pesos relativos, calculam-se os autovetores das mesmas:

Autovetores de Disponibilidade do SKU no mercado:

Cálculo dos autovetores W:

$$\text{Muito crítico: } W_{11} = (1 \cdot 5 \cdot 7)^{1/3} = 3,271$$

$$\text{Crítico: } W_{12} = (1/5 \cdot 1 \cdot 3)^{1/3} = 0,843$$

$$\text{Pouco crítico: } W_{13} = (1/7 \cdot 1/3 \cdot 1)^{1/3} = 0,362$$

Normalização dos autovetores W:

$$N_{11} = 3,271 / (\sum W_1) = 0,731$$

$$N_{12} = 0,843 / (\sum W_1) = 0,188$$

$$N_{13} = 0,362 / (\sum W_1) = 0,081$$

Autovetores de Criticidade para a produção:

Cálculo dos autovetores W:

$$\text{Muito crítico: } W_{21} = (1 \cdot 5 \cdot 9)^{1/3} = 3,557$$

$$\text{Crítico: } W_{22} = (1/5 \cdot 1 \cdot 7)^{1/3} = 1,119$$

$$\text{Pouco crítico: } W_{23} = (1/9 \cdot 1/7 \cdot 1)^{1/3} = 0,251$$

Normalização dos autovetores W:

$$N_{21} = 3,557 / (\sum W_2) = 0,722$$

$$N_{22} = 1,119 / (\sum W_2) = 0,227$$

$$N_{23} = 0,251 / (\sum W_2) = 0,051$$

Autovetores de Impactos em SMS:

Cálculo dos autovetores W:

$$\text{Muito crítico: } W31 = (1*9*9)^{1/3} = 4,327$$

$$\text{Crítico: } W32 = (1/9*1*7)^{1/3} = 0,920$$

$$\text{Pouco crítico: } W33 = (1/9*1/7*1)^{1/3} = 0,251$$

Normalização dos autovetores W:

$$N31 = 4,327/(\sum W3) = 0,787$$

$$N32 = 0,920/(\sum W3) = 0,167$$

$$N33 = 0,251/(\sum W3) = 0,046$$

4.3.4.4.4 Elaboração do diagrama hierárquico da AHP

A partir dos autovetores calculados, elabora-se a matriz de relação hierárquica da AHP, a fim de criar um modelo que permita classificar o SKU analisado (Figura 8).

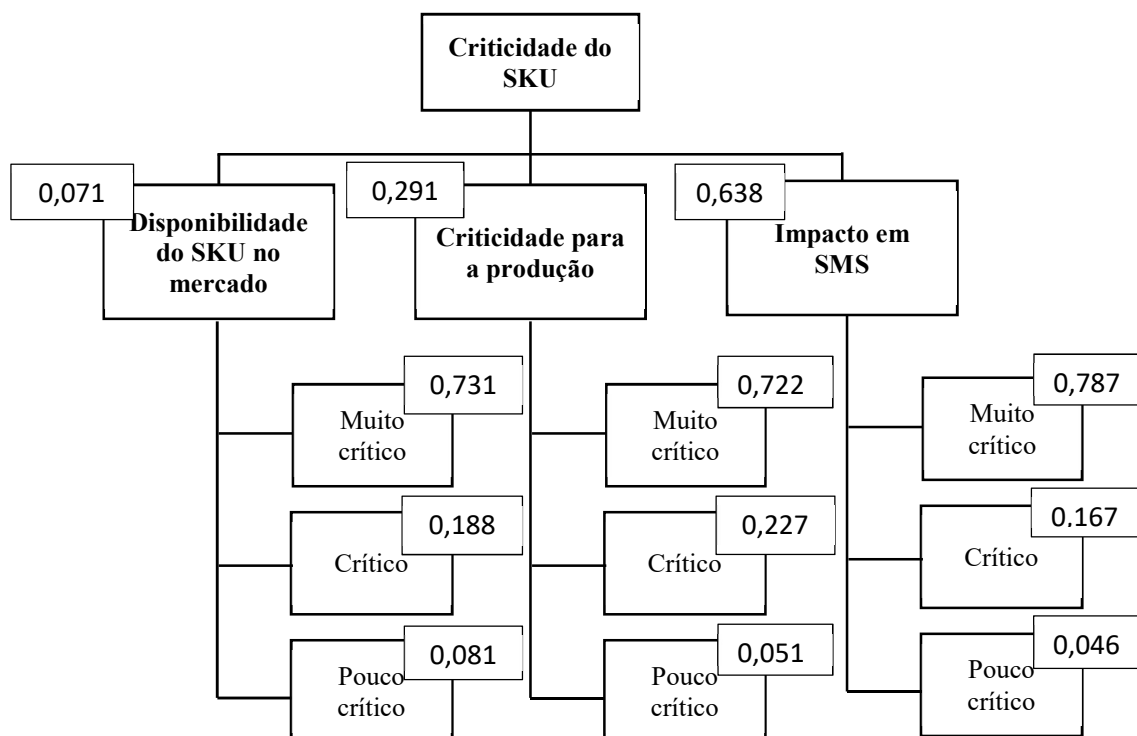


Figura 8 - Diagrama Hierárquico

Uma vez criado esse diagrama, calculam-se as faixas de classificação em Muito Crítico, Crítico e Pouco Crítico, conforme Tabela 19.

Tabela 19 - Ranges de classificação

Ponto da classificação	Cálculo	Faixa de classificação
Muito Crítico (Máximo)	$(0,071*0,731)+(0,291*0,722)+(0,638*0,787) = 0,764$	0,574 - 0,764
Crítico (Amplitude)	$(0,071*0,188)+(0,291*0,227)+(0,638*0,167) = 0,186$	0,237 - 0,573
Pouco crítico (Mínimo)	$(0,071*0,081)+(0,291*0,051)+(0,638*0,046) = 0,050$	0,050 - 0,236

4.3.4.4.5 Enquadramento dos SKU nas faixas de classificação da AHP

Após elaborar o diagrama hierárquico da AHP (Figura 8), define-se a classificação quanto a Criticidade para cada um dos SKU. A definição de Disponibilidade do SKU no mercado fornecedor se deu por meio da base de Cadastro de Fornecedores existente na empresa. Quanto a Criticidade para a produção e o Impacto em SMS, foram consultados os mesmos especialistas envolvidos nas etapas anteriores.

Com isso, os SKU analisados foram classificados quanto a Criticidade conforme Tabela 20.

Tabela 20 - AHP para os SKU

SKU	Disponibil. do SKU no mercado	Criticidade para a produção	Impacto em SMS	Cálculo	Classificação conforme range da AHP
Reagentes químicos	Pouco crítico	Muito crítico	Pouco crítico	$(0,071*0,081)+(0,291*0,722)+(0,638*0,046) = 0,241$	Crítico
Válvulas esfera	Pouco crítico	Crítico	Muito crítico	$(0,071*0,081)+(0,291*0,227)+(0,638*0,787) = 0,567$	Crítico
Tubos condutores de Aço Carbono	Crítico	Muito crítico	Pouco crítico	$(0,071*0,188)+(0,291*0,722)+(0,638*0,046) = 0,248$	Crítico

SKU	Disponibil. do SKU no mercado	Criticidade para a produção	Impacto em SMS	Cálculo	Classificação conforme range da AHP
Equipamento de manutenção da infraestrutura de rede TIC	Muito crítico	Pouco crítico	Pouco crítico	$(0,071*0,731)+$ $(0,281*0,051)+$ $(0,638*0,046)$ = 0,091	Pouco crítico
Equipamento de proteção individual (EPI)	Crítico	Muito crítico	Muito crítico	$(0,071*0,188)+$ $(0,291*0,723)+$ $(0,638*0,787)$ = 0,574	Muito Crítico

O SKU de Reagentes químicos foi enquadrado como Pouco Crítico na Disponibilidade de mercado fornecedor por possuir mais de 3 fornecedores nacionais para a grande maioria dos itens dessa família. Para a Criticidade para a produção, os especialistas entenderam que se trata de Muito Crítico, uma vez que é um material de consumo essencial ao processo produtivo e, sem eles, esse processo pode parar. Por fim, para o Impacto em SMS entendeu-se que sua falta não gera acidentes ou danos ambientais, dado que são consumidos no processo como matéria-prima.

Para o SKU de Válvulas Esfera, o sistema de cadastro identificou a existência de mais de três fornecedores no mercado (Pouco Crítico), mas como é um material utilizado no processo produtivo para controle de vazão, sua falta pode acarretar em atrasos ou paradas intermediárias no processo (Crítico). Dessa forma, foi enquadrado como Crítico para a Criticidade para a produção. Por sua vez, para o Impacto em SMS entendeu-se como Muito Crítico, uma vez que sua falta pode acarreta em falhas graves no processo, gerando danos ambientais e acidentes.

Os Tubos condutores de Aço Carbono foram apontados como Críticos na Disponibilidade de mercado fornecedor pois possuem menos de três fornecedores nacionais e, para alguns itens, busca-se o mercado internacional. Quanto a Criticidade para a produção, foi definido como Muito Crítico em função de ser um

equipamento que atende diretamente ao processo e, em caso de falta de um tubo, a falta de um substituto acaba interrompendo a produção. Já para o Impacto em SMS, entende-se que a falta de um item que substitua um defeituoso não geraria danos ambientais ou de segurança, uma vez que a produção seria interrompida sem maiores percalços.

Os Equipamentos de rede TIC, em geral, não possuem fornecedores nacionais. Quando possuem, os mesmos podem necessitar importar algum componente; logo, foram designados como Muito Crítico na Disponibilidade de mercado. Para a Criticidade de produção, foram definidos como Pouco Críticos em função de não se relacionarem diretamente com a produção, havendo redundância nas instalações a fim de mitigar falhas. O mesmo cenário se verifica para os Impactos em SMS, levando esse SKU a ser considerado Pouco Crítico também.

Por fim, o EPI foi definido como Crítico na Disponibilidade de mercado pois apresentam menos de três fornecedores, sendo a competitividade restrita a fornecedor exclusivo em alguns casos. Em relação a Criticidade para a produção, foi classificado como Muito Crítico em função da empresa adotar rigorosos padrões de segurança e, em caso de falta de EPI adequado, o turno de produção nem sequer é iniciado. Essa mesma classificação foi adotada para os Impactos em SMS por se tratar de materiais críticos a essa questão, ocorrendo acidentes graves quando da sua não utilização.

4.3.5 Desenvolver o artefato

Com base nas definições de Distribuição de Demanda, de *Lead Time* e da Curva ABC para volume, valor monetário e criticidade, desenvolveu-se o Diagrama de Decisão proposto.

Como nó de decisão inicial do Diagrama, colocou-se a Distribuição de Probabilidade da Demanda, pois entende-se como o fator de maior importância da definição da política de estoque. Isso foi identificado a partir da revisão da literatura (Capítulo 2), onde muitos autores demonstram o impacto que a demanda gera na operacionalização tanto do MRP (PUCHKOVA; LE ROMANCER & McFARLANE, 2016; KOH & SAAD, 2003; FONTANILI; LAURAS & MILIAN, 2016) quanto do Kanban (GODINHO FILHO & LAGES JUNIOR, 2010;

PETTERSEN & SEGERSTEDT, 2008; GUPTA & AL-TURKI, 1997; HOPP & SPEARMAN, 2008).

Para o nó seguinte, colocou-se a Distribuição do *Lead Time* de entrega dada a sua similaridade em termos de análise com o nó anterior. Por fim, a Curva ABC para volume, valor monetário e criticidade foi colocada como o nó final de decisão.

Como alternativas para todos os nós, estabeleceu-se os critérios de classificação em Estratégico, Operacional e Corriqueiro, conforme definido na Seção 4.3.4. Para definição das alternativas, considerou-se os pontos de corte definidos nas Seções 4.3.4.1, 4.3.4.2, 4.3.4.3 e 4.3.4.4. A Tabela 21 resume os critérios para essa classificação em cada um dos nós.

Tabela 21 – Parâmetros e critérios na Curva ABC

Parâmetros	Critérios		
	Estratégicos	Operacionais	Corriqueiros
Distribuição de probabilidade da Demanda	Demanda com coeficiente de variação maior que 50%	Demanda com coeficiente de variação entre 25% e 50%	Demanda com coeficiente de variação menor ou igual a 25%
Distribuição de probabilidade do Lead Time	Demanda com coeficiente de variação maior que 50%	Demanda com coeficiente de variação entre 25% e 50%	Demanda com coeficiente de variação menor ou igual a 25%
Curva ABC	Valor (R\$): Classe A Volume consumido: Classe C Criticidade = Muito crítico	Valor (R\$): Classe B Volume consumido: Classe B ou C Criticidade = Crítico	Valor (R\$): Classe C Volume consumido: Classe A ou B Criticidade = Pouco crítico

Ao fim do Diagrama, aponta-se o método de controle de estoque mais adequado ao SKU analisado, podendo ser o MRP, o Kanban ou ambos. A Figura 9 ilustra as definições possíveis com base nesse Diagrama.

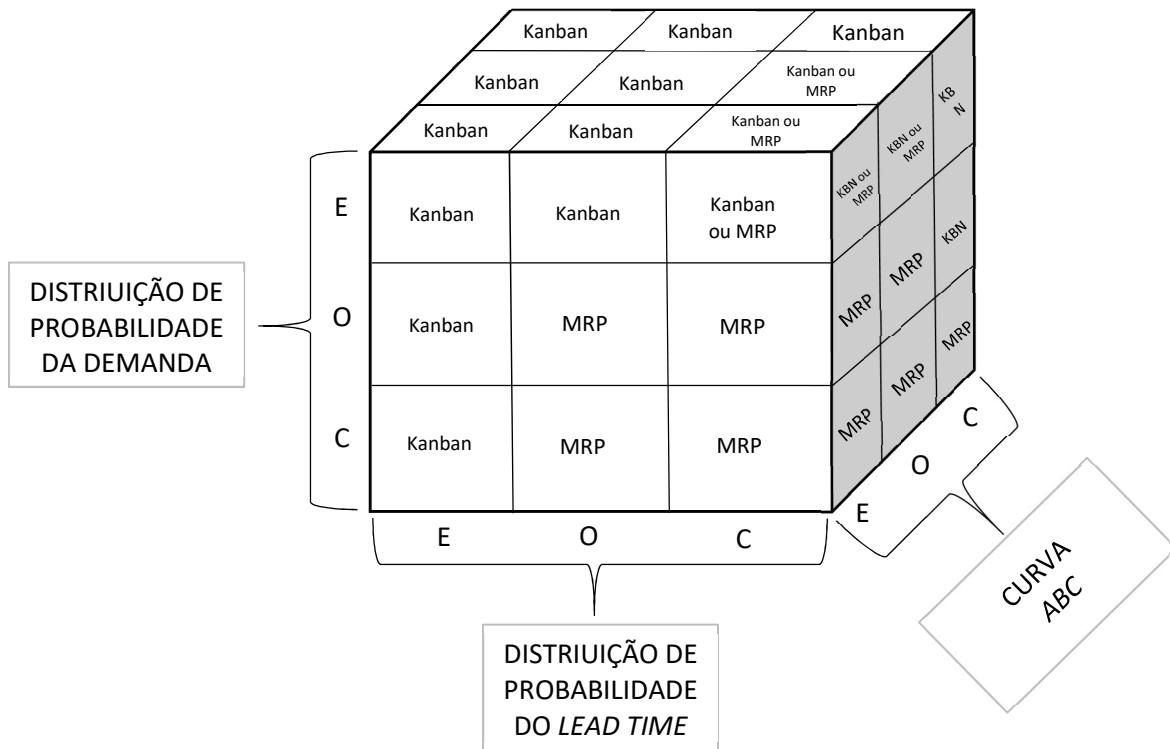


Figura 9 - Cubo de respostas finais do Diagrama

Fonte: adaptado de Molenears *et al.* (2011)

Assim, o Diagrama foi elaborado conforme apresentado na Figura 10.

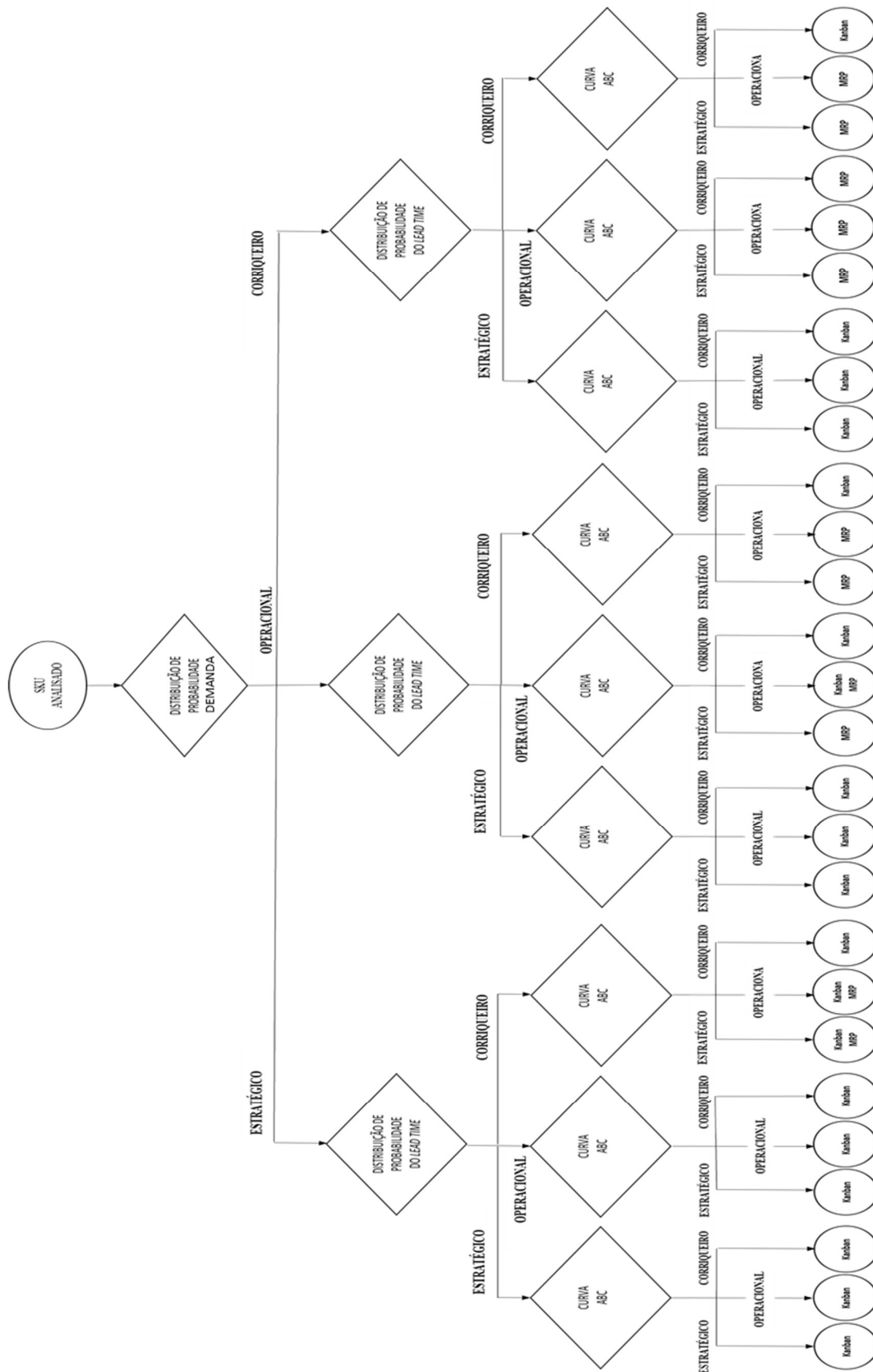


Figura 10 - Diagrama Final

Com base na Revisão da Literatura (Capítulo 2), entende-se que para um SKU classificado como Estratégico no parâmetro de Distribuição da Demanda, a melhor alternativa de controle de estoque é o Kanban. Isso se deve ao fato de que esse controle não se baseia em previsões de demanda, sendo mais responsivo quando ocorrem alterações da mesma (GODINHO FILHO & JUNIOR LAGE, 2010). Assim, a utilização desse controle permita ao sistema ser mais responsivo, atendendo a demanda de maneira mais próxima aos pedidos firmes (BENTON & SHIN, 1998). Para classificações desse parâmetro como Corriqueiro ou Operacional, tanto o Kanban quanto o MRP se tornam opções, uma vez que distribuições de menor variabilidade permitem previsões mais assertivas (ENNS, 2002), aproximando ambos os controles (HOPP & SPEARMAN, 2008; PETERSEN & SEGERSTEDT, 2008).

Da mesma forma, para SKU classificados como Estratégico no parâmetro de Distribuição do *Lead Time*, entende-se que o Kanban é a melhor opção. Essa definição se dá em função do MRP assumir esses tempos como fixos, não lidando bem com *lead times* que variam muito, gerando o nervosismo do MRP (HAUTANIEMI & PIRTTILA, 1999; KOH & SAAD, 2003), conforme discutido no Capítulo 2. Entretanto, para classificações do SKU como Corriqueiro ou Operacional, o MRP não apresentaria esse nervosismo e, por isso, surge como opção de controle de estoque.

Na Curva ABC, em relação aos Corriqueiros, entende-se que os SKU devem ser controlados pelo Kanban, uma vez que este método tende a apresentar custos mais baixos pela sua simplicidade (HOPP & SPEARMAN, 2008). Dessa forma, adotar o MRP para itens que sejam de baixa relevância na Curva ABC não se mostra viável em função do custo alto para controle desses itens. Para esse nó de decisão, a adoção do MRP faz mais sentido quando a classificação resulta em Estratégico, onde se encontram SKU de maior valor (R\$), maior volume consumido e maior criticidade para a operação, tornando o custo de se controlar por MRP mais apropriado para itens com essas características.

4.4 APLICAR O DIAGRAMA

Os SKU definidos neste estudo foram aplicados no Diagrama a fim de verificar os resultados obtidos e validar esse artefato proposto. Dessa forma para cada SKU foram levantados os dados necessários para aplicá-los no Diagrama.

Os **Reagentes Químicos** apresentam Coeficiente de Variação (CV) de 14,61%, logo, classifica-se como **Corriqueiro** na Distribuição de Demanda. Seguindo o Diagrama, tem-se o nó de classificação quanto *ao Lead Time* e, para esse SKU, enquadra-se como **Corriqueiro**, uma vez que possui CV de 23,26%. Por último, classifica-se esse SKU quanto à Curva ABC. Dado que ele se enquadra como Classe A em valor, Classe A em consumo e sua Criticidade no AHP resultou em Crítico, define-se como **Operacional**. Assim, tem-se como recomendação a adoção do controle **MRP** para esse SKU.

Em relação ao SKU de **Válvulas Esfera**, obteve-se a classificação de **Operacional** (CV igual a 26,97%) no nó de Demanda, de **Corriqueiro** no nó de *Lead Time* (CV igual a 22,84%) e, finalmente, de **Operacional** no nó de Curva ABC (Classe B em valor, Classe A em consumo e Crítico no AHP). Desse modo, o Diagrama indica a utilização de **MRP** como método de controle de estoque.

Os **Tubos Condutores de Aço Carbono** têm como recomendação a utilização de **Kanban**, uma vez que o nó de Demanda resulta em **Corriqueiro** (CV igual a 7,62%) e, no nó de *Lead Time* como **Estratégico** (CV igual a 81,26%). Já o nó da Curva ABC, resultou em **Estratégico**, pois enquadra-se na Classe A para valor, na Classe C para consumo e seu AHP resultou em Crítico.

Para **Equipamentos de manutenção de infraestrutura de rede TIC**, o nó de Demanda resulta em **Estratégico** por apresentar CV de 59,26%. Ao se analisar o nó de *Lead Time* (CV de 35,15%), classifica-se esse SKU como **Operacional**. No último nó (Curva ABC), tem-se a classificação de **Operacional**, por ser da Classe B para valor, C para consumo e seu AHP resultar em Pouco Crítico. Dessa forma, o Diagrama traz como recomendação a utilização de **Kanban**.

Por fim, o SKU de **EPI** apresenta como recomendação o uso de **Kanban**. Isso se deve ao nó de Demanda resultar em **Estratégico** (CV igual a 87,50%), ao de *Lead Time* em **Operacional** (CV de 27,10%) e ao nó de Curva ABC em **Operacional** (Classe C em valor, Classe B em consumo e Muito Crítico no AHP).

A Tabela 22 resume os resultados encontrados na aplicação do Diagrama.

Tabela 22 - Resultado por SKU

SKU	Demanda	<i>Lead Time</i>	Curva ABC	Resultado
Reagentes químicos	Corriqueiro	Corriqueiro	Operacional	MRP
Válvulas Esfera	Operacional	Corriqueiro	Operacional	MRP
Tubos Condutores de Aço Carbono	Corriqueiro	Estratégico	Estratégico	Kanban
Equipamentos de manutenção de infraestrutura de rede TIC	Estratégico	Operacional	Operacional	Kanban
Equipamento de proteção individual (EPI)	Estratégico	Operacional	Operacional	Kanban

A Figura 11 ilustra os resultados obtidos para os SKU analisados.

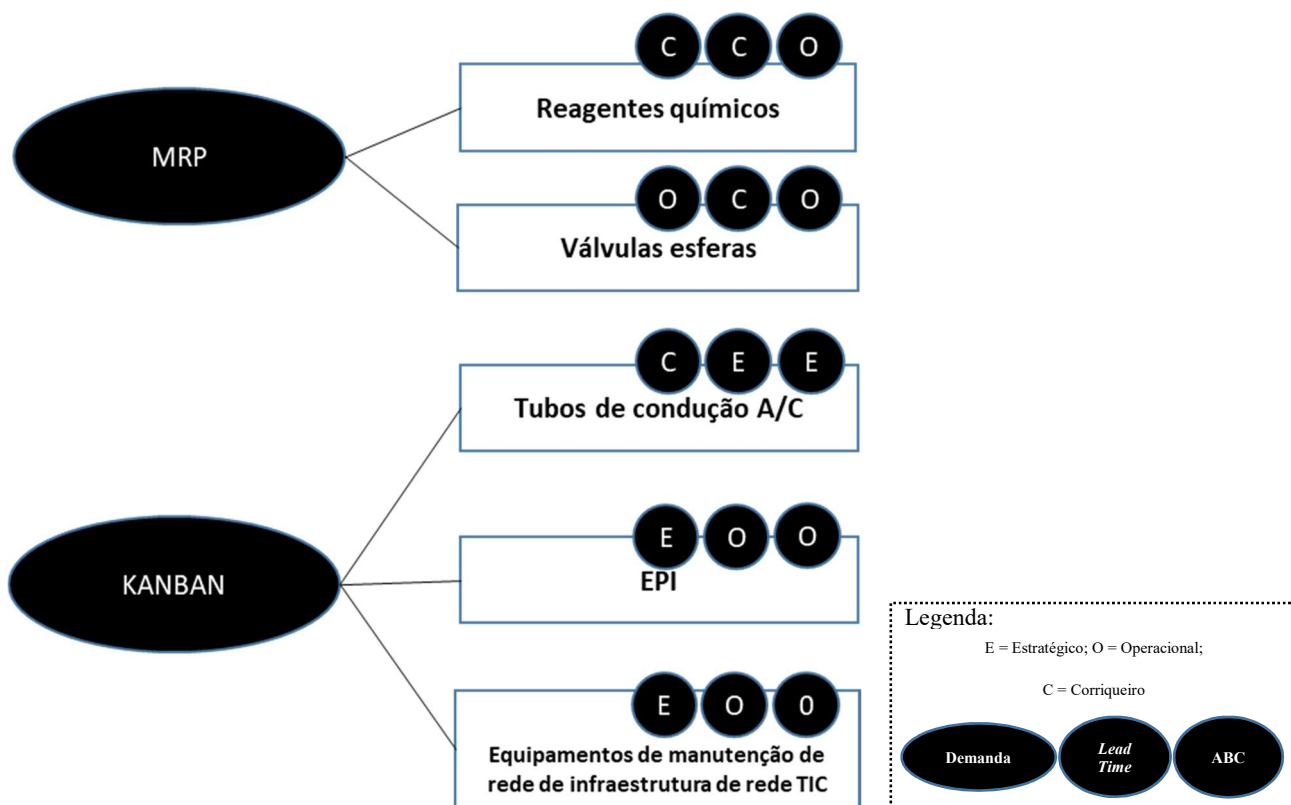


Figura 11 - Ilustração dos resultados

4.5 VALIDAÇÃO DO DIAGRAMA

A validação do Diagrama proposto foi realizada pelos especialistas da empresa a partir da análise de métricas adotadas na Gestão de Estoques. Assim, para cada SKU aplicado ao Diagrama, verificou-se a medida mais recente em cada uma das métricas a fim de analisar se há espaço para melhoria na gestão de estoque desse SKU.

Para tanto, os especialistas apontaram as métricas de Falta e Excedente como aquelas mais adequadas para essa validação. Para o Excedente, obteve-se a quantidade excedente conforme o último inventário de estoques da empresa. Já para a Falta, obteve-se do sistema de gestão o número de ordens de compra geradas em função de ruptura da quantidade estocada.

Portanto, para cada SKU analisado, foram obtidos os valores de falta (em número de ordens geradas) e de excedente (em Reais em estoque). A Tabela 23 enumera os valores de falta e excedente levantados para cada SKU.

Tabela 23 – Métricas dos SKU

SKU	Falta	Excedente
Reagentes químicos	2%	8%
Válvulas Esfera	9%	10%
Tubos Condutores de Aço Carbono	14%	22%
Equipamentos de manutenção de infraestrutura de rede TIC	8%	46%
Equipamento de proteção individual (EPI)	3%	21%

A partir da Tabela 23 pode-se notar que os SKU de Tubos Condutores de Aço Carbono, Equipamentos de manutenção de infraestrutura de rede TIC e Equipamento de proteção individual (EPI) apresentam métricas com valores inadequados, o que vai de encontro ao resultado da aplicação do Diagrama, visto que foi apontada a utilização do Kanban como alternativa. Assim, o resultado dessa aplicação contribui para a recomendação da adoção de um modelo diferente de controle de estoques.

Ao se discutir com os especialistas esses SKU, foi identificado que eles possuem algumas características que podem fazer do MRP um controle de estoque menos eficaz. Essa discussão contribuiu para o entendimento que outros métodos de controle podem trazer resultados mais eficazes, indo de encontro ao que a análise do Diagrama verificou.

O EPI, por exemplo, apresenta valores muito baixos em estoque e não possui um consumo elevado. Assim, adotar o MRP pode tornar muito custosa a operação, fazendo sentido a aplicação de método mais simples, reduzindo a equipe que atua na parametrização desse SKU, uma vez que possui, inclusive, estrutura gerencial específica para controle de estoque desses itens.

Os Tubos de Condução de Aço Carbono apresentam distribuição de *Lead Time* com muita variabilidade, o que acarreta em dificuldades de operacionalizar o MRP, conforme visto no Capítulo 2. Isso pode ser verificado na empresa ao se discutir esse SKU, quando se identificou que os responsáveis pela parametrização adotavam

valores de *lead time* fixos por períodos de seis meses, alterando os mesmos a partir de análises manuais, não capturando essa variabilidade de forma assertiva.

O Equipamento de manutenção da infraestrutura de rede TIC apresenta demanda errática em função de se tratar de itens contingenciais que só são utilizados em casos de extrema necessidade. Assim, conforme visto no Capítulo 2, o MRP tende a não ser assertivo, uma vez que utiliza previsões de demanda como *input* para realizar os cálculos. A partir da discussão dos especialistas, identificou-se que a previsão de demanda para esses itens não é atualizada, sendo a última realizada a dois anos atrás, sem qualquer tipo de ajuste posterior a isso.

Por fim, os Reagentes Químicos e as Válvulas Esfera foram identificados pelos especialistas como itens de fácil fabricação, possuindo, em sua maioria, estoque de produtos acabados nos fornecedores. Dessa forma, não apresentam valores discrepantes de *lead time* de entrega. Além disso, por estarem diretamente relacionados com o processo produtivo, possuem consumo mais assertivo e de maior facilidade de previsão. Assim, o MRP tende a apresentar bons resultados pois essas características satisfazem seus pressupostos, conforme visto no Capítulo 2. Dessa forma, os especialistas entendem que os resultados de Excesso e de Falta são melhores em função do MRP atender ao propósito de controle desses itens em estoque, o que auxilia na validação do Diagrama, uma vez que este propôs a manutenção desse sistema para esses dois SKU.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho respondeu à pergunta de pesquisa da empresa que foi definida a partir da necessidade apontada quanto à melhoria da sua Gestão de Estoques. Para tanto, fez uso da DSR como metodologia, uma vez que se fez necessária a criação de um artefato capaz de atender a essa necessidade em todas as áreas de negócio dessa empresa, bem como para todos os SKU da mesma.

Dessa forma, criou-se um Diagrama de Decisão com base nos parâmetros de Distribuição de Demanda, de *Lead Time* de entrega e Curva ABC onde se incorporou a Criticidade através da AHP. A aplicação desse Diagrama, criado a partir da análise de cinco SKU selecionados e considerando a área de negócio de Refino e Energia, permitiu atender a proposta de artefato definida na metodologia.

Assim, a partir da validação de especialistas, esse artefato demonstrou o potencial de obtenção de resultados satisfatórios, com a possibilidade de redução dos excessos e das faltas no sistema considerando a adoção do Kanban ou da própria manutenção do MRP. Esse potencial se mostra ainda maior em função da ausência de políticas de controle de estoques que diferencie os materiais da empresa.

Além disso, diante da complexidade encontrada na empresa pela existência de materiais com características completamente distintas, entende-se que a criação do Diagrama permitiu incorporar essa complexidade, tornando a política de controle de estoques mais assertiva. Assim, é possível tratar os materiais de formas distintas quanto a essa política, tornando a mesma mais aderente ao ambiente complexo encontrado na empresa.

Para os SKU de Tubos Condutores de Aço Carbono, Equipamentos de manutenção de infraestrutura de rede TIC e Equipamento de proteção individual (EPI), o Kanban seria definido como método de controle. Isso vai de encontro às características desses materiais, pois não possuem previsibilidade de demanda que justifique a utilização do MRP e, tampouco, *lead time* de entrega previsível que se aproxime de um valor fixo para cada um desses SKU. Logo, percebe-se a necessidade de alterar o controle por MRP adotado hoje, que tem apresentado resultados insatisfatórios quanto à falta e ao excedente.

Entretanto, para o SKU de Reagentes químicos e Válvulas Esfera, o Diagrama propôs a manutenção do MRP, o que faz sentido quando se verificam demandas

frequentes e valores de *lead time* mais estáveis. Além disso, seus valores monetários são propícios à utilização de um sistema mais caro para seu controle e, quando se verificam as faltas e os excessos, o controle via MRP tem apresentado resultados satisfatórios.

A partir da aplicação desse Diagrama para os SKU analisados na área de Refino e Energia, os especialistas entenderam que se trata de um artefato de fácil utilização. Assim, sua replicação para as demais áreas da empresa não seria complexa, podendo ser adotado como padrão em toda a companhia. Dessa forma, pode-se obter resultados importantes na empresa, bem como servir de balizador para a implementação de outras iniciativas em gestão de estoques, uma vez que permitiu sair da ausência de modelos e de políticas de controle para um modelo capaz de satisfazer todas as áreas de negócio.

Essa opinião é reforçada pelo fato da aplicação desse Diagrama ser realizada utilizando apenas informações existentes em todas as áreas da empresa, bem como a opinião de especialistas de qualquer uma dessas áreas. Ademais, com o uso do AHP, captura-se a criticidade de cada SKU, sendo possível distinguir a importância de cada um em cada área de negócio, tornando a análise mais alinhada com a particularidade de cada área.

Entretanto, antes da replicação em outras áreas da empresa, seria interessante a aplicação do artefato numa quantidade maior de SKU na área de Refino e Energia, a fim de verificar os resultados e compará-los com os encontrados neste estudo.

Além disso, os SKU que recebam indicações de alteração do MRP para o Kanban devem considerar as implicações dessa mudança, tais como custos de implantação e mudança de cultura, bem como o dimensionamento dos Kanban. Assim, entende-se que futuros trabalhos poderiam abordar os custos dessa alteração.

Por fim, entende-se que com a elaboração do artefato e a possibilidade de uso do mesmo nas diferentes áreas da empresa, tornando padrão a decisão de qual método de controle de estoque utilizar, contribuiu para disseminação de conhecimento, sendo esse pressuposto uma das essências da DSR.

REFERENCIAL

- ABOLGHASEMIA, M., BEH, E., TARR, G., GERLACH, R. (2020). Demand forecasting in supply chain: The impact of demand volatility in the presence of promotion. *Computers and Industrial Engineering*. v142, 63-80.
- ALTURKI, A., GABLE, G., & BANDARA, W. (2011). A design science research roadmap. *International Conference on Design Science Research in Information Systems*. v1, 107-123.
- BENTON, W., & SHIN, H. (1998). Manufacturing planning and control: The evolution of MRP and JIT integration. *European Journal of Operational Research*. v110, 411-440.
- CARRA, S., MONICA, L., VIGNALI, G. (2019). Reduction of workers' hand-arm vibration exposure through optimal machine design: AHP methodology applied to a case study. *Safety Science*. v120, 706-727.
- CHAMBERS, S., SLACK, N., & JOHNSON, R. (2002). *Administração da Produção*. São Paulo: Editora Atlas. 747 pg.
- CORREA, H., & GIANESI, I. (2007) *Just in Time, MRP II e Opt - um Enfoque Estratégico*. São Paulo: Atlas. 250 pg.
- DE SMET, R., & GELDERS, L. (1998). Using simulation to evaluate the introduction of a Kanban subsystem within an MRP-controlled manufacturing environment. *International Journal of Production Economics*. v56, 111-122.
- DRESCH, A., LACERDA, D., & ANTUNES, J. (2015). *Design Science Research: A method for science and technology advancement*. New York, USA: Springer. 176 pg.
- DRESCH, A. (2013). Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção. Dissertação (Dissertação em Engenharia da Produção) – UNISINOS. São Leopoldo, p. 184.
- DURMUSOGLU, Z. (2018). Assessment of techno-entrepreneurship projects by using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Technology in Society*. v54, 41-46.
- ENNS, S. (2002). MPR performance effects due to forecast bias and demand uncertainty. *European Journal of Operational Research*. v138, 87-102.
- FLORES, B., & WHYBARK, D. (1988). Know your ABC. *Management Decision*. v26, 19-31.
- FONTANILI, F., LAURAS, M., & MILIAN, B. (2016). An empirical comparison of MRPII and Demand-Driven MRP. *International Federation of Automatic Control*. v49-12, 1725-1730.
- FOWLER, J., KIM, S., & SHUNK, D. (2019). Design for customer responsiveness: Decision support system for push-pull supply chains with multiple demand fulfillment points. *Decision Support Systems*. v123, 11-30.

- GODINHO FILHO, M., & JUNIOR LAGE, M. (2010). Variations of the Kanban system: Literature review and classification. *International Journal of Production Economics*. v15, 13-21.
- GONG, Q., YANG, Y., & WANG, S. (2014). Information and decision-making delays in MRP, KANBAN and CONWIP. *International Journal of Production Economics*. v156, 208-213.
- GUPTA, S., & AL-TURKI, A. (1997). An algorithm to dynamically adjust the number of kanbans in a stochastic processing times and variable demand environment. *Production Planning and control*. v8, 133-141.
- HAUTANIEMI, P., & PIRTTILA, T. (1999). The choice of replenishment policies in an MRP environment. *International Journal of Production Economics*. v59, 85-92.
- HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S (2004). Design Science in information systems research. *MIS Quarterly*. v28, p. 75-105
- HOPP, H., & SPEARMAN, M. (2008). *Factory Physics*. New York, USA: Waveland Press, Inc. 752 pg.
- INDERFURTH, K. (2007). How to protect against demand and yield risks in MRP systems. *International Journal of Production Economics*. v121, 474-481.
- KOH, S., & SAAD, S. (2003). MRP-controlled manufacturing environment disturbed by uncertainty. *Robotics and Computer integrated manufacturing*. v19, 157-171.
- LIMA, E., GORSKI, E., LOURES, E., SANTOS, E., DESCHAMS, F. (2019). Applying machine learning to AHP multicriteria decision making method to assets prioritization in the context of Industrial maintenance 4.0. *International Federation of Automatic Control*. v53-13, 2152-2157.
- MARCH, S., & STOREY, V. (2008) Design Science in the Information Systems Discipline: An Introduction to the Special Issue on Design Science Research. *MIS Quarterly*. v32, 725-730
- MEHDIZADEH, M (2019). Integrating ABC analysis and rough set theory to control the inventories of distributor in the supply chain of auto spare parts. *Computers and Industrial Engineering*. v139, 73-90.
- MOLENEARS, A., BAETS, H., PINTELON, L., WAEYENBERGH, G. (2011). Criticality classification of spare parts: A case study. *International Journal of Production Economics*. v140, 570-578.
- MONTGOMERY, C., & RUNGER, G (2016). Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. São Paulo: LTC. 632 pg.
- OHNO, T. (1996). *O Sistema Toyota de Produção*. Porto Alegre: Bookman. 151 pgs.

- OU, J., & JIANG, J. (1996). Yield comparison of push and pull control methods on production systems with unreliable machines. *International Journal of Production Economics*. v50, 1-12.
- PETTERSEN, J., & SEGERSTEDT, A. (2008). Restricted work-in-process: A study of differences between Kanban and CONWIP. *International Journal of Production Economics*. v118, 199-207.
- PUCHKOVA, A., LE ROMANCER, J., & McFARLANE, D. (2016). Balancing Pull and Push Strategies within the Production System. *International Federation of Automatic Control*. v49-2, 66-71.
- PYKE, D. SILVER, E., & THOMAS, D. (2017). *Inventory and Production Management in Supply Chains*. New York, USA: CRC Press. 533 pg.
- REDA, H. (1987). A review of “kanban”-the japanese “just-in-time” production system. *Engineering Management International*. v4, 143-150.
- RODERICK, L., TOLAND, J., & RODRIGUEZ, F. (1993). A Simulation Study of CONWIP versus MRP at Westinghouse. *Computers and Industrial Engineering*. v26, n2, 237-242.
- SELÇUK, B. (2013). Adaptive lead time quotation in a pull production system with lead time responsive demand. *Journal of Manufacturing Systems*. v32, 138-146.
- SIMON, H. A. *The Sciences of the Artificial*. Boston, USA: MIT Press, 1996
- SPEARMAN, M., HOPP, W. (1990). Conwip: A Pull Alternative to Kanban. *International Journal of Production Research*. v28, 879-894
- TAKAHASHI, K., HIRAKI, S., & SOSHIRODA, M. (1994). Pull-push integration in production ordering systems. *International Journal of Production Economics*. v33, 155-161.
- VAN AKEN, J., & ROMME, G. (2012). Reinventing the future : Adding design science to the repertoire of organization and management studies. *Organization Management Journal*. v6, 5–12.
- WOMACK, J., JONES, D., & ROOS, D. (1991). *A máquina que mudou o mundo*. São Paulo: Editora Campus. 281 pg.