

HENRIQUE KRIGUER

CLASSIFICAÇÃO MULTICRITÉRIO DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na Área de Gestão e Otimização.

Orientador: Prof. Dr. Valério Antônio Pamplona Salomon

Guaratinguetá

DEZ / 2015

K92
c Kriquer, Henrique
Classificação multicritério de peças de reposição / Henrique Kriquer –
Guaratinguetá, 2015.
101 f. : il.
Bibliografia : f. 74-93

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade
de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.

Orientador: Prof. Dr. Valério Antônio Pamplona Salomon

1. Processo decisório por critério múltiplo 2. Controle de estoque
3. Automóveis – peças I. Título

CDU 65.012.4(043)

HENRIQUE KRIGUER

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: GESTÃO E OTIMIZAÇÃO

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Edson Cocchiari Botelho
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. VALÉRIO ANTONIO PAMPLONA SALOMON
Orientador / UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSÉ ROBERTO DALE LUCHE
UNESP-FEG


Prof. Dr. MISCHEL CARMEN NEYRA BELDERRAIN
ITA

Dezembro de 2015

DADOS CURRICULARES

HENRIQUE KRIGUER

NASCIMENTO	23.10.1971
FILIAÇÃO	José Kriguer Maria Amélia de Andrade Kriguer
1992 / 1999	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita – UNESP
2013 / 2015	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de mestrado, na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita – UNESP

À Simone

Quem incentivou e deu suporte para tornar possível este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a DEUS por dar-me a vida, saúde e inteligência, e a todas as pessoas que contribuíram na realização deste trabalho, aos amigos e familiares.

Aos professores do Departamento de Produção por sua contribuição para o meu aperfeiçoamento intelectual.

A Sra. Margarida Correa Leite, secretária do departamento de Produção, por sua atenção e presteza.

À minha esposa Simone Kriguer quem incentivou e cuidou de detalhes que são importantes na vida, aos meus filhos pelo carinho e amor prestados e aos meus pais, que transmitiram os melhores valores para minha formação.

Em especial agradeço ao meu Orientador Prof. Dr. Valério Antônio Pamplona Salomon que fez muito mais do que cabia este papel, foi um verdadeiro amigo sincero que dedicou tempo, paciência e partilhou seu conhecimento na elaboração deste trabalho.

“Praticai o que de mim aprendestes, recebestes e ouvistes, ou em mim observastes.

E o Deus da paz estará convosco.”

FLP 4, 9.

Kriguer H. **Classificação multicritério de peças de reposição.** 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Guaratinguetá 2015.

RESUMO

O gerenciamento de estoques torna-se cada vez mais importante em função da necessidade de aperfeiçoamento da eficiência na cadeia logística, que se traduz na redução de custos e aumento do nível de serviço. A literatura sobre o gerenciamento de estoques de peças de reposição é ampla, porém é pouco abordada em relação à escolha do modelo de classificação. Neste trabalho, o método Analytic Hierarchy Process (AHP) foi aplicado em uma Empresa de bens de capital para determinar o vetor de prioridade dos critérios adotados para a classificação de peças de reposição. Apresentamos, com base no resultado deste estudo o Índice de Reposição, que foi adotado como um fator de correção nos valores de estoque segundo a classificação ABC. O objetivo foi atingido com o aperfeiçoamento do método de classificação, tornando o trabalho do planejador de estoques melhor estruturado, permitindo que possa tomar a decisão de reabastecimento de forma estruturada conforme parâmetros pré estabelecidos.

PALAVRA CHAVE: Peças de reposição. Gerenciamento de estoques. Classificação de peças de reposição. Método AHP.

Kriguer H. **Multicriteria Spare Parts Classification** . 2015. 78 f. Dissertation (Master's degree in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Guaratinguetá 2015.

ABSTRACT

The inventory management becomes increasingly important due to the need for improved efficiency in the supply chain, which translates into cost savings and increased service level. The literature on the management of spare parts inventory is wide, but is rarely addressed in relation to the choice of classification model. In this work, the Analytic Hierarchy Process (AHP) method was applied to a Company of capital goods to determine the priority vector of the criteria adopted for the spare parts classification. Here, based on the results of this study the Replacement Index, which was adopted as a correction factor in inventory values according to the ABC classification. The goal was achieved with the improvement of classification method, making the work of the best structured inventory planner, allowing can take the form of structured replenishment decision as pre-established parameters.

KEYWORDS: Spare parts. Inventory management. Spare parts classification. AHP.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Gráfico sobre o total de publicações para a palavra chave.....	28
Figura 2 – Gráfico para quantidade de artigos publicados para cada critério.....	42
Figura 3 – Etapas da pesquisa.....	48
Figura 4 – Gráfico comparativo entre a demanda real com a previsão de demanda ...	54
Figura 5 – Exemplo de avaliação de par de critérios.....	58
Figura 6 – Resultado do peso de cada critério e alternativa calculados.....	69
Figura 7 - Hierarquia linear e hierarquia não linear.....	94
Figura 8 - Estrutura Hierárquica Genérica.....	95
Figura 9 - Matriz de comparações	98
Figura 10 - Fluxograma de aplicação do AHP.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais métodos de auxílio a tomada de decisão	29
Tabela 2 - Critérios encontrados na literatura	43
Tabela 3 – Classificação do estoque na empresa estudada	49
Tabela 4 - Dados de consumo e previsão de demanda	53
Tabela 5– Critérios adotados para pesquisa	56
Tabela 6 – Matriz de comparação dos critérios	60
Tabela 7 – Cálculo do vetor prioridades para o avaliador 1	61
Tabela 8 – Cálculo do vetor prioridades para o avaliador 2	61
Tabela 9 – Cálculo do vetor prioridades para o avaliador 3	62
Tabela 10 – Tabela do vetor prioridades para os critérios	62
Tabela 11 – Tabela de matriz de comparação das alternativas	64
Tabela 12 – Cálculo do vetor prioridades para os três avaliadores	65
Tabela 13 – Vetor prioridade para as alternativas	66
Tabela 14 - Valores para classificação VED por critério	68
Tabela 15 – Classificação ABC	70
Tabela 16 - Classificação ABC modificada pelo Índice de Reposição	71
Tabela 17 - Matriz de comparações genérica	97
Tabela 18 – Escala Fundamental de Saaty	99
Tabela 19 - índice randômico	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AIJ	<i>Agreggating Individual Julgments</i>
AIP	<i>Agreggating Individual Priorities</i>
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
ATP	<i>Available to promisse</i>
CD	<i>Centro de Distribuição</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FMEA	<i>Failure Modes and Effects Analysis</i>
MCDM	<i>Multi Criteria Decision Making</i>
MPS	<i>Master Production Scheduling systems</i>
NS	<i>Nível de Serviço</i>
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
VED	<i>Vital, Essential, Desirable</i>
WMS	<i>Warehouse Management System</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	24
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	24
1.2	APRESENTAÇÃO DO TEMA.....	24
1.3	OBJETIVOS.....	27
1.4	JUSTIFICATIVA.....	27
1.5	MÉTODO DE PESQUISA.....	31
1.6	ESTRUTURA DO MATERIAL ESCRITO.....	31
2	GESTÃO DE ESTOQUES.....	32
2.1	DEFINIÇÃO DE PEÇA DE REPOSIÇÃO.....	32
2.2	GERENCIAMENTO DE ESTOQUES PARA PEÇAS DE REPOSIÇÃO.....	34
2.3	POLÍTICA DE ABORDAGEM.....	36
2.4	CLASSIFICAÇÃO DAS PEÇAS DE REPOSIÇÃO.....	37
3	DECISÃO MULTICRITÉRIO.....	45
3.1	GENERALIDADES.....	45
4	APLICAÇÃO DO MÉTODO.....	47
4.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA.....	47
4.2	ETAPAS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA.....	48
4.3.	SITUAÇÃO INICIAL.....	49
4.4	MODELAGEM.....	55
4.5	COMPARAÇÃO DOS CRITÉRIOS E DAS ALTERNATIVAS EM PARES PARA OBTENÇÃO DAS PRIORIDADES.....	58
4.6	OBTENÇÃO DAS PRIORIDADES GLOBAIS.....	59
4.7	ÍNDICE DE REPOSIÇÃO.....	67
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
	REFERÊNCIAS.....	74
	BIBLIOGRAFIA.....	78
	APÊNDICE A - MODELO DE QUESTIONÁRIO	90
	ANEXO A - ANALYTIC HIERARCHY PROCESS.....	93

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo apresenta os temas de gestão de estoques e classificação de peças de reposição, objetivo de pesquisa desta dissertação, bem como os objetivos gerais e específicos, a justificativa do trabalho e a estrutura que compõe este trabalho.

1.2 APRESENTAÇÃO DO TEMA

A gestão de estoques, segundo Lambert e Cooper (2000), é uma das atribuições da gestão da cadeia de suprimentos, ou *Supply Chain Management* (SCM), que tem como objetivos o planejamento, implantação e controle eficaz do fluxo e armazenagem de materiais em função de atingir as expectativas do mercado consumidor. Os fornecedores que atuam como parceiros de negócios têm a obrigação de atender aos pedidos na quantidade solicitada, no prazo estabelecido e na qualidade esperada, a um valor justo, promovendo, assim, um desenvolvimento constante na cadeia como um todo.

O ponto crucial para a logística de peças de reposição é a política destinada à estocagem e seus parâmetros para reposição. Existe um risco em aumentar os estoques, consequentemente os custos alocados nesta operação terão um aumento, especialmente quando houver uma descentralização de estoques, principalmente para atender as necessidades atreladas aos serviços. A criticidade agrega valor às peças de reposição, por exemplo, se houver risco no processo de compra, se o fornecedor não cumprir o prazo prometido, as consequências serão transmitidas ao cliente interessado na peça faltante, com os custos de equipamento indisponível aumentando a cada dia de espera. (STOLL, J. *et al.*, 2015)

O Brasil está localizado geograficamente em uma área distante dos mercados europeus, dos países da América do Norte e da Ásia, o que torna o custo de transporte um dos mais altos do mundo, fazendo com que a competição junto com os concorrentes seja mais difícil para os produtos brasileiros nestes mercados. Por outro lado, os produtos originários destes países têm grande dificuldade em competir com os produtos nacionais, o que se justifica o investimento em equipamentos, tecnologia e métodos que resultem num ganho em produtividade, agilidade e menor custo na administração dos estoques e da operação logística (VERALDO, 2008).

Um dos paradigmas mais significantes para o gerenciamento de uma Empresa moderna é que, estando isolada em suas operações, não conseguirá sobreviver anonimamente, somente inserida em uma cadeia de suprimentos é que poderá ter sucesso no mercado. Segundo os especialistas em marketing, preço competitivo, qualidade no produto e pontualidade no fornecimento são três fatores que determinam o sucesso ou fracasso nos negócios. Para alcançar êxito nestas três metas, a Empresa deve procurar operar com um baixo custo operacional, seja através da busca do aumento da produtividade dos empregados, seja no emprego de alta tecnologia e alta qualidade, e na melhor gestão financeira dos ativos e estoques, para atender as expectativas dos clientes com um resultado satisfatório para a empresa.

Uma das tarefas do gestor de estoques é classificar as peças de reposição para facilitar a tomada de decisão, isto é, selecionar uma apropriada política de reposição de estoque e um método de previsão de demanda equivalente para obtenção de um nível de atendimento conforme estabelecido pelo mercado, (BACCHETTI, A. *et al.*, 2013).

Os fabricantes de bens de capital possuem uma grande responsabilidade em suprir as necessidades de peças de reposição e serviços de seus clientes após a entrega do equipamento vendido, o que chamamos de “pós-vendas” ou *service management*. O equipamento que o cliente adquiriu é empregado em uma linha de produção, portanto a disponibilidade deste equipamento está diretamente ligada à rentabilidade do negócio. Quando um equipamento apresenta uma falha de operação e a solução do problema passa pela troca de uma peça de reposição, e se este problema não foi previsto e se a peça não está disponível, a indisponibilidade do equipamento pode até parar toda a linha de produção desta indústria, causando sérios transtornos. A falta de uma determinada peça pode comprometer toda cadeia de clientes, causando sérios problemas quanto à imagem do fabricante (MURTHY, SOLEM e ROREN, 2004).

Desta forma, o fabricante deverá manter as peças de reposição em estoque suficiente para atender à demanda futura, fornecendo ao cliente as peças pedidas no menor tempo possível, ou, se possível imediatamente ao pedido colocado. Em geral o mercado está atento em eleger quais fabricantes possuem uma boa reputação neste quesito, o que pode ser fundamental no momento da escolha do fornecedor de um equipamento novo.

As Empresas fabricantes de Bens de capital além de estocar peças de reposição para garantir um bom nível de atendimento por parte do departamento de venda de peças para os seus clientes, devem ainda dispor no estoque as quantidades suficientes para atender às demandas da linha de montagem de fabricação de novos equipamentos, fornecer ao departamento de reforma de equipamentos as peças necessárias e, ainda, suprir as necessidades de fornecimento em garantia através do departamento de serviços (BOTTER e FORTUIN, 2000)

A Empresa de operação contínua, como, por exemplo, do setor alimentício ou mineração, ou ainda farmacêutica, são desafiadas a manter um ritmo de produção constante, e as máquinas precisam estar operando de forma que as paradas para manutenção ocorram no menor tempo possível. Um dos maiores problemas está em aplicar um alto valor de investimento em estoque de peças de reposição, este capital investido ficará indisponível, por isso o gerenciamento dos estoques de peças de reposição é muito importante e deve ser estudado com muita atenção. (RODA, I. *et al.*, 2014)

A política de produção e de estocagem de uma peça de reposição é fundamentada nas características do produto do qual faz parte. Quantidades anuais vendidas, previsão de demanda, preço de aquisição, requisitos de estocagem e outras características determinam a quantidade a ser estocada, ponto de reposição e tamanho do lote de compra. Na prática, seria impossível gerenciar os estoques de cada uma das peças que compõem o catálogo de peças de cada modelo de equipamento. É por isso que as empresas que comercializam uma grande variedade de peças de reposição adotam uma mesma política, para um grupo de peças que possuem características semelhantes, tornando mais vantajoso realizar as operações logísticas desta forma (KAMPEN, AKKERMAN e DONK, 2012).

As seguintes questões motivaram a presente pesquisa:

- Qual é a melhor maneira de classificar um conjunto de peças de reposição presente em um CD, Centro de Distribuição e quais critérios deverão ser estabelecidos?
- É possível criar um Índice de Reposição para auxiliar a tomada de decisão?

1.3 OBJETIVOS

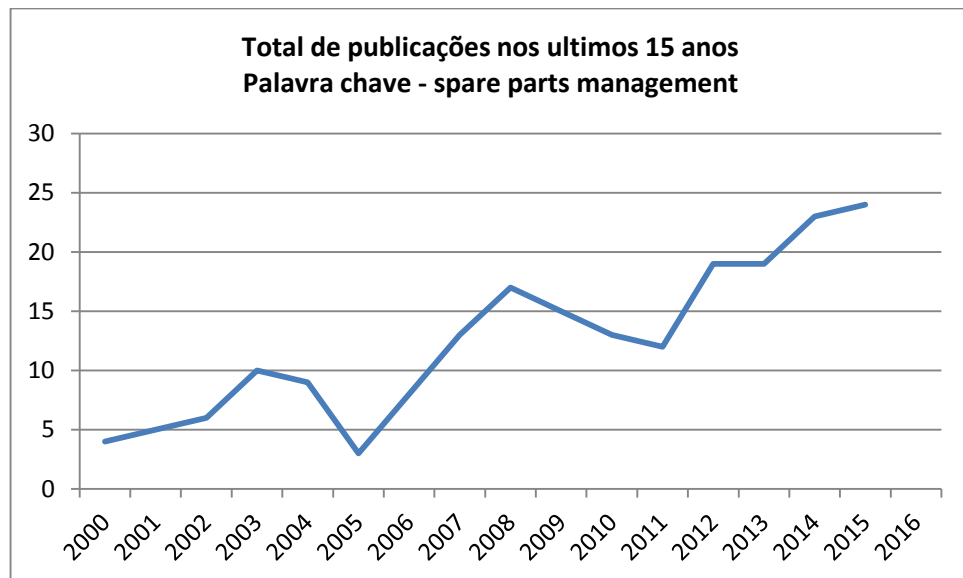
O objetivo geral da pesquisa é aprimorar o método de classificação das peças de reposição em uma empresa de bens de capital.

O objetivo específico é quantificar os parâmetros para o gerenciamento de estoque com a tomada de decisão multicritério.

1.4 JUSTIFICATIVA

A classificação das peças de reposição, conhecida na literatura como *spare parts categorization*, tem sido amplamente estudada nos últimos anos, tendo em vista o grande número de pesquisas publicadas nos periódicos internacionais voltados à pesquisa operacional, foram encontrados mais de 200 artigos de 2000 a 2015 somente na base de dados da ISI- *Web of Knowledge*. Ao mesmo tempo, observamos a popularidade que alcançou os *softwares* de *Warehouse Management System* (WMS) ou gestão de estoques, em especial, os sistemas de controle integrados, denominados como *Enterprise Resource Planning* (ERP).

Figura 1 – Total de publicações sobre a palavra chave



Fonte: webofknowledge.com

A classificação das peças de reposição é uma importante tarefa no gerenciamento do estoque, pois facilita a tomada de decisão na escolha de uma técnica apropriada de previsão de demanda e na política de controle de estoque, entretanto a maioria dos artigos publicados nesta área tem se preocupado com o desenvolvimento de novos métodos, mas um pequeno número de publicações destacou a implementação na prática e quais resultados foram encontrados. (SYNTETOS, KEYES e BABAI, 2009)

Existem diversos fatores que influenciam a tomada de decisão para classificar uma peça de reposição, havendo critérios quantitativos e qualitativos. (BRAGLIA, GRASI e MONTANARI, 2004). Quando temos um problema complexo, onde muitos critérios são envolvidos, cada um com uma característica, a busca no método de organizar esta massa de dados de forma racional é chamada de problema de decisão multicritério, ou *Multi Criteria Decison Making (MCDM)*. No quadro abaixo, temos os principais métodos de auxílio à tomada de decisão:

Tabela 1 – Principais métodos de auxílio a tomada de decisão

Sigla	Descrição	Número de publicações de 1995 a 2015 Fonte: Webofknowledge.com	Autores Mais citados
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>	10.731	Vaidya, OS; Kumar, S Ghodsypour, SH; O'Brien, C
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>	1.346	Brennan, MJ; Chordia, T; Subrahmanyam, A Bana E Costa, CA; Ensslin, L; Correa, EC; et al.
ELECTRE	<i>Elimination Et Choix Traduisant la Realité</i>	635	Pohekar, SD; Ramachandran, M
MAUT	<i>Multiple Attribute Utility Theory</i>	233	Store, R; Kangas, J Wallenius, Jyrki; Dyer, James S.; Fishburn, Peter C.; et al
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation</i>	729	Behzadian, Majid; Kazemaddeh, R. B.; Albadvi, A.; et al..
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>	2.571	Chen, CT Opricovic, S; Tzeng, GH Tsaur, SH; Chang, TY; Yen, CH

Fonte : Autoria própria.

Em geral, o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é uma ferramenta que permite agrupar ideias dedutivas e indutivas, sem o uso de silogismo (que é um termo filosófico com o qual Aristóteles designou a argumentação lógica perfeita, constituído de duas argumentações que permitem chegar a uma conclusão.), porém, levando em consideração diversos fatores simultaneamente, permitindo a dependência e com o cálculo dos *trade off* numéricos é possível identificar uma conclusão. (SAATY, 1987).

O AHP permite transformar julgamentos qualitativos em quantitativos e assim possibilitar um tratamento matemático que resulta em um valor numérico que auxilia na tomada de decisão e solução do problema.

O problema de classificação de peças de reposição foi identificado em uma Empresa Brasileira integrante de um grupo multinacional, objeto de estudo, no qual foram selecionados os critérios necessários para a tomada de decisão e um modelo matemático foi proposto para a solução. Esta pesquisa propõe a adoção de um Índice de Reposição, o qual permitirá aos gestores tomar a decisão de compra de um determinado item para o estoque de forma estruturada por meio de um método científico apropriado.

1.5 MÉTODO DE PESQUISA

Temos a seguinte classificação para as pesquisas de abordagem combinada: triangulação, incorporado, explanatório e exploratório. (CRESWELL e CLARK, 2007)

O tipo de delineamento adotado foi a triangulação, cuja justificativa é obter dados diferentes e complementares sobre um mesmo tema para melhor entender e analisar criticamente o problema de pesquisa.

Para a parte qualitativa do modelo combinado foi aplicado o método estudo de caso e para a parte quantitativa foi adotado a modelagem matemática por meio do método AHP.

A pesquisa pode ser classificada como qualitativa (quanto à abordagem), aplicada (quanto à natureza), e exploratória (quanto aos objetivos). O método de pesquisa é a Modelagem Matemática.

1.6 ESTRUTURA DO MATERIAL ESCRITO

Esta dissertação está estruturada em quatro capítulos.

O capítulo 1 (Introdução) apresenta o tema, o problema de pesquisa, o objetivo geral e específico, a justificativa do trabalho e o método de pesquisa adotado.

O capítulo 2 (Revisão da Literatura) apresenta os trabalhos mais importantes que formam a base desta pesquisa e identifica os parâmetros a ser utilizados na classificação das peças de reposição.

O capítulo 3 (Aplicação do método) apresenta a aplicação do método adotado, através dos dados coletados na Empresa pesquisada.

O capítulo 4 (Conclusão) expõe as considerações finais da dissertação e apresenta algumas propostas para trabalhos futuros.

2 GESTÃO DE ESTOQUES

A gestão de estoques é definida como o ato de administrar os recursos ociosos possuidores de valor econômico que são destinados ao suprimento das necessidades futuras de matéria prima e peças de reposição para produção e pós venda dentro de uma organização.

As empresas procuram aplicar seu capital em investimentos que tragam lucro, como por exemplo, na aquisição de máquinas e equipamentos que permitam aumentar a produção e reduzir o custo de fabricação, por meio de um tempo de produção menor, com menor número de empregados, com maior confiabilidade na operação etc.

As organizações também têm necessidade de cobrir fatores de risco, observada na falta de produtos e matéria prima por atrasos na entrega de um fornecedor, podendo resultar em parada de produção, causando à não realização de vendas, resultando em grandes prejuízos, então existe a necessidade de investir em estoques para evitar estas situações. A contrapartida é que este capital investido na compra de materiais e na manutenção do armazém, o capital aplicado não gera lucro, pelo contrário, o capital não possui rentabilidade e não é corrigido monetariamente e, o pior, em uma eventual crise de liquidez, a comercialização destes estoques é de difícil execução, podendo ocorrer perdas monetárias no montante inicial investido.

2.1 DEFINIÇÃO DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO

Um elemento que faz parte de uma máquina que pode ser substituído quando necessário, promovendo assim o uso da máquina por maior tempo até o fim da vida útil recebe o nome de peça de reposição. Estes elementos são empregados em máquinas que têm o desempenho reduzido, quando uma determinada funcionalidade falha ou até mesmo é interrompida a operação, caracterizando assim a manutenção corretiva. Quando é necessário substituição de uma peça, conjunto ou uma reforma completa utilizam-se peças de reposição para consertar e voltar às condições normais de operação. Esta necessidade é empregada em Manutenções Corretivas toda vez que os custos de substituição são menores do que a substituição completa do equipamento.

As peças de reposição também são empregadas na manutenção preventiva ou preditiva dos equipamentos, onde uma intervenção é realizada em um período programado antecipadamente junto ao planejamento de produção, em um intervalo de produção as peças de reposição necessárias são solicitadas antecipadamente e o serviço é realizado de forma planejada, permitindo que o equipamento seja inspecionado e ajustado para que não ocorram falhas repentinas, promovendo assim uma maior disponibilidade do mesmo.

O desgaste provocado pelo tempo de uso permite que seja estimado o tempo em horas de operação em que vai ocorrer a falha e que deverá ser substituída a peça danificada, quando atinge um limite dimensional geralmente informado no catálogo de operação e manutenção do equipamento, chegando então ao fim do ciclo de vida. É comum também utilizar de outros meios para acompanhar o desempenho de alguns sistemas do equipamento em operação, por exemplo, a medição da temperatura de mancais de rolamento ou, até mesmo, o uso de sensores para medir a vibração e o ruído.

Às vezes pode ocorrer um dano por acidente ou má operação, que pode comprometer o desempenho ou, até mesmo, impedir o seu funcionamento, por isso as peças de reposição precisam ser substituídas e, geralmente, não foi prevista esta necessidade no passado, então um pedido de fornecimento é colocado no fornecedor. A parada não programada de um equipamento de produção causa muitas dificuldades em uma indústria, pois todo planejamento de produção terá que ser reprogramado, gerando custos extras para reparo do equipamento danificado, horas extras dos funcionários da manutenção, contratação de um terceiro para produzir o que não pode mais ser realizado no equipamento quebrado ou, até mesmo, parar a produção se não houver alternativas. Estes eventos não planejados causam então uma dificuldade em toda cadeia logística.

2.2 GERENCIAMENTO DE ESTOQUES PARA PEÇAS DE REPOSIÇÃO

O planejamento de reabastecimento de um estoque possui diferenças na forma de gerenciar devido a sua destinação para atender o mercado de peças de reposição ou para atender a linha de montagem na indústria, segundo (KENNEDY, PETTERSON e FREDENDALL, 2002).

As diferenças podem ser agrupadas em duas classes:

Função do estoque: na indústria, os estoques têm a finalidade de permitir que o ritmo de produção seja contínuo, sem interrupções. A sequência de transformação das matérias primas até o produto final acabado passa por muitas etapas e, entre algumas delas, existem estoques para regular o fluxo de produção (*buffers*), pois, quando houver uma parada por algum problema, a etapa seguinte não é interrompida até que seja esgotado o estoque entre estas duas estações. Desta forma o estoque tem o objetivo de suavizar as irregularidades no fluxo de produção. Quando existe um estoque de peças de reposição, estes materiais têm aplicação voltada para a manutenção dos equipamentos, permitindo que mantenham condições de funcionamento. As peças de reposição também são armazenadas para atender a demanda do mercado, portanto são comercializadas.

Política de estocagem: as peças destinadas à produção de produtos acabados pode variar conforme a taxa de produção e sua programação de entregas, mas este estoque sempre será consumido conforme a produção do produto final for desenvolvida. Na indústria, a demanda é constante se o planejamento de produção for mantido. Por outro lado, nas peças de reposição destinadas à comercialização, a política de estocagem está intimamente ligada às condições de operação dos equipamentos e na forma em que a manutenção é conduzida por parte dos clientes consumidores. A demanda, neste caso, é variável e em muitos períodos pode ser nula sem qualquer previsibilidade, pode-se ter um aumento repentino dessa demanda em outro período.

O controle de estoques de peças de reposição em uma moderna indústria é uma tarefa de grande importância, pois está sempre buscando um equilíbrio entre o valor do investimento e o atendimento à demanda no menor tempo, se possível, imediatamente. A política de estocagem e reposição empregada permite uma apropriada atenção para o correto desenvolvimento da previsão e o controle de estoque com o método certo para o produto indicado.

As dificuldades podem ser explicadas pelo padrão de demanda intermitente, pois somente quando uma falha em um equipamento ocorre ou quando é identificada a necessidade de substituição de uma determinada peça, é que o pedido de suprimento é colocado (LENGU, SYNTETOS e BABAI, 2014).

O gerenciamento dos estoques é uma tarefa complexa uma vez que os desafios são muitos, segundo Botter e Fortuin (2000): Alto número de itens manuseados; padrão de demanda intermitente ou rara; alta responsabilidade perante clientes quanto a perdas por faltas de peças; risco de estoque obsoleto.

2.3 POLÍTICA DE ABORDAGEM

A política adotada pelas organizações em relação às quantidades e à finalidade do estoque pode ser, segundo (BOWERSOX e CLOSS, 2001):

Abordagem reativa: O sistema de estocagem tem seu funcionamento determinado pelas necessidades do mercado, ou seja, ocorre a ação em resposta a uma solicitação da cadeia de suprimentos. Os pedidos de suprimento são colocados quando o estoque disponível atinge o ponto de segurança, cuja quantidade é calculada previamente com base no valor de reposição, na demanda prevista, no limite de espaço físico de armazenagem, no tempo de entrega do pedido, etc. Este sistema possibilita menor investimento no estoque, porém o risco de haver escassez é maior.

Abordagem de planejamento: As empresas que aderem a esta abordagem procuram atender aos pedidos de seus clientes no momento em que são colocados, na quantidade desejada, evitando assim que haja tempo de espera para atendimento. Esta abordagem requer um estudo criterioso da demanda, e conhecimento técnico dos produtos e equipamentos comercializados, de modo que quando for necessária, a peça de reposição estará disponível no estoque.

Abordagem híbrida: Este tipo de abordagem é resultado da combinação das duas formas anteriormente explicadas, quando, conforme o caso, pode-se adotar a abordagem de planejamento para um conjunto de itens do estoque, quando se tem um domínio no conhecimento do comportamento da demanda, e a abordagem reativa para os demais itens. Este enfoque requer investimentos em estoque, todavia com um nível intermediário comparado com os outros métodos, pois está limitado entre a necessidade de atingir um nível de serviço e também de reduzir o valor do investimento em estoque.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DAS PEÇAS DE REPOSIÇÃO

No século XIX, com o desenvolvimento industrial, surgiram as primeiras dificuldades com o controle e planejamento da produção, com a crescente necessidade de adquirir material empregado na manufatura, na qualidade requerida, na quantidade especificada e no tempo oportuno. Com o aumento gradual na demanda e a diversificação dos itens sendo multiplicada a cada geração de produtos novos sendo produzida, surgiu à necessidade de identificar os itens para um melhor planejamento das atividades comerciais.

Para identificação de cada material, nos Estados Unidos foi desenvolvida uma técnica que permitisse agrupar de maneira uniforme e segundo critérios predefinidos e divulgados os elementos requeridos empregados nas diferentes necessidades de suprimento. Esta técnica foi desenvolvida ao longo dos anos 50 pelo governo americano logo após a segunda guerra mundial que resultou no *Federal Supply Classification System*.

Para a execução de um processo de classificação das peças de reposição em categorias é necessário eleger quais critérios serão adotados no processo de classificação das peças de reposição, onde encontramos muitos fatores para aspectos quanto ao tipo de demanda que a peça apresenta, quanto ao custo de aquisição, quanto à origem do item e também aspectos relacionados ao controle de estoque, o que torna a tarefa complexa. Encontramos alguns pontos importantes na literatura, os quais destacamos:

O alto número de diferentes peças manejadas; (COHEN e AGRAWAL, 2006)

A presença de padrão de demanda irregular; (BOYLAN, SYNTETOS e KARAKOSTAS, 2008);

Alta responsabilidade perante os clientes na falta de uma determinada peça no estoque; (MURTHY, SOLEM e ROREN, 2004)

Risco de obsolescência do estoque; (COHEN e AGRAWAL, 2006)

Frequentes inovações nos produtos requer um gerenciamento da demanda e do estoque das peças de reposição que não tem histórico de vendas registrado ou histórico de falhas não disponível; (BOONE, CRAIGHEAD e HANNA, 2008)

Em uma revisão bibliográfica efetuada recentemente em 2013, Kampem, Akkermman e Donk (2012) encontraram quatro características escolhidas pelos pesquisadores na literatura para se utilizar na classificação das peças de reposição: volume da demanda, custo do produto, nível de serviço para o cliente e tempo entre as demandas. Em seu estudo, o autor argumenta que os estudos empíricos encontrados na literatura mostram que as abordagens adotadas foram inspiradas em um específico contexto, e muito frequentemente não está claro se um certo método adotado foi escolhido em detrimento de outros existentes. Os artigos publicados em sua maioria não apresentam rigor científico para as técnicas utilizadas na classificação das peças de reposição.

Em outro estudo bibliográfico sobre artigos publicados a respeito da classificação das peças de reposição, Bacchetti e Saccani (2012) afirmaram que existe uma vasta literatura a respeito de gestão de estoques, contudo, selecionando somente os artigos relacionados à classificação de peças de reposição e previsão de demanda, foram encontrados 25 e 29 artigos respectivamente. Os autores concluíram que existe uma lacuna entre a teoria e a prática, poucos trabalhos que trouxeram uma real contribuição da aplicação da teoria na prática foram publicados.

A classificação das peças de reposição é empregada na Indústria por muitas formas, sendo que a maneira mais popular é por meio da separação em classes: A, B ou C. Esta classificação se baseia no Princípio de Pareto, em homenagem ao economista italiano Vilfredo Pareto (BALAJI e KUMAR, 2014).

O Princípio de Pareto aplicado na classificação das peças de reposição consiste em ordenar, de forma decrescente, a lista dos itens pelo preço de custo. Por meio de uma tabela faz-se a soma acumulada: do segundo item da lista com o primeiro. Para o terceiro item, soma-se com a soma dos dois anteriores, e assim por diante até o último elemento. Na etapa seguinte é feito, então, o cálculo do percentual que cada elemento representa em relação ao total em estoque por meio da divisão do valor unitário pelo valor total, adotando-se então, os seguintes critérios: os itens de maior valor, cujo percentual somado representa o valor até 80% do total em estoque serão classificados como A; os 15% seguintes, B; e, finalmente, os que ocuparem a menor valorização 5% serão classificados como C. Este método é eficaz porque o gerenciamento é voltado para os itens de maior valor, podendo, por exemplo, adotar uma política de suprimento somente para os itens C e para os itens A e B compra sob pedido colocado. (BOWERSOX e CLOSS, 2001)

O método de classificação ABC baseado na demanda, frequência ou volume também é empregado na prática, de forma que a classificação baseada no custo tem sido a mais utilizada (BACCHETTI e SACCANI, 2012).

A classificação do tipo ABC tem sido alvo de muitas críticas por tratar apenas do aspecto econômico do estoque, pois o nível de serviço é prejudicado por haver também peças cuja demanda é intermitente ou esporádica e que não são repostas na quantidade e no período necessário.

Outra forma de classificação empregada adota como critério a demanda do item. O pioneiro foi Croston (1972), que estudou o emprego das Séries Temporais para explicar o comportamento da demanda das peças de reposição. O uso de outros tipos de séries como exponencial amortecida simples (SES) e média móvel simples (SMAs) têm tido boa performance na previsão da demanda em situações reais, entretanto, com relação aos itens cuja demanda se comporta de maneira intermitente, o método proposto por Croston trouxe uma melhor acuracidade na previsão. O método proposto consiste em um tratamento no tamanho das ordens e nos intervalos entre as mesmas, por meio do emprego de duas séries, combinando suas médias moveis ponderadas para obtenção da previsão da demanda por período.

Williams (1984) analisou os dados de um fornecedor de serviços públicos e propôs um método de categorização baseado no tamanho da variância durante o tempo compreendido entre a colocação do pedido de compra até o recebimento da mercadoria (*lead time*). Dependendo do tamanho do pedido, da variância do *lead time* e do próprio *lead time* chegou-se a um modelo de classificação, entretanto, os valores de separação das classes foram adotados de forma arbitrária, onde só se aplicavam na situação estudada.

Kennedy, Petterson e Friendall (2002) também fizeram um estudo bibliográfico e apontaram que as peças de reposição possuem políticas de estocagem e previsão diferentes das peças aplicadas em uma linha de montagem, chamadas *work in process (WIP)*. Neste trabalho, os artigos pesquisados foram separados em categorias: manutenção, otimização, substituição baseadas no ciclo de vida, problemas de múltiplos estoques, problemas envolvendo obsolescência, peças remanufaturadas e aplicações especiais.

Eaves e Kingsman (2004) analisaram os dados da Força Aérea Real e concluíram que o método de Williams não descrevia adequadamente a demanda observada, consequentemente os autores propuseram outro esquema de classificação de peças de reposição baseado na demanda.

Os pontos de quebra entre as classes foram escolhidos de forma subjetiva, considerando os critérios de gerenciamento do estoque. Este estudo também ficou restrito ao ambiente de estudo, restringindo-se o método de aplicá-lo em outras situações.

Johnston e Boylan (1996) revisaram o termo “intermitência” da demanda pela observação dos intervalos entre cada pedido proposto por Croston, quando os autores propuseram o uso da regra de que quando a média entre intervalos de demanda (p) for superior a 1,25, dever-se-ia aplicar uma revisão nos períodos. O estudo foi conduzido com um rigor matemático para provar sua aplicabilidade em qualquer situação. Esta regra permite identificar quando há condições de melhorar a previsão de demanda, o que assim permite categorizar a demanda baseada em um dado calculado, e não para um valor arbitrário como foi o caso do estudo dos estudos anteriores.

Lengu, Syntetos e Babai (2014) desenvolveram um estudo de classificação de demanda baseado na média entre duas demandas e o coeficiente quadrático de variação do tamanho da demanda. Neste estudo empírico, identificaram, para 3.000 itens na indústria automotiva, quatro possíveis classificações que resultaram em uma política de reposição de estoque baseado na previsão de demanda. O estudo trouxe benefícios para a indústria, permitindo uma melhor compreensão das peças de reposição que possuem demanda intermitente.

As Organizações costumam exigir um nível de serviço mais elevado para algumas peças de reposição do que para outras, assim tem-se um grau maior ou menor de criticidade dependendo do nível de serviço associado. A criticidade indica qual o potencial de dano que a falta desta peça implica na segurança das pessoas e do meio ambiente, custos de parada do equipamento, qualidade do processo etc. (DEKKER e BAYINDIR, 2004).

A criticidade pode ser tratado, de uma maneira informal, por meio da opinião do pessoal de manutenção baseado na experiência da análise de falha das paradas de manutenção dos equipamentos ou, por um meio formal, por exemplo, através de um estudo estatístico das paradas do equipamento por falha. O uso do método *failure mode and effects analysis* (FMECA) é definido como um procedimento em que cada falha é classificada como uma combinação de fatores de influência em termos de severidade e probabilidade de ocorrência (BOWLES, 1998).

A classificação quanto à criticidade também é empregada na indústria para classificar as peças de reposição sob o ponto de vista da manutenção e operação dos equipamentos. Em geral, também são três categorias: Vital (são as peças de reposição que impossibilitam o funcionamento da máquina na sua ausência), Essencial (são peças que têm médio grau de importância pois a sua falta permite o funcionamento por algum tempo, mas tem que ser substituída quando houver disponibilidade) ou Desejável (são as peças que podem ser aplicadas quando necessário a substituição, entretanto a sua falta não compromete a operação). (GAJPAL, GANESH e RAJENDRAN, 1994).

A adoção do enfoque multicritério é mais apropriada por incluir outros parâmetros como criticidade, tempo de reposição etc. (SYNTETOS, KEYES e BABAI, 2009)

Uma abordagem adotada por muitas indústrias é utilizar duas alternativas como, por exemplo, o custo da mercadoria e a demanda. Este método permite grande flexibilidade ajuste de níveis de serviço por categoria em função de atingir todas as metas em um custo menor.

A aplicação do AHP na classificação de itens em estoque permite a consideração de diversos fatores, como custo unitário, percentual de utilização, criticidade e lead time. Os resultados obtidos com uso de *software Expert Choice* geram uma reclassificação ABC. Assim, obter-se-á uma nova visão dos itens, mais completa, atendendo a diversos parâmetros. (FLORES, OLSON e DORAI, 1992).

O AHP também foi aplicado em estudos de casos sobre classificação de peças de reposição considerando criticidade, facilidade de obtenção e tempo de reposição (. Há, inclusive, estudos com aplicação do AHP em classificações mais amplas, com 5 fatores: nível de utilização, tempo de vida, tempo de reposição, preço e facilidade de obtenção. (GAJPAL, GANESH e RAJENDRAN, 1994)

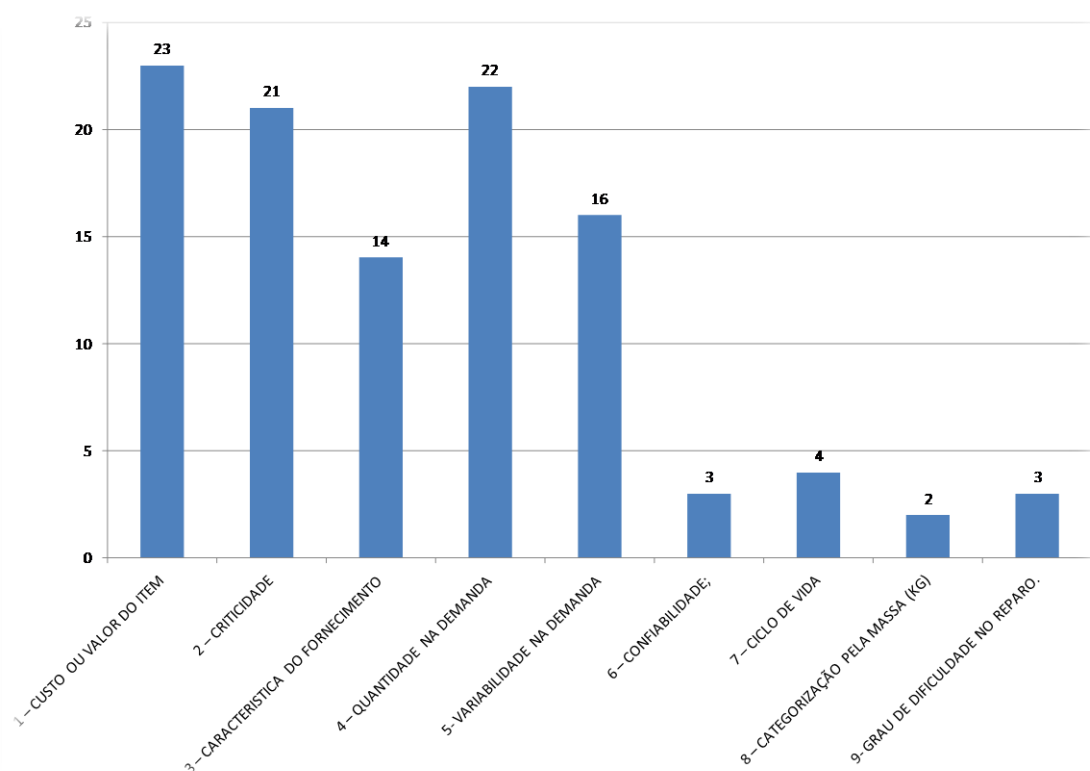
O método AHP foi aplicado em um estudo de caso sobre a classificação de peças de reposição na indústria química por Molenaers, Baets e outros (2012). O estoque de peças de reposição foi classificado quanto aos seguintes critérios: equipamento crítico para processo industrial, probabilidade de falha do item, tempo de reposição, número de fornecedores, disponibilidade de especificação técnica e tipo de manutenção.

O uso do AHP para classificar as peças de reposição em estudo de caso proposto por Partovi e Burton (1993) fez a menção de sete critérios como preço, obsolescência, tempo de entrega, substituição, reparabilidade, criticidade e demanda. Observamos que na prática o emprego limitou-se em quatro critérios: preço, tempo de entrega, criticidade e demanda.

A classificação das peças de reposição vem sendo realizada segundo múltiplos critérios, segundo afirmado por Baccheti (2013). Contudo, pouca atenção tem sido dedicada em identificar a razão de se adotar um determinado critério de classificação em detrimento de outros. Uma característica a ser observada no critério de classificação é quanto à natureza dos dados em classificar. Quando os dados são quantitativos, a classificação ABC representa a maioria. Quando for adotada alguma característica qualitativa, o método AHP torna-se o preferido.

A seguir temos um resumo, em uma tabela, de todos os autores que adotaram um ou mais critérios para classificação de peças de reposição nos últimos 20 anos. A observação dos dados nos permite identificar que os 9 critérios são os mais populares nas pesquisas, sendo o custo ou valor de aquisição o mais representativo, seguido da quantidade apresentada na demanda.

Figura 2 – Gráfico da contagem de artigos publicados para cada tipo de critério.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 – Critérios encontrados na literatura.

CRITÉRIOS ENCONTRADOS NA LITERATURA: 1 – CUSTO OU VALOR DO ITEM; 2 – CRITICIDADE; 3 – CARACTERISTICA DO FORNECIMENTO; 4 – QUANTIDADE NA DEMANDA; 5- VARIABILIDADE NA DEMANDA; 6 – CONFIABILIDADE; 7 – CICLO DE VIDA; 8 – CATEGORIZAÇÃO PELA MASSA (KG); 9- GRAU DE DIFICULDADE NO REPARO.										
	autor(es)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	(GELDERS e LOOY, 1978)				x					
2	(WILLIAMS, 1984)					x				
3	(DUCHESSI, KUMAR e LEVY, 1988)	x	x							
4	(FLORES e WHYBARK, 1988)		x		x					
5	(M.A.YAMASHIMA, 1989)					x	x	x		
6	(ERNEST e M.A.COHEN, 1990)	x	x	x		x				
7	(PETROVIC e PETROVIC, 1992)	x	x		x				x	x
8	(GAJPAL, GANESH e RAJENDRAN, 1994)		x							
9	(NAGARUR, HU e BAID, 1994)	x		x						
10	(HUISKONEN, 2001)	x	x			x				
11	(SHARAF e HELMY, 2001)	x	x	x	x			x		
12	(PARTOVI e ANANDARAJAN, 2002)	x		x	x					
13	(BRAGLIA, GRASSI e MONTANARI, 2004)	x	x	x	x					
14	(EAVES e KINGSMAN, 2004)			x		x				
15	(SYNTETOS, BOYLAN e CROSTON, 2005)					x				
16	(RAMANATHAN, 2006)	x	x	x	x					
17	(ZHOU e FAN, 2006)	x	x	x	x					
18	(WI, 2007)	x		x	x					
19	(BOYLAN, SYNTETOS e KARAKOSTAS, 2008)					x				
20	(CAVALIERI, GARETTI, <i>et al.</i> , 2008)	x	x	x						
21	(CHEN, LI, <i>et al.</i> , 2006)		x	x	x					
22	(CHU, LIANG e LIAO, 2008)	x	x							
23	(PORRAS e DEKKER, 2008)	x	x		x					
24	(SYNTETOS, KEYES e BABAI, 2009)				x					
25	(PERSON e SACCANI, 2009)	x	x	x	x			x		
26	(TRATAR, 2010)			x	x					

CRITÉRIOS ENCONTRADOS NA LITERATURA: 1 – CUSTO OU VALOR DO ITEM; 2 – CRITICIDADE; 3 – CARACTERISTICA DO FORNECIMENTO; 4 – QUANTIDADE NA DEMANDA; 5- VARIABILIDADE NA DEMANDA; 6 – CONFIABILIDADE; 7 – CICLO DE VIDA; 8 – CATEGORIZAÇÃO PELA MASSA (KG); 9- GRAU DE DIFICULDADE NO REPARO.										
	autor(es)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
27	(KESEN, KANCHANAPIBOON e DAS, 2010)	x								
28	(CHEN, CHEN e KUO, 2010)				x	x				
29	(JOUNI, HUISKONEN e PIRTTILA, 2011)		x		x	x				
30	(LEVNER, PERLMAN, <i>et al.</i> , 2011)	x								
31	(MOLENAERS, BAETS, <i>et al.</i> , 2012)		x				x			x
32	(POURAKBAR e DEKKER, 2012)		x					x		
33	(GHODRATI, BENJEVIC e JARDINE, 2012)				x		x			x
34	(MOON, SIMPSON e HICKS, 2013)				x	x				
35	(HEINECKE, SYNTETOS e WANG, 2013)	x	x			x				
36	(BACCHETI, PLEBIANI, <i>et al.</i> , 2013)	x	x	x	x	x				
37	(KOURENTZES, 2014)	x				x				
38	(LENGU, SYNTETOS e BABAI, 2014)					x				
39	(BALAJI e KUMAR, 2014)	x			x				x	
40	(DO REGO e DE MESQUITA, 2015)	x			x	x				
41	(STOLL, KOPF, <i>et al.</i> , 2015)	x	x		x	x				

Fonte: Autoria própria.

3 DECISÃO MULTICRITERIO

3.1 GENERALIDADES

Decisões são tomadas em praticamente todas as atividades humanas, seja no meio pessoal, familiar e profissional. Ao longo da história da humanidade, diversos desenvolvimentos no campo do conhecimento vêm ocorrendo. No século XVII, foi desenvolvida por Pascal e Fermat a noção de esperança matemática, que deu início à teoria de probabilidades para auxiliar na resolução de problemas na área financeira, para cálculo de seguro e também aplicada no campo dos jogos de azar. A aplicação dos conceitos matemáticos transformou o modo de pensamento, tornando as decisões mais racionais. A partir daí tivemos um progresso no trabalho e no comércio no mundo ocidental, quando através da análise científica do trabalho, muitos pesquisadores contribuíram para o desenvolvimento, como por exemplo: Frederick W. Taylor, Félix Édouard J. É. Borel e Agner K. Erlang.

Segundo Marins (2011), após a segunda guerra mundial, aumentou o desejo de racionalização na busca de aplicar o conhecimento científico na resolução dos problemas, por exemplo, estudos relacionados com o desenvolvimento e uso do radar, problema de alocação eficiente de recursos escassos às várias operações militares, problema da dieta. As equipes de “analistas operacionais”, assim chamadas naquela época, começaram a se expandir na Grã-Bretanha, no Canadá, na Austrália e nos Estados Unidos. O rápido crescimento do conhecimento no pós-guerra deve-se ao desenvolvimento de técnicas específicas, como o método Simplex para a Programação Linear, e ao grande progresso alcançado no desenvolvimento dos computadores eletrônicos. A expansão no mundo acadêmico se deu inicialmente nos departamentos de Engenharia Industrial e de Engenharia de Produção e nas escolas de Administração das Universidades norte americanas onde então foram desenvolvidos os termos *Operational Research* ou *Management Science* que na língua portuguesa significa Pesquisa Operacional (PO).

Segundo Roy (1993) o termo apoio a decisão, do inglês *Decision-aid* pode ser definido como a atividade de alguém que, de formas a que chamamos científico, ajuda a obter respostas à perguntas feitas pelos agentes envolvidos no processo de tomada de decisão, a fim de fornecer os meios com as condições mais favoráveis, que irá aumentar a coerência entre a evolução do processo, por um lado, e as metas e ou sistemas de valores dentro da qual esses atores operam na ordem.

No entanto, apesar da grande evolução da ciência nos dias de hoje percebemos que a grande maioria das decisões são tomadas intuitivamente ou por meio de algum método empírico, segundo (SAATY, 1990).

Conforme podemos concluir através dos dados da Tabela 01 o método AHP é o método de decisão multicriterial com maior número de publicações científicas, isto é confirmado pelo estudo de HO (2008) e também por Wallenius (2008).

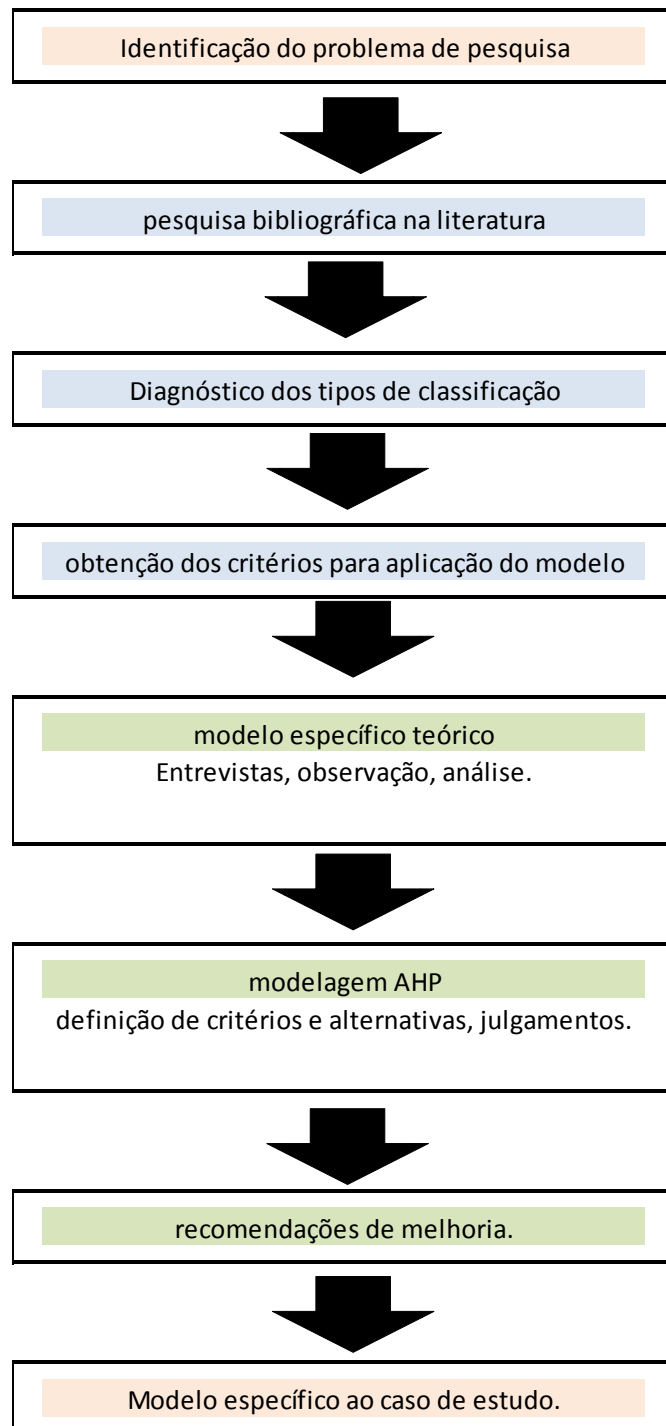
4 APLICACÃO DO MÉTODO

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

A empresa em que a pesquisa foi realizada situa-se no interior do Estado de São Paulo. A unidade estudada pertence a um grupo multinacional fabricante de equipamentos para as indústrias aeronáutica, de construção civil, de mineração, e movimentação de cargas. É uma unidade fabril com área de um milhão de m² e um centro de distribuição (CD) de 5.000 m² para atender toda América do Sul. Este CD é ocupado por mais de 50 mil diferentes itens, totalizando mais de oitenta milhões de reais em peças de reposição. A empresa possui um sistema ERP – *Enterprise Resource Planning* que também controla o inventário de estoque de peças de reposição integrado com os sistemas de departamentos de vendas, compras, financeiro, fiscal e contabilidade. O controle de estoque é executado, automaticamente, a cada linha de ordem executada neste sistema, podendo ser uma entrada no estoque por compra, devolução, fabricação ou uma saída do item por meio de uma venda, ordem de serviço, fabricação, entre outras mais.

4.2 ETAPAS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA

Figura 3 – Etapas da Pesquisa



Fonte: Autoria Própria.

4.3 SITUAÇÃO INICIAL

Diariamente o sistema ERP executa um programa, de forma automática, chamado *Master Production Scheduling Systems* (MPS), que identifica as ordens de entrada e saída do estoque, calculando então a quantidade teórica necessária de cada item, chamada de *available to promise*, de forma a atender à previsão de venda e aos pedidos de venda (firme) futura, levando em conta também as ordens de compra já colocadas e outros tipos de entrada planejada.

O resultado final do MPS é uma lista de Ordens de Compra, quando o coordenador de estoque está preparado para colocar os pedidos de reposição dos níveis de estoque para os próximos 12 meses.

As compras de peças de reposição também são colocadas manualmente toda vez que um novo produto for lançado, porque não existe um histórico de venda anterior para calcular a previsão de demanda, então para que as futuras demandas de peças sejam atendidas no prazo é necessário fazer esta estimativa manualmente.

A política de reposição está descrita na tabela 1 onde indicamos também as condições que são classificadas quanto ao valor em estoque, pelo clássico método ABC, conforme a seguir:

Tabela 3 - Classificação do estoque na empresa estudada

Classificação	Percentual de valor do estoque	Intervalo de reposição
A	80%	Diário
B	15%	Mensal
C	5%	Trimestral

Fonte: Autoria própria

O sistema ERP executa um outro programa, só que, desta vez, uma vez por mês, para o controle de estoque, classificando automaticamente os itens disponíveis no último dia do mês segundo a classificação ABC.

Através da classificação ABC, o sistema ERP ajusta um parâmetro para cada item chamado “intervalo entre ordens”, que nada mais é do que um agrupador de ordens de compra por tempo. Os itens são mantidos em estoque em um nível que atenda à previsão de vendas, e o intervalo entre cada ordem de compra para um mesmo item é estabelecido conforme apresentado na Tabela 1. Por exemplo, para os itens classificados como “A” o reabastecimento só ocorrerá mediante uma ordem de venda colocada pois, devido ao alto valor de aquisição, esses itens possuem intervalo de reposição curto. A compra surge logo após uma escassez, então esses itens não têm grande quantidade em estoque, pode ocorrer reabastecimento em diversos momentos durante o ano, os custos logísticos podem ser elevados, porém o custo de manutenção do estoque é baixo, logo que o item é comprado ele é vendido.

Os itens classificados como “B” têm intervalo de compra de 30 dias, tornando-se uma posição intermediária quanto ao custo do estoque. A vantagem está em “consolidar” os pedidos em uma única ordem mensal, reduzindo assim os custos de importação e transporte.

Para os itens classificados como “C”, as compras são realizadas prevendo um intervalo de reposição trimestral, então o lote de compra deve possuir quantidade suficiente para atender esse período de três meses, com isto o custo logístico é reduzido mais ainda em comparação aos itens classificados como A ou B.

Apesar da quantidade de material ser estocada em quantidade elevada, o custo de manutenção de estoque para os itens C é considerado baixo devido ao preço de custo da mercadoria ser pequeno, por isso é mais vantajoso manter um estoque para atender um período de demanda maior, do que fazer a colocação de pedidos a cada venda recebida.

Um terceiro programa que é executado mensalmente é o responsável pelo cálculo da previsão de demanda, quando então é feita uma contagem de quantas vezes o item foi vendido no mês e, em uma tabela do sistema, para cada item há um campo identificando os meses e o ano e a quantidade que foi efetivamente vendida. Com base nesses dados, o sistema ERP realiza o cálculo da previsão de demanda de uma peça de reposição, entretanto existe uma restrição: somente os itens com demanda registrada em mais de três vezes serão processados, para os itens cuja demanda é inferior a três a previsão de demanda é apresentada como zero.

O cálculo da previsão de demanda é apresentado pela equação (1) da seguinte forma:

$$F = [(P1) * 0,8 + (P2) * 0,9 +(P3) * 1,1 + (P4) * 1,2] / 4 \quad (1)$$

Sendo:

F = valor da previsão de demanda mensal.

P(n) = Média simples da quantidade vendida no período de três meses.

O sistema ERP da empresa aparenta ser bem eficiente para controle de estoque. Observamos na prática que todas as faltas de peças identificadas nas linhas de ordem de vendas do dia anterior estavam sendo recomendadas na compra no dia seguinte, e que os itens em estoque que tiveram redução da quantidade provocada pelas saídas de material tiveram também sugestão de compra, no dia seguinte, para reposição conforme a política da empresa, nos parâmetros estabelecidos na tabela 1.

Apesar de ser positiva a impressão de funcionamento do sistema como um todo, no entanto, observou-se que o NS – Nível de Serviço não estava sendo atingido conforme a meta planejada.

O NS, que é um indicador de eficiência, representa o percentual resultante do número total de pedidos atendidos por completo, sem falta de mercadoria, no mesmo dia em relação ao número total de pedidos do dia. Quando um Pedido de Venda é inserido no sistema e, ao final do dia, não foi despachado ao consumidor, o índice de NS contará esta venda como não atendida por completo. A causa pode ser falta de material no estoque ou falta tempo disponível para separar o material, embalar e despachar, devido à falta de pessoal ou equipamento.

Este índice reflete o atendimento prestado aos clientes pelo departamento de vendas de peças de reposição cuja meta estabelecida que é de 95% .

A seguir vamos apresentar um caso real de um item em estoque e seu histórico de vendas nos últimos 24 meses e sua previsão de demanda calculada. Como podemos observar no figura 4, a previsão de venda apresenta uma baixa acuracidade em função da grande variação de demanda real registrada. Isto ocorre devido às necessidades dos consumidores não serem constantes, o que torna difícil de prever esta situação.

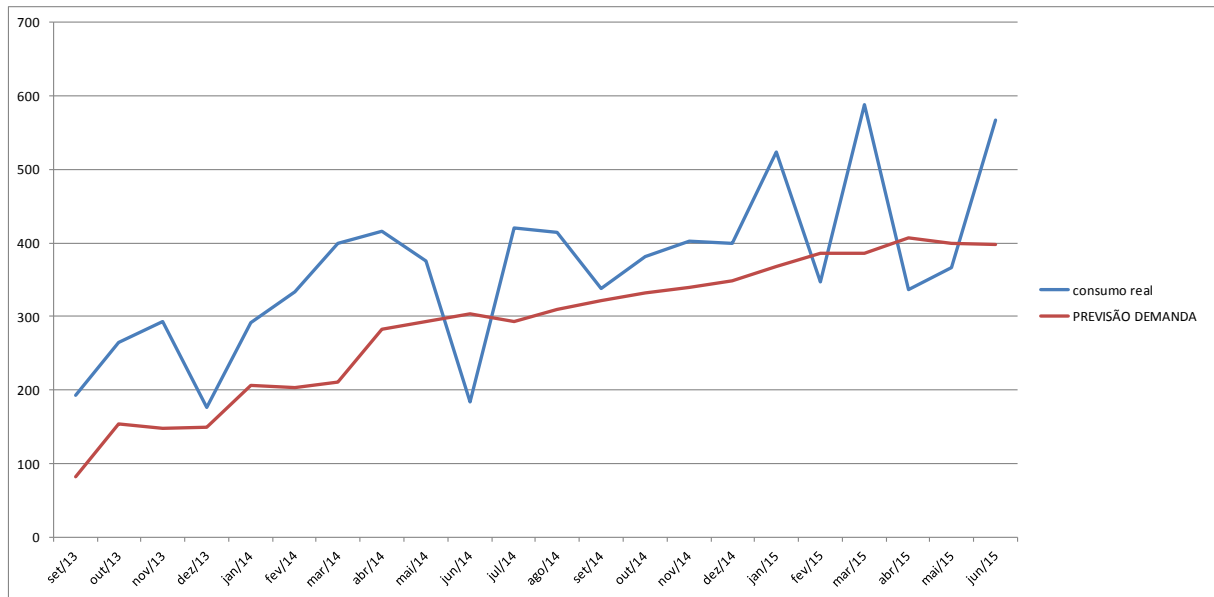
Na literatura existem muitos artigos publicados a respeito do estudo da demanda e das técnicas apresentadas (veja quadro 2). O objetivo deste estudo não é propor um método para calcular a previsão de demanda, contudo apresentamos estes dados para identificar uma oportunidade de melhor condução da gestão de planejamento de estoques.

Tabela 4 – Dados de consumo e previsão de demanda calculado

mês/ano	consumo real	MEDIA 1º TRI	MEDIA 2º TRI	MEDIA 3º TRI	MEDIA 4º TRI	PREVISÃO DEMANDA
jun/13	303					
jul/13	230				303,00	90,90
ago/13	282				266,50	79,95
set/13	192				271,67	81,50
out/13	265			303,00	234,67	153,73
nov/13	293			266,50	246,33	147,19
dez/13	176			271,67	250,00	149,71
jan/14	291		303,00	234,67	244,67	206,11
fev/14	333		266,50	246,33	253,33	203,70
mar/14	400		271,67	250,00	266,67	209,88
abr/14	416	303,00	234,67	244,67	341,33	283,08
mai/14	376	266,50	246,33	253,33	383,00	293,29
jun/14	183	271,67	250,00	266,67	397,33	303,12
jul/14	421	234,67	244,67	341,33	325,00	293,35
ago/14	414	246,33	253,33	383,00	326,67	309,59
set/14	338	250,00	266,67	397,33	339,33	321,07
out/14	381	244,67	341,33	325,00	391,00	332,41
nov/14	402	253,33	383,00	326,67	377,67	339,98
dez/14	400	266,67	397,33	339,33	373,67	348,15
jan/15	524	341,33	325,00	391,00	394,33	367,22
fev/15	347	383,00	326,67	377,67	442,00	386,56
mar/15	588	397,33	339,33	373,67	423,67	385,68
abr/15	337	325,00	391,00	394,33	486,33	407,32
mai/15	366	326,67	377,67	442,00	424,00	399,06
jun/15	567	339,33	373,67	423,67	430,33	397,55

Fonte: Autoria própria.

Figura 4 - Gráfico comparativo da demanda real com a previsão de demanda



Fonte: Autoria própria.

4.4 MODELAGEM

Analisando o trabalho da equipe de planejamento, funcionários alocados ao departamento de vendas e também do coordenador de estoque, verificamos que o trabalho consiste em estudar o comportamento da demanda dos itens que apresentaram falta através do histórico de vendas registrado no sistema, e outros parâmetros que são característica individual do cadastro do item neste sistema. Para este grupo de quatro pessoas vamos identificá-los como Decisores.

A análise é subjetiva e não existe uma formalização de quais critérios adotar e qual critério é mais importante, ou seja, que valor cada critério representa na análise do item. Observamos que, para alguns decisores, o critério custo da mercadoria tinha maior importância, ao passo que, para outro decisor, o giro de estoque era mais valioso conforme sua opinião.

A medida adotada nesta pesquisa foi então identificar na literatura quais os critérios utilizados nos artigos publicados, (veja tabela 1 – pag 36) e, de posse desta lista, apresentar aos decisores que identificaram cinco critérios considerados essenciais para a tomada de decisão. Um sexto critério que não consta na literatura – item estrutural, foi apontado como essencial também, e foi incluído neste estudo.

A seguir apresentamos, no Quadro 4, os critérios levados em consideração para decidir sobre a reposição ou não do estoque. O campo descrição indica como esse critério interfere no processo de decisão, e poderemos identificar as alternativas:

Tabela 5 - Critérios adotados para pesquisa

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO
C ₁ – Valor de aquisição	O preço de custo da mercadoria, acrescentado dos custos logísticos para as peças de reposição são calculados e classificados pelo método ABC para este critério. Caso o item tenha sido considerado categoria “A”, o planejador recomenda a compra suficiente para atender a demanda do cliente na ordem colocada, se houver classificação B ou C a quantidade é acrescida de um valor suficiente para novas demandas futuras;
C ₂ – Giro de estoque	Representa o número linhas de ordem em que o item é vendido por mês, assim, os itens que possuem grande popularidade têm uma previsão de venda mais acurada, outros são vendidos esporadicamente e outros raramente são comercializados. O método XYZ é utilizado para este tipo de classificação;
C ₃ – item crítico	Representado pelas peças de reposição em que, na ocorrência de falha, o equipamento fica impedido de operar ou tem sua performance reduzida. As peças com esta característica não podem faltar no estoque, sua ausência gera grande insatisfação ao cliente, pois seu equipamento permanecerá mais tempo parado, aguardando o tempo de fabricação e transporte do item solicitado. A classificação VED é o método empregado para este critério

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO
C ₄ – ciclo de vida	Se, por um lado, o critério Giro de estoque possibilita aumento de estoque de um determinado item, o ciclo de vida é um parâmetro que permite identificar o momento de parar a reposição deste material, pois, ao fim da vida útil de um equipamento, este não vai mais demandar peças de reposição. Se pudermos identificar a peça de reposição com seu equipamento e, sabendo o número de equipamentos vendidos em todos os anos, poderemos estimar quanto tempo resta de vida útil deste parque de máquinas e prever a quantidade de peças necessárias para sua reposição.
C ₅ – tempo de fornecimento	Este critério é aplicado para identificar o modal de transporte a ser utilizado. Se um determinado item tem fornecedor em outro continente e possui dimensões superiores ao permitido em um compartimento de carga de uma aeronave, o modal sempre será marítimo, tornando o tempo de transporte para reabastecimento impactante no nível de serviço. Pode-se ainda classificar como marítimo quando for considerado “Carga Perigosa” para transporte aéreo, e também para os itens com prazo de fabricação longo. As peças podem ser classificadas quanto este critério como RML – Rápido para até dois dias, Moderado para até 30 dias e Longo para 90 dias ou mais.
C ₆ – item estrutural	Este critério leva em consideração se a peça em catálogo pode ser considerada peça de reposição ou item de projeto, ou seja, a peça não vai ser vendida para o mercado de reposição, somente será empregada na fabricação de um item completo. Para este tipo de item não existe reposição.

Fonte: Autoria própria.

4.6 OBTENÇÃO DAS PRIORIDADES GLOBAIS

Como temos um grupo de decisores envolvidos, precisamos definir um método para agrupamento dos dados. A Teoria de Tomada de Decisão em Grupos do AHP estabelece duas formas de tratamento dos dados:

AIJ - Aggregating Individual Judgment

Se os decisores são membros de um mesmo grupo, com a mesma bagagem cultural, as avaliações tendem a ser mais homogêneas, então, calculando a média geométrica de cada um dos valores A_{ij} das matrizes de julgamentos de todos avaliadores:

AIP - Aggregating Individual Priorities

Se os decisores não são membros de um mesmo grupo, por exemplo são membros de empresas distintas e, até mesmo, de países diferentes, a agregação mais coerente é feita por prioridades finais, então o cálculo é executado pela média aritmética simples dos vetores das matrizes.

Para a empresa objeto do estudo de caso todos membros são pertencentes à mesma empresa então, foi efetuado a coleta dos dados do questionário e, na tabela 8, apresentamos o resultado da matriz de comparação para cada um dos avaliadores:

Tabela 6 – Matriz de comparação dos critérios

AVALIADOR 1						
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
C ₁	1	1/7	1	5	1/7	5
C ₂	7	1	7	7	1	7
C ₃	1	1/7	1	5	1/7	5
C ₄	1/5	1/7	1/5	1	1/7	1
C ₅	7	1	7	7	1	7
C ₆	1/5	1/7	1/5	1	1/7	1

AVALIADOR 2						
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
C ₁	1	1/7	1/7	1/5	7	7
C ₂	7	1	1/7	7	7	7
C ₃	7	7	1	1/5	7	7
C ₄	5	1/7	5	1	5	7
C ₅	1/7	1/7	1/7	1/5	1	7
C ₆	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1

AVALIADOR 3						
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
C ₁	1	1/7	1/9	1/5	3	7
C ₂	7	1	1/7	1/7	7	7
C ₃	9	7	1	1/7	9	9
C ₄	7	7	7	1	7	1
C ₅	1/3	1/7	1/9	1/7	1	7
C ₆	1/7	1/7	1/9	1	1/7	1

Fonte: autoria própria.

Calculando, agora, para cada conjunto de dados de cada avaliador, a soma dos valores de cada coluna (S) e a média geométrica dos valores de cada linha (W), poderemos encontrar o valor do maior autovalor associado à matriz de comparações, que é o resultado do produto das matrizes correspondentes à matriz S (ordem 1 x 6) e à matriz W (ordem 6 x 1) com esse produto, encontraremos um valor único.

Ao calcular o índice de consistência, podemos observar que somente a matriz das comparações do avaliador 1 teve valor menor que 10%. Deveremos pois, desprezar o resultado das outras matrizes.

Tabela 7 – Cálculo do vetor prioridades para o avaliador 1

AVALIADOR 1									
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆		W	
C ₁	1	1/7	1	5	1/7	5	0,8939	9,2%	Valor de aquisição
C ₂	7	1	7	7	1	7	3,6593	37,7%	Giro de estoque
C ₃	1	1/7	1	5	1/7	5	0,8939	9,2%	Item Crítico
C ₄	1/5	1/7	1/5	1	1/7	1	0,3057	3,1%	Ciclo de vida
C ₅	7	1	7	7	1	7	3,6593	37,7%	Tempo de fornecimento
C ₆	1/5	1/7	1/5	1	1/7	1	0,3057	3,1%	Peça estrutural
S	16,4	2,57	16,4	26	2,57	26	9,7178	100,0%	

$\lambda_{MAX} = S W$
6,5896
$\mu = (\lambda_{MAX} - n) / (n - 1)$
0,117911798
índice de consistência
IC = μ / CR
9,51%

Fonte: autoria própria.

Tabela 8 – Cálculo do vetor prioridades para o avaliador 2

AVALIADOR 2									
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆		W	
C ₁	1	1/7	1/7	1/5	7	7	0,7647	8%	Valor de aquisição
C ₂	7	1	1/7	7	7	7	2,6458	29%	Giro de estoque
C ₃	7	7	1	1/5	7	7	2,7984	31%	Item Crítico
C ₄	5	1/7	5	1	5	7	2,2361	25%	Ciclo de vida
C ₅	1/7	1/7	1/7	1/5	1	7	0,3998	4%	Tempo de fornecimento
C ₆	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1	0,1976	2%	Peça estrutural
S	20,3	8,57	6,57	8,74	27,1	36	9,0423	100%	

$\lambda_{MAX} = S W$
10,4060
$\mu = (\lambda_{MAX} - n) / (n - 1)$
0,881195838
índice de consistência
IC = μ / CR
71%

Fonte: autoria própria.

Tabela 9 – Cálculo do vetor prioridades para o avaliador 3

AVALIADOR 3									
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆		W	
C ₁	1	1/7	1/9	1/5	3	7	0,6368	7%	Valor de aquisição
C ₂	7	1	1/7	1/7	7	7	1,3831	15%	Giro de estoque
C ₃	9	7	1	1/7	9	9	3,0000	32%	Item Crítico
C ₄	7	7	7	1	7	1	3,6593	39%	Ciclo de vida
C ₅	1/3	1/7	1/9	1/7	1	7	0,4174	4%	Tempo de fornecimento
C ₆	1/7	1/7	1/9	1	1/7	1	0,2621	3%	Peça estrutural
S	24,5	15,4	8,48	2,63	27,1	32	9,3587	100%	

$\lambda_{MAX} = S W$
9,7972
$\mu = (\lambda_{MAX} - n) / (n - 1)$
0,759438536
índice de consistência IC = μ / CR
61%

Fonte: autoria própria.

Como os dados das matrizes obtidas pelo resultado do julgamento dos avaliadores 2 e 3 estão inconsistentes, foi necessário tomar uma decisão: descartar os resultados inconsistentes ou propor nova execução dos julgamentos. Como os avaliadores informaram que não poderiam refazer os julgamentos e, que, devido a atual situação de crise que a economia do nosso país está enfrentando, receberam um aumento de carga de trabalho e, não podendo assim dispor de tempo para responder a uma nova pesquisa, decidiu-se então descartar os dados inconsistentes.

Conclui-se então que, utilizando os dados do avaliador 1, os critérios são classificados nesta ordem:

Tabela 10 – Vetor prioridade para os critérios

CRITÉRIO	Peso do critério
C ₁ – Valor de aquisição	9,2%
C ₂ – Giro de estoque	37,7%
C ₃ – item crítico	9,2%
C ₄ – ciclo de vida	3,1%
C ₅ – tempo de fornecimento	37,7%
C ₆ – item estrutural	3,1%

Fonte: autoria própria.

Com base no resultado obtido através da aplicação do método AHP, os critérios C₂ – Giro de estoque e C₅ – tempo de fornecimento tiveram a maior preferência, segundo as respostas dos questionários, das comparações obtidas na matriz de comparações.

A comparação das alternativas foi efetuada da mesma forma como aplicamos ao estudo dos critérios, os decisores responderam um segundo questionário eletrônico, criado também em uma planilha em Excel, sendo que, de forma individual, cada um fez os julgamentos das alternativas apresentadas em pares.

Cada par de alternativas foi comparado pelo decisor para determinar qual a mais importante, além disso, determinar o “grau de importância” conforme a escala fundamental apresentada anteriormente na Tabela 3:

As alternativas são classificadas em criticidade, chamada, na literatura, de VED, (V – *Vital* ; E – *Essential* ; D – *Desirable*) que permite categorizar cada peça de reposição cadastrada no sistema da empresa em três níveis:

V – Vital . Representa as peças que têm maior importância;

E – Essencial – Possui uma importância a ser considerada;

D – Desejável – são as peças cuja aquisição pode ser evitada;

A matriz de comparações para as alternativas foi elaborada com base nas respostas dos questionários, então, calculando a média geométrica de cada uma das alternativas temos o resultado apresentado na tabela 13:

Tabela 11 – Matriz de comparação das alternativas

AVALIADOR 1

	VITAL	ESSENCIAL	DESEJÁVEL
VITAL	1	5	7
ESSENCIAL	1/5	1	3
DESEJÁVEL	1/7	1/3	1
Σ	1,34	6,33	11,00

AVALIADOR 2

	VITAL	ESSENCIAL	DESEJÁVEL
VITAL	1	7	9
ESSENCIAL	1/7	1	5
DESEJÁVEL	1/9	1/5	1
Σ	1,25	8,20	15,00

AVALIADOR 3

	VITAL	ESSENCIAL	DESEJÁVEL
VITAL	1	3	9
ESSENCIAL	1/3	1	5
DESEJÁVEL	1/9	1/5	1
Σ	1,44	4,20	15,00

Fonte: autoria própria.

Calculando agora, para cada matriz de cada avaliador, a soma dos valores de cada coluna (S) e a média geométrica dos valores de cada linha (W), poderemos encontrar o valor do maior autovalor associado à matriz de comparações, que é o resultado do produto das matrizes correspondente à matriz S (ordem 1 x 3) e à matriz W (ordem 3 x 1) e, com esse produto encontraremos um valor único.

Através do cálculo do índice de consistência, pudemos observar que a matriz das comparações do avaliador 2 teve valor de índice de consistência maior que 10%, então deveremos utilizar apenas os dados dos avaliadores 1 e 3.

Tabela 12 – Cálculo do vetor prioridades para os três avaliadores

AVALIADOR 1

	VITAL	ESSENCIAL	DESEJÁVEL		W
VITAL	1	5	7	3,271066	73%
ESSENCIAL	1/5	1	3	0,843433	19%
DESEJÁVEL	1/7	1/3	1	0,36246	8%
Σ	1,34	6,33	11,00	4,476959	100%

$\lambda_{MAX} = S W$	3,064888
$\mu = (\lambda_{MAX} - n) / (n - 1)$	0,032444
índice de consistência	
$IC = \mu / CR$	5,6%

AVALIADOR 2

	VITAL	ESSENCIAL	DESEJÁVEL		W
VITAL	1	7	9	3,979057	89%
ESSENCIAL	1/7	1	5	0,893904	20%
DESEJÁVEL	1/9	1/5	1	0,281144	6%
Σ	1,25	8,20	15,00	5,154105	

$\lambda_{MAX} = S W$	3,693754
$\mu = (\lambda_{MAX} - n) / (n - 1)$	0,346877
índice de consistência	
$IC = \mu / CR$	59,8%

AVALIADOR 3

	VITAL	ESSENCIAL	DESEJÁVEL		W
VITAL	1	3	9	3	67%
ESSENCIAL	1/3	1	5	1,185631	26%
DESEJÁVEL	1/9	1/5	1	0,281144	6%
Σ	1,44	4,20	15,00	4,466775	

$\lambda_{MAX} = S W$	3,022174
$\mu = (\lambda_{MAX} - n) / (n - 1)$	0,011087
índice de consistência	
$IC = \mu / CR$	1,9%

Fonte: autoria própria.

Assumindo que os dados possam ser do tipo AIJ, então calculamos a média geométrica de cada um dos valores da matriz de comparações, a fim de obter o vetor de prioridades para as alternativas:

Tabela 13 – Vetor prioridade para as alternativas

	VITAL	ESSENCIAL	DESEJÁVEL		W
VITAL	1	3,87	7,94	3,132603	71,0%
ESSENCIAL	8/31	1	3,87	1	22%
DESEJÁVEL	1/8	8/31	1	0,319223	7%
Σ	1,38	5,13	12,81	4,451826	100%

$\lambda_{\text{MAX}} = S W$	3,04232
$\mu = (\lambda_{\text{MAX}} - n) / (n - 1)$	0,02116
índice de consistência	
IC = μ / CR	3,6%

VITAL	71%
ESSENCIAL	22%
DESEJÁVEL	7%

4.7 INDICE DE REPOSIÇÃO

A última etapa da pesquisa foi a elaboração de um modelo específico ao caso de estudo.

Conforme já havíamos apresentado no item 5.2 modelagem, a Empresa utiliza a classificação ABC para adotar uma política de reposição do estoque diferenciada para cada uma das três classes. Através do valor de custo total do estoque determina-se para cada item o valor percentual que este item representa para o estoque.

Desta forma, vamos propor então a criação de um fator de correção, chamado de Índice de Reposição, que será aplicado a cada item contido no estoque.

A aplicação do Índice de Reposição no valor de custo provocará uma redução no valor do mesmo, assim o item poderá ser classificado, pelo método ABC, em uma classe diferente, de forma que uma nova política de reposição será adotada, tornando assim mais adequada a necessidade apontada. Podemos afirmar que, uma vez sendo classificado como criticidade máxima um determinado item, o mesmo terá mudança de classe, tornando assim sua reposição sugerida de forma mais adequada pelo sistema ERP, resultando em uma melhora no índice de serviço, tornando mais competitiva a empresa e trazendo benefícios aos clientes.

A empresa estabeleceu os seguintes limites para cada um dos seis critérios utilizados:

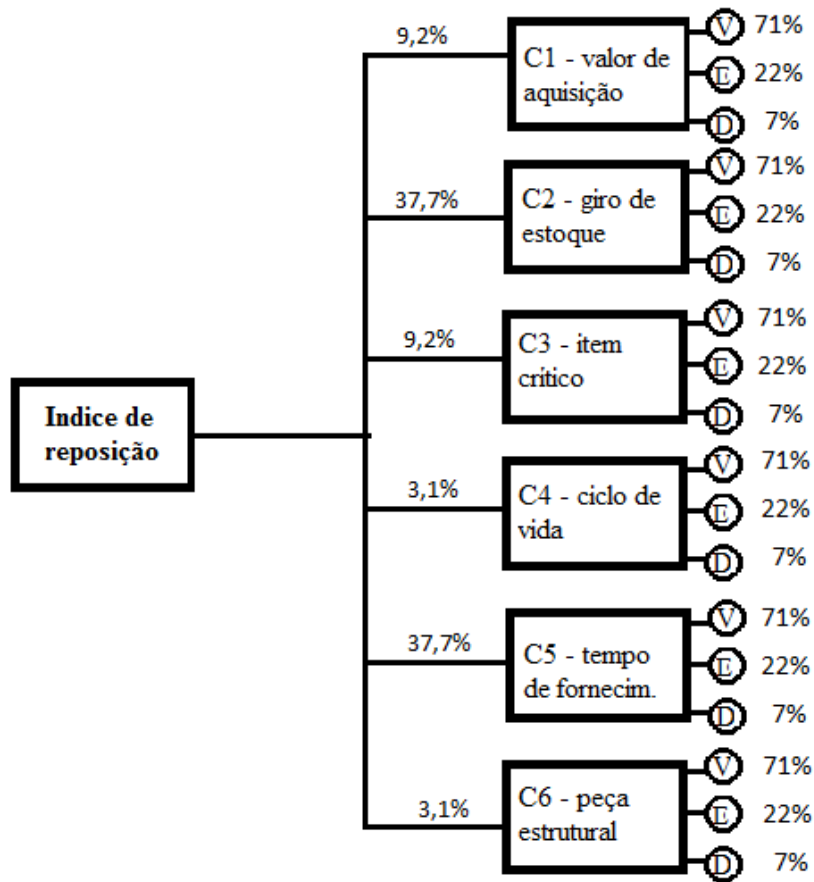
Tabela 14 – Valores para classificação VED por critério

Critério		Classe	Valores
C ₁	Valor de aquisição	V	Acima de 1.000 euros;
		E	Entre 100 e 1.000 euros;
		D	Abaixo de 100 euros;
C ₂	Giro de estoque	V	Rotatividade anual maior ou igual a 3;
		E	Rotatividade anual entre 1 e 2;
		D	Sem movimento;
C ₃	Item Crítico	V	Sua falta não permite funcionamento;
		E	Pode funcionar, porem com restrição;
		D	Não há restrição quanto à falta;
C ₄	Ciclo de vida	V	Item customizado ou pertence a um equipamento;
		E	Item restrito a uma linha de negocio;
		D	Item comum a muitos equipamentos;
C ₅	Tempo de fornecimento	V	Acima de 30 dias;
		E	De 3 a 30 dias;
		D	Até 3 dias;
C ₆	Peça estrutural	V	Peça não é mais fornecida;
		E	Sob encomenda, ou grande peso/dimensão ou carga perigosa;
		D	Peça amplamente disponível no mercado;

As obtenções dos vetores de prioridade para os critérios (tabela 12) e para as alternativas (tabela 16) servem para indicar o grau de importância que um determinado item possui em relação a outro quanto à necessidade de reposição e sua política de estocagem.

O Índice de Reposição será o resultado da multiplicação destes dois pesos:

Figura 6 – Resultado do peso de cada critério e alternativa calculados



Como exemplo, vamos supor que a tabela a seguir represente o estoque de uma empresa, com os valores de custo de cada item:

Tabela 15 – Classificação ABC

item	valor de custo [eur]	% valor de estoque	% acumulado	CLASSE	classificação					
					C1	C2	C3	C4	C5	C6
					Valor de aquisição	Giro de estoque	Item Crítico	Ciclo de vida	Tempo de fornec	Peça estrutural
S220	€ 5.412,00	18,91%	18,91%	A	V	D	V	V	V	D
C365	€ 3.629,00	12,68%	31,58%	A	V	D	D	V	E	D
T001	€ 3.526,00	12,32%	43,90%	A	V	D	E	V	E	D
M444	€ 3.269,00	11,42%	55,32%	A	V	D	V	V	E	D
S665	€ 3.205,00	11,20%	66,51%	A	V	D	D	V	E	D
A124	€ 2.543,00	8,88%	75,40%	A	V	D	E	E	E	D
F254	€ 2.489,00	8,69%	84,09%	B	E	D	E	E	E	D
H458	€ 1.698,00	5,93%	90,02%	B	E	E	D	E	D	D
N124	€ 457,00	1,60%	91,62%	B	E	V	V	D	D	D
C998	€ 454,00	1,59%	93,21%	B	E	V	V	D	D	D
D554	€ 325,00	1,14%	94,34%	B	E	E	V	E	D	D
F562	€ 251,00	0,88%	95,22%	C	D	V	D	E	D	D
S126	€ 236,00	0,82%	96,04%	C	D	V	E	D	E	D
K778	€ 235,00	0,82%	96,86%	C	D	V	E	D	E	D
X998	€ 235,00	0,82%	97,68%	C	D	V	E	V	E	E
L457	€ 221,00	0,77%	98,46%	C	D	V	D	D	D	E
G245	€ 145,00	0,51%	98,96%	C	V	V	V	V	V	V
A001	€ 128,00	0,45%	99,41%	C	D	V	E	D	D	D
F412	€ 32,00	0,11%	99,52%	C	D	V	E	E	D	D
D452	€ 23,00	0,08%	99,60%	C	D	V	D	D	D	D
K154	€ 22,00	0,08%	99,68%	C	D	E	D	D	E	D
Z124	€ 21,00	0,07%	99,75%	C	D	V	D	E	E	D
D778	€ 16,00	0,06%	99,81%	C	D	E	D	D	V	D
F124	€ 15,00	0,05%	99,86%	C	D	E	E	E	E	D
E142	€ 14,00	0,05%	99,91%	C	D	E	E	D	E	D
S542	€ 14,00	0,05%	99,96%	C	D	V	E	V	E	D
Q456	€ 12,00	0,04%	100,00%	C	D	V	E	V	E	D
	€ 28.627,00									

Aplicando os valores percentuais para o vetor de prioridades dos critérios juntamente com o valor de cada peso das alternativas, temos o índice de reposição calculado que fará a alteração do valor de custo de cada item da tabela abaixo, podendo então alterar a classe ABC:

Tabela 16 – Classificação ABC modificada pelo Índice de Reposição.

item	CLASSE	VALOR PERCENTUAL						ÍNDICE DE REPOSIÇÃO	valor de custo [eur] ALTERADO PELO ÍNDICE DE REP.	% valor de estoque	% acumulado	CLASSE
		C1	C2	C3	C4	C5	C6					
		9,2% Valor de aquisição	37,7% Giro de estoque	9,2% Item Crítico	3,1% Ciclo de vida	37,7% Tempo de fornect	3,1% Peça estrutural					
S220	A	71%	7%	71%	71%	71%	7%	45%	€ 2.429,34	32%	32%	A
M444	A	71%	7%	71%	71%	22%	7%	26%	€ 863,51	11%	43%	A
T001	A	71%	7%	22%	71%	22%	7%	22%	€ 772,44	10%	53%	A
C365	A	71%	7%	7%	71%	22%	7%	21%	€ 744,92	10%	63%	A
S665	A	71%	7%	7%	71%	22%	7%	21%	€ 657,89	9%	71%	A
A124	A	71%	7%	22%	22%	22%	7%	20%	€ 518,47	7%	78%	A
F254	B	22%	7%	22%	22%	22%	7%	16%	€ 395,25	5%	83%	B
H458	B	22%	22%	7%	22%	7%	7%	15%	€ 246,21	3%	86%	B
N124	B	22%	71%	71%	7%	7%	7%	38%	€ 175,47	2%	89%	B
C998	B	22%	71%	71%	7%	7%	7%	38%	€ 174,32	2%	91%	B
G245	C	71%	71%	71%	71%	71%	71%	71%	€ 102,95	1%	92%	C
X998	C	7%	71%	22%	71%	22%	22%	41%	€ 95,44	1%	94%	C
D554	B	22%	22%	71%	22%	7%	7%	20%	€ 66,26	1%	94%	C
S126	C	7%	71%	22%	7%	22%	7%	38%	€ 90,06	1%	96%	C
K778	C	7%	71%	22%	7%	22%	7%	38%	€ 89,68	1%	97%	C
F562	C	7%	71%	7%	22%	7%	7%	32%	€ 79,30	1%	98%	C
L457	C	7%	71%	7%	7%	7%	22%	32%	€ 69,82	1%	99%	C
A001	C	7%	71%	22%	7%	7%	7%	33%	€ 41,61	1%	99%	C
F412	C	7%	71%	22%	22%	7%	7%	33%	€ 10,55	0%	99%	C
Z124	C	7%	71%	7%	22%	22%	7%	37%	€ 7,82	0%	100%	C
S542	C	7%	71%	22%	71%	22%	7%	40%	€ 5,62	0%	100%	C
D452	C	7%	71%	7%	7%	7%	7%	31%	€ 7,16	0%	100%	C
Q456	C	7%	71%	22%	71%	22%	7%	40%	€ 4,82	0%	100%	C
D778	C	7%	22%	7%	7%	71%	7%	37%	€ 5,89	0%	100%	C
K154	C	7%	22%	7%	7%	22%	7%	18%	€ 4,03	0%	100%	C
F124	C	7%	22%	22%	22%	22%	7%	20%	€ 3,02	0%	100%	C
E142	C	7%	22%	22%	7%	22%	7%	20%	€ 2,76	0%	100%	C
									€ 7.664,61			

Aplicando o Índice de Reposição para o item selecionado na tabela acima, podemos observar que o valor de custo que está em 325,00 Eur. , com este procedimento, teve uma redução para 66,25 Eur., quando a classificação passou de B para C. Com efeito, este método alterou a posição deste item, passando para uma classe dos itens menos importantes, de modo que assim ele será repostado ao estoque quando o sistema ERP identificar que o nível de inventário atingiu o ponto de reposição, facilitando assim o trabalho do decisor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema Gestão de estoques e suas atribuições dentro da cadeia de suprimentos tem sido amplamente estudado nos últimos vinte anos, haja vista que, cada vez mais, a busca pela redução de custos e aumento do nível de serviço são fatores cruciais para qualquer indústria ou comércio serem bem sucedidos nos negócios.

Estas duas variáveis, custo de estoque e nível de serviço, são diretamente proporcionais, mas o que se procura é reduzir a primeira e aumentar a segunda, uma tarefa que aparentemente pode ser considerada complexa e de difícil execução na prática. Na literatura, observamos que, mediante um método apropriado de previsão de demanda e conhecimento do comportamento da demanda no mercado em que se atua, é possível obter bons resultados, contudo a literatura sobre classificação de peças de reposição além de ser bem ampla é vaga com relação à escolha do modelo de classificação.

Este estudo apresentou um modelo para auxiliar gerentes de estoques na decisão de compra de um item. A sua aplicação pode facilitar a decisão, porém não exclui a experiência, a subjetividade e até mesmo a opinião própria do gerente, baseado no conhecimento empírico do mercado e das suas variações de demanda. O ambiente industrial possui uma dinâmica própria o que torna as decisões sujeitas a muitos outros fatores aqui apresentados, podendo levar os resultados a outros valores totalmente diferentes do que foi calculado.

A presente pesquisa busca auxiliar, através do tema apresentado, uma empresa real no Brasil, aplicando um método de classificação de peças de reposição para se alcançar um índice numérico que auxilia na tomada de decisão no momento em que se avalia a necessidade de investir na reposição do item para estoque.

O resultado foi obtido mediante uma consulta a um conjunto de avaliadores especializados no assunto, determinando assim, com o uso do método AHP, os valores percentuais de cada um dos critérios mais utilizados na literatura, de forma que, mediante a classificação ABC e ao peso atribuído à cada critério, resultou em um novo valor de custo, que traduz a real necessidade de reposição do item no momento de reabastecimento do estoque, levando-se em conta seis critérios importantes, auxiliando assim na redução dos custos e aumentando a disponibilidade de peças mais críticas para fornecimento ao cliente desta indústria.

Este método poderá ser aplicado em qualquer outro tipo de comércio ou indústria, contribuindo certamente para uma inovação científica nesta matéria. Como sugestão de trabalhos futuros sobre este tema, recomendamos a aplicação do método de classificação e acompanhamento do nível de disponibilidade e do custo de estoque para avaliação da eficácia do método.

REFERÊNCIAS

BACCHETTI, A. et al. Empirically-driven hierarchical classification of stock keeping units. **International Journal Production Economics**, n. 143, p. 263-274, 2013.

BACCHETTI, A.; SACCANI, N. Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. **Omega**, n. 40, p. 722-737, 2012.

BALAJI, K.; KUMAR, V. S. S. Multicriteria Inventory ABC Classification in an Automobile Rubber Components Manufacturing Industry. **The 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems**. [S.l.]: elsevier.. p. 463-468. 2014

BOONE, C. A.; CRAIGHEAD, C. W.; HANNA, J. B. Critical challenges of inventory management in service parts supply: A Delphi study. **Operations Management Research**, v. 1, p. 31-39, 2008.

BOTTER, R.; FORTUIN, L. Stocking strategy for service parts - a case study. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 20, n. 6, p. 656-674, 2000.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística Empresarial** - o processo de Integração da cadeia de suprimento. 1º. ed. São Paulo: ATLAS, 2001.

BOWLES, J. B. **Reliability and Maintainability Symposium**. South Carolina University, Columbia, S.C. - EUA, 1998.

BOYLAN, J. E.; SYNTETOS, A. A.; KARAKOSTAS, G. C. Classification for Forecasting and Stock Control: A Case Study. **The Journal of the Operational Research Society**, v. 59, n. 4, p. 473-481, Apr. 2008.

BRAGLIA, M.; GRASI, A.; MONTANARI, R. Multi-attribute classification method for spare parts inventory management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, P. 55 – 65, 2004.

COHEN, M. A.; AGRAWAL, N. Winning in the aftermarket. **Haward Bussines Review**, v. 84, p. 129-138, 2006.

CRESWELL, J. W.; CLARK, P. V. L. **Designing and conducting mixed methods research**. SAGE Publications, [S.l.]: 2007.

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

DEKKER, R.; BAYINDIR, Z. P. Spare Parts Inventory Control: an overview of issues for a large industrial complex. **IMS international Forum**, Erba – Italy. p. 180-187, 2004.

EAVES, A.; KINGSMAN, B. Forecasting for the ordering and stock holding of spare parts. **Jornal of the Operations Research Society** , v. 55, p. 431-437, 2004.

FLORES, B. E.; OLSON, D. L.; DORAI, V. K. Management of Multicriteria Inventory Classification. **Mathl. Comput. Modelling**, v. 16, n. 12, p. 71-82, 1992.

GAJPAL, P. P.; GANESH, L. S.; RAJENDRAN, C. Criticality analysis of spare parts using the analytic hierarchy process. **International J. Production Economics**, v. 35, p. 293-297, 1994.

HO, W. Integrated analytic hierarchy process and its applications - A literature review. **European Jornal of Operational Research**, v. 186, p. 211-228, 2008.

JOHNSTON, F. R.; BOYLAN, J. E. Forecasting for itens with intermitent demand. **Journal of the Operational Research Society**, v. 47, p. 113-121, 1996.

KAMPEN, T. J. V.; AKKERMAN, R.; DONK, D. P. V. SKU classification: a literature review and conceptual framework. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 32, n. 7, p. 850-876, 2012.

KENNEDY, W. J.; PETTERSON, J. W.; FREDENDALL, L. D. An overview of recent literature on spare parts inventories. **International Journal Production Economics**, v. 76, p. 201-215, 2002.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C. Issues in Supply Chain Management. **Industrial Marketing Management**, New York, p. 65-83, 2000.

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

MARINS, F. A. S. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 1^a. ed. [S.l.]: Cultura Acadêmica, 2011.

MURTHY, D. N. P.; SOLEM, O.; ROSEN, T. Product warranty logistics: Issues and challenges. **European Journal of Operational Research**, n. 156, p. 110-126, 2004.

PARTOVI, F. Y.; BURTON, J. Using the analytic Hierarchy Process for ABC Analysis. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 13, p. 29-44, 1993.

RODA, I. et al. A review of multi-criteria classification of spare parts. From literature analysis to industrial evidences. **Journal of Manufacturing Technology Management**, V. 25, n. 4, p. 528-549, 2014.

ROY, B. Decision science or decision-aid science ? **European Journal of Operational research**,. 184 – 203, 1993

SAATY, R. W. The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used. **Mathl Modelling**, v. 9, n. 3, p. 161-176, 1987.

SAATY, T. L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal of Operational Research**, p. 9 – 26, 1990.

SYNTETOS, A. A.; KEYES, M.; BABAI, M. Z. Demand categorization in a European spare parts logistic network. **International Jornal of Operations & Production Management**, v. 29, n. 3, p. 292-316, 2009.

VERALDO, L. G. Gestão do estoque excedente com proposta e redução através de multiplas alternativas utilizando multiplos critérios. Dissertação de Mestrado - Unesp - Fac Eng. Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2008.

WILLIAMS, T. M. Stock Control with sporadic and slow moving demand. **Jornal of Operation Research Society** , v. 35, p. 939-948, 1984.

BIBLIOGRAFIA

BABAI, M. Z.; LADHARI, T.; LAJILI, I. On the inventory performance of multi-criteria classification methods: empirical investigation. *International Journal of Production Research*, v. 53, p. 279-290, 2015.

BASAK, I.; SAATY, T. Group decision making using the analytic hierarchy process. **Mathematical and Computer Modelling**, p.101 – 109, 1993.

BLAIR, A. R. et al. Forecasting the resurgence of the U.S. economy in 2010: An expert judgment approach. **Socio-Economic Planning Sciences**, p.114 – 121, 2010.

BO, L.; RUIFANG, Z. Research on Mining Classification Rules of Spare Parts Based on Grey Rough Set Theory. *Advances in Mechanical Engineering*, p. 1638-1643, 2011.

BRYMAN, A. **Research methods and organizations studies**. Londres: Unwin Hyman, 1989.

CAVALIERI, S. et al. A decision making framework for managing maintenance spare parts. **Production Planning & Control**, v. 19, p. 379-396, 2008.

CHEN, F.-L.; CHEN, Y.-C.; KUO, J.-Y. Applying moving back-propagation neural network and moving fuzzy neuron network to predict the requirement of critical spare parts. **Expert systems with Applications**, v. 37, p. 4358-4367, 2010.

CHEN, Y. et al. A case-based distance model for multiple criteria ABC analysis. **Computers & Operation Reserach**, v. 35, p. 776-796, 2006.

CHU, C. W.; LIANG, G. S.; LIAO, C. T. Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classifications. **Computers & Industrial engineering** , v. 51, p. 841-855, 2008.

CROOM, S.; ROMANO, P.; GIANNAKIS, M. Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 6, p. 67-83, 2000.

DINDARIAN, A.; GIBSON, A. A. P.; QUARIGUASI-F.-N., Electronic product returns and potential reuse opportunities: a microwave case study in the United Kingdom. **Journal of Cleaner Production**, v. 32, p. 22-31, 2012.

DIXIT, V.; SRIVASTAVA, R. K.; CHAUDHURI, A. Project network-oriented materials management policy for complex projects: a Fuzzy Set Theoretic approach. **International Journal of Production Research**, v. 53, p. 2904-2020, 2015.

DO REGO, J. R.; DE MESQUITA, M. A. Demand forecasting and inventory control: A simulation study on automotive spare parts. **International Journal Of Production Economics**, v. 161, p. 1-16, 2015.

DOURGNON-HANOUNE, A.; MEUWISSE, C.; GAUTHIER, A. Classification based on an ontological model :application to the classification of spare parts for French nuclear power plants. In: 10TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL INFORMATICS (INDIN), 2012.

DUCHESSI, P.; KUMAR, G. T.; LEVY, J. B. A comceptual approach for managing of spare parts. **International Jornal of Product Development**, v. 18, p. 8-15, 1988.

DURAN, O. Spare Parts Criticality Analysis Using A Fuzzy Ahp Approach. **Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette**, v. 22, p. 899-905, 2015.

ERNEST, R.; M.A.COHEN. Operations related groups (ORGs): A clustering procedure for production/inventory systems. **Journal of Operation Management**, v. 9, p. 574-598, 1990.

FLORES, B. E.; WHYBARK, D. C. Implementing multicritéria ABC analysis. **Engineering Costs and Production Economics**, v. 5, p. 191-195, 1988.

GELDERS, L.; LOOY, P. V. An Inventory Policy for slow and fast movers in a petrochemical plant: a case study. **Journal of the Operational Research Society**, v. 29, p. 867-874, 1978.

GHODRATI, B.; BENJEVIC, D.; JARDINE, A. Product support improvement by considering system operating enviroment - a case study on spare parts procurement. **International Journal of Quality & Reability Management**, v. 29, p. 436-450, 2012.

GOKIENE, R. Marginal Break Even Between Maintenance Strategies Alternatives. **Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics**, n. 2, p. 136-141, 2010.

HEINECKE, G.; SYNTETOS, A. A.; WANG, W. Forecasting-based SKU classification. **International Journal Of Production Economics**, v. 144, p. 455-462, 2013.

HEMATYAR, S. Fuzzy Classification of Gas Power Plant Spare Parts by Combination Statistical Classification Technique, SAW, ABC Analysis. 2011 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT (IEEM), p. 1800-1804, 2011.

HUIKONEN, J. Maintenance spare parts logistics: special characteristics and strategic choices. **International Journal of Production Economics**, v. 71, p. 125-133, 2001.

ISHIZAKA, A.; LABIB, A. Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: Benefits and limitations. **OR Insight**, v. 22, n. 4, p. 201-220, 2009.

ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. Multi-Critéria Decision Analysis. [S.l.]: Wiley, 2013.

JIA, L. et al. Exploration of Storage Strategies of CYPC on the Basis of ABC Inventory Classification. 2013 INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT AND INFORMATION TECHNOLOGY, 2013.

JIANG, S. et al. Researches on Spare Parts Management of Truck Assembly Shop. **Mems, Nano And Smart Systems**, PTS 1-6, p. 1262- 1265, 2012.

JIN, Z. et al. The Application of SVM in Equipment Spare Parts Multi-class Classification Problem. PROCEEDINGS OF THE 14TH YOUTH CONFERENCE ON COMMUNICATION, p. 97-101, 2009.

JINGJIANG, G.; ZHENDONG, H. A Classification Model for Inventory Management of Spare Parts and Its Application. 2012 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL CONTROL AND ELECTRONICS ENGINEERING (ICICEE), p. 592-595, 2012.

JOUNI, P.; HUIKONEN, J.; PIRTTILA, L. Improving global spare parts distribution chain performance through part categorization: A case study. **International Journal Of Production Economics**, v. 13, p. 164-171, 2011.

KESEN, S. E.; KANCHANAPIBOON, A.; DAS, S. K. Evaluating supply chain flexibility with order quantity constraints and lost sales. **International Journal production economics**, v. 126, p. 181-188, 2010.

KOURENTZES, N. On intermittent demand model optimisation and selection. **International Journal Of Production Economics**, v. 156, p. 180-190, 2014.

KRIGUER, H.; MIZUNO, D.; SALOMON, V. A. P. Classificação Multicritério de Peças de Reposição. In: 34 ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Curitiba: **Anais... ABEPRO**, 2014.

LANDRY, J. T. Supply Chain Management. **Harvard Business Review** : 24. Academic OneFile. ,p. 24, nov. 1998.

LEVNER, E. et al. A network approach to modeling the multi-echelon spare part inventory system with backorders and interval-valued demand. **International journal Production Economics**, v. 132, p. 43-51, 2011.

M.A.YAMASHIMA. The service parts control problem. **Engineering Costs and Production Economics**, v. 16, p. 195-208, 1989.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MILLET, I.; SAATY, T. L. On the relativity of relative measures - accommodating both rank preservation and rank reversals in the AHP. **European Journal of Operational Research**, p. 205 – 212, 2000.

MOLENAERS, A. et al. Criticality classification of spare parts: A case study. **International Journal of Production Economics**, v. 140, p. 570-578, 2012.

MOON, S.; SIMPSON, A.; HICKS, C. The development of a classification model for predicting the performance of forecasting methods for naval spare parts demand. **International Journal of Production Economics**, v. 143, p. 449-454, 2013.

NAGARUR, N. N.; HU, T.; BAID, K. A computer based inventory management system for spare parts. **Industrial Management & Data Systems**, v. 94, p. 22-28, 1994.

OZDEMIR, M. S.; SAATY, T. L. The unknown in decision making. What to do about it. **European Journal of Operational Research**, p.349 – 359, 2006.

PARTOVI, F. Y.; ANANDARAJAN, M. lassifyng inventory using an artificial neural network approuch. **Computer & Industrial Engineering**, v. 41, p. 389-404, 2002.

PERSON, F.; SACCANI, N. Managing the after sales logistic network - a simulation study. **Production Planning & Control**, v. 20, p. 125-134, 2009.

PETROPOULOS, F.; KOURENTZES, N. Forecast combinations for intermittent demand. **Journal Of The Operational Research Society**, v. 66, p. 914-924, 2015.

PETROVIC, D.; PETROVIC, R. SPARTA II: Further development in an expert system for advising on stock control of spare parts. **International Jornal of Production Economics**, v. 24, p. 291-300, 1992.

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

POURAKBAR, M.; DEKKER, R. Customer Differentiated end-of-life inventory problem. **European Journal of Operational Research**, v. 222, p. 44-53, 2012.

RAMANATHAN, R. ABC inventory classification with multi-criteria using weighted linear optimization. **Computers & Operations research**, v. 33, p. 695-700, 2006.

SAATY, T. L. The Minimum Number Of Intersections In Complete Graphs. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. p. 688 – 690, 1964

SAATY, T. L. Operations Research: Some Contributions to Mathematics. **Science**, New York,. 1061 – 70, 1972

SAATY, T. L. Highlights and critical points in the theory and application in the theory and application. **European Journal of Operational Research**, p. 426 – 447, 1974

SAATY, T. L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. **Journal of Mathematical Psychology**, p. 234 – 281, 1977.

SAATY, T. L. Decision making for leaders. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, p. 450 – 452, 1985.

SAATY, T. L. Scoring the membership function. **European Journal of Operational Research**, p. 320 – 329, 1986.

SAATY, T. L. How To Handle Dependence With The Analytic Hierarchy Process. **Mathematical Modelling**, p. 369 – 376, 1987.

SAATY, T. L. Eigenvector and logarithmic least squares. **European Journal of Operational Research**, p. 156 – 160, 1990.

SAATY, T. L. Physics as a decision theory. **European Journal of Operational Research**, p. 98 – 104, 1990.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process In Conflict Management. **International Journal of Conflict Management**, p. 47 – 68, 1990.

SAATY, T. L. What Is Relative Measurement ? The Ratio Scale Phantom. **Mathematical and Computer Modelling**, p. 1 – 12, 1990.

SAATY, T. L. A Ratio Scale Metric and the Compatibility of Ratio Scales: The Possibility of. **Applied Mathematics Letters**, p. 51 – 57, 1994.

SAATY, T. L. Homogeneity and clustering in AHP ensures the validity of the scale. **European Journal of Operational Research**, p. 598 – 601, 1994.

SAATY, T. L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. **Journal of Mathematical Psychology**, p. 234 – 281, 1997.

SAATY, T. L. Ranking by Eigenvector Versus Other Methods in the Analytic Hierarchy Process. **Applied Mathematics Letters**, p. 121 – 125, 1997.

SAATY, T. L. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. **European Journal of Operational Research**, p. 85 – 91, 2003.

SAATY, T. L. Priority As Dominance In Derived Measurement: Invariance Of The Principal Eigenvector. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, p. 185 – 195, 2003.

SAATY, T. L. Why the Magic Number Seven Plus or Minus Two. **Mathematical and Computer Modelling**, p. 233 – 244, 2003.

SAATY, T. L. Decision Making – The Analytic Hierarchy And Network Processes (AHP/ANP). **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, p. 1 – 35, 2004.

SAATY, T. L. Making And Validating Complex Decisions With The AHP/ANP. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, p. 1 – 36, 2005.

SAATY, T. L. Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. **European Journal of Operational Research**, p. 557 – 550, 2006.

SAATY, T. L. Time dependent decision-making; dynamic priorities in the AHP/ANP: Generalizing from points to functions and from real to complex variables. **Mathematical and Computer Modelling**, p. 860 – 891, 2007.

SAATY, T. L. Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. **RACSAM - Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Fisicas y Naturales. Serie A. Matematicas**, p. 251 – 318, 2008.

SAATY, T. L. On the Measurement of Intangibles. A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons. **Notices of the American Mathematical Society**, p. 192 – 208, 2013.

SAATY, T. L. The Modern Science of Multicriteria Decision Making and Its Practical Applications: The AHP/ANP Approach. **Operations Research**, p. 1101–1118, 2013.

SAATY, T. L.; OZDEMIR, M. Negative Priorities in the Analytic Hierarchy Process. **Mathematical and Computer Modelling**, p. 1063-1075, 2003.

SAATY, T. L.; PENIWATI, K.; SHANGA, J. S. The analytic hierarchy process and human resource allocation: Half the story. **Mathematical and Computer Modelling**, p 1041–1053, 2007.

SAATY, T. L.; SHANG, J. S. Group decision-making: Head-count versus intensity of preference. **Socio-Economic Planning Sciences**, p. 22 – 37, 2007.

SAATY, T. L.; SHIH, H.-S. Structures in decision making: On the subjective geometry of hierarchies and networks. **European Journal of Operational Research**, p. 867 – 872, 2009.

SAATY, T. L.; TARIZAWA, M. Dependence and independence: From linear hierarchies to nonlinear networks. **European Journal of Operational Research**, p. 229 – 237, 1986.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. Dispersion of group judgments. **Mathematical and Computer Modelling**, p. 918 – 925, 2007.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. The possibility of group choice: pairwise comparisons and merging functions. **Social Choice and Welfare**, p. 481 – 496, 2012.

SAATY, T. L.; ZOFFER, H. J. Negotiating The Israeli–Palestinian Controversy From A New Perspective. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, p. 5 – 64, 2011.

SALGADO, E. G. In: **Modelo de Referência para Processos de Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos em Empresas de Base Tecnológica: Estudos de Casos Múltiplos com Decisão Multicriterial**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

SCALA, N. M.; RAJGOPAL, J.; NEEDY, K. L. Managing Nuclear Spare Parts Inventories: A Data Driven Methodology. **Ieee Transactions On Engineering Management**, v. 61, p. 28-37, 2014.

SHAO, Y. J. et al. Study on countermeasures of the maintenance spares storage based on AHP. PROCEEDINGS OF THE 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONIC & MECHANICAL ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY (EMEIT-2012), 2012.

SHARAF, M. A.; HELMY, H. A. A classification model for inventory management of spare parts. PROCEEDINGS OF THE 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION, INDUSTRIAL ENGINEERING, DESIGN AND CONTROL (PEDAC), v. 20, p. 375-382, 2001.

STOLL, J. et al. Criticality analysis of spare parts management: a multi-criteria classification regarding a cross-plant central warehouse strategy. **German Academic Society for Production Engineering**, v. 9, p. 225-235, 2015.

SUN, X. Simulations on the Spare Parts Inventory Management of Equipment Maintenance in manufacturing enterprise based on Flexsim. **Advances In Manufacturing Science And Engineering**, PTS 1-4, p. 3181-3186, 2013.

SYNTETOS, A. A.; BOYLAN, J. E.; CROSTON, J. D. On the categorization of demand patterns. **Journal of the Operational Research Society**, v. 56, p. 495-503, 2005.

TRATAR, L. F. Joint optimization of demand forecasting and stock control parameters. **International Journal Production Economics**, v. 127, p. 173-179, 2010.

VIVEROS, P. et al. A creative risk analysis algorithm to support the spare part decision. **Safety, Reliability And Risk Analysis: Beyond The Horizon**, p. 1953-1960, 2014.

VIVEROS, P. et al. A Support System for Selecting the Most Suitable Spare Parts Strategy. **Engineering Asset Management - Systems, Professional Practices And Certification**, p. 19-29, 2015.

WI, N. G. A simple classifier for multi-criteria ABC analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 177, p. 344-353, 2007.

ZHOU, P.; FAN, I. Note on multi-criteria ABC inventory classification using weighted linear optimization. **European Journal of Operational Research**, v. 182, p. 1488-1491, 2006.

ANEXO A - ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi desenvolvido na década de 70 pelo Prof. Thomas L. Saaty para resolver problemas complexos de decisão multicritério. Quando construímos uma hierarquia, segundo (SAATY, 1990), nós devemos incluir os detalhes suficientes para:

- representar o problema de uma forma meticulosa, o mais profundo possível, porém sem perder a sensibilidade para perceber a mudança de outros elementos;
- considerar o ambiente em volta do problema;
- identificar as questões ou atributos que contribuem com a solução e;
- identificar os participantes associados com o problema.

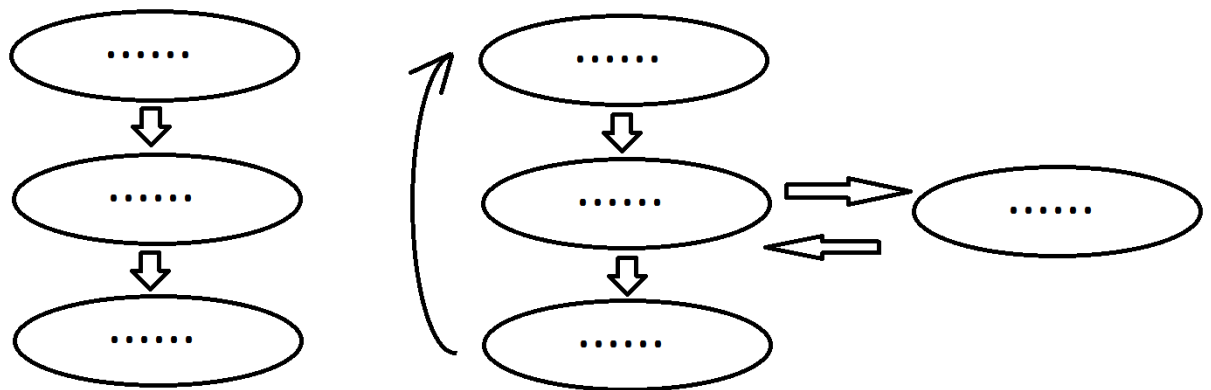
Ainda segundo o mesmo autor, as tarefas de listar e organizar as metas, atributos, questões e partes interessadas em uma hierarquia, vão servir para dois propósitos:

- 1) Providenciar uma visão geral das complexas relações inerentes na descrição do problema e;
- 2) Auxiliar o decisor na avaliação de questões em cada nível com a mesma medida, possibilitando a comparação dos elementos de forma precisa.

Hierarquia é uma estrutura simples usada para representar o mais simples tipo de função (contextual ou semântica) de dependência de um nível ou componente de um sistema em relação a outro nível em uma forma sequencial. É também uma forma conveniente de decomposição de um problema complexo na busca de respostas, do tipo causa e efeito, em etapas formando uma corrente linear. (SAATY, 1987).

O resultado desta abordagem é assumir a independência funcional de uma parte da hierarquia a partir de todos os níveis inferiores. Quando a estrutura hierárquica envolve dependência funcional, ocorrendo feedback entre os grupos (clusters), é necessário organizar uma representação em redes, o que poderá ser resolvido pelo método Analytic Network Process (ANP). (SAATY e TARIZAWA, 1986)

Fig. 7 – Hierarquia linear e hierarquia não linear



Fonte: Autoria própria.

O método AHP consiste em quatro etapas:

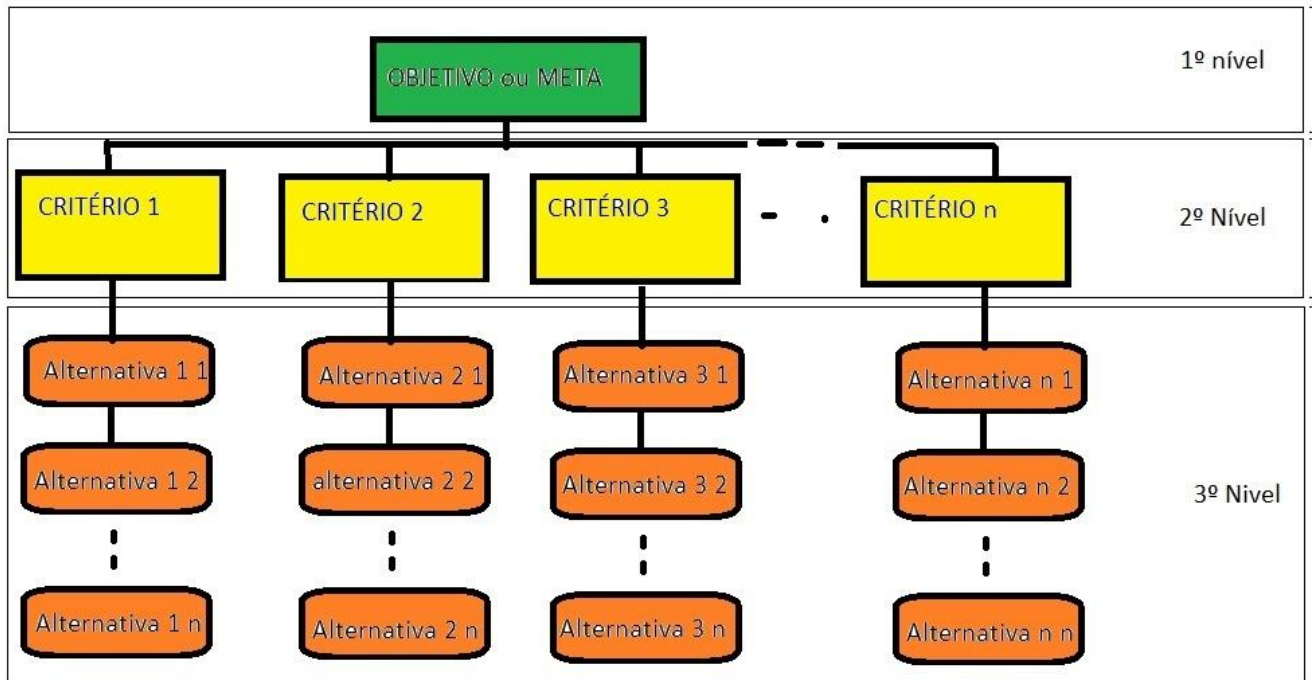
- 1 – modelagem;
- 2 - comparação dos critérios e das alternativas em pares para obtenção das prioridades;
- 3 - obtenção das prioridades globais;
- 4 - verificação da consistência e análise de sensibilidade

Na etapa 1, chamada **modelagem**, o problema é dividido em três partes, ou níveis, formando assim uma estrutura hierárquica. Cada critério, cada propriedade ou característica e suas alternativas serão distribuídas da seguinte forma:

- O nível 1 é dedicado ao foco do problema, isto é, ao objetivo que se pretende alcançar com a resolução do problema. Na estrutura hierárquica, fica no topo;
- O nível 2 são identificados todos os critérios que estão relacionados com o problema, estes critérios dispostos lado a lado na estrutura hierárquica, logo abaixo do objetivo. Podemos identificar critérios que são subdivididos em um nível abaixo, o que caracteriza um subcritério; os elementos que possuem uma característica mais abrangente do problema podem ser alinhados em um mesmo nível, ao passo que os elementos que possuem características de uma visão mais especializada serão inseridos em níveis inferiores, sendo caracterizado como um sub-nível.

- No nível 3 preenchemos as alternativas para cada critério, então na estrutura hierárquica estas são colocadas abaixo de cada critério.

Figura 8– Estrutura hierárquica genérica



Fonte: Autoria própria.

Na etapa 2, temos a realização da **comparação** de todos os critérios (e posteriormente alternativas) par a par, por meio de uma série de julgamentos. Quando nós mensuramos algum objeto ou um fenômeno qualquer, com relação a uma propriedade, normalmente utilizamos uma escala conhecida para este propósito. O AHP é rigorosamente preocupado com o uso de escala de medida, pois uma vez estabelecida a relação de proporção entre um grupo de objetos em relação a uma determinada propriedade.

Uma escala de medida é constituída a partir dos seguintes elementos: um conjunto de elementos, um conjunto de números e o mapeamento dos objetos aos números. Uma escala padrão é utilizada para construir o restante dos números da escala de forma que qualquer objeto ou evento seja devidamente medido conforme esta escala, respeitando assim os padrões adotados, ou seja, as relações numéricas do novo elemento a ser medido em relação ao padrão.

Existe também a escala de medição relativa, que é utilizada geralmente para mensurar propriedades em que não existe um padrão de medição, por exemplo, amor, política, medo. Estas são chamadas de propriedades intangíveis, que são muito mais utilizadas por nós mesmos, sem tomarmos conhecimento disso. Um aspecto a ser notado é que as escalas de medição padrão podem ser transformadas em escala relativa, bastando fazer a divisão por um valor constante conhecido. Este processo de conversão nos dá uma pista sobre a diferença entre estes dois tipos de escala.

A escala relativa de medição de uma propriedade é válida para um conjunto específico de dados, ao passo que a escala padrão pode ser aplicada para outros dados a serem estudados. A escala relativa é, segundo (SAATY, 1990) essencial para representar prioridade ou importância se for gerada através de observações e julgamentos.

Os julgamentos são obtidos a partir de comparações par a par. Uma das utilizações da hierarquia é que é permitido tomar foco em julgamentos separados para cada par de propriedades (critérios ou alternativas) para se fazer uma boa decisão. A forma mais precisa de julgamentos é fazê-los em pares de elementos e compará-los aos outros elementos através de operações aritméticas, segundo (SAATY, 1990).

O julgamento tem por finalidade comparar duas atividades (critérios), selecionando a que tem maior importância ou preferência e, além disso, mensurar a “força” com que um elemento domina o outro. (SAATY, 1977)

Segundo o mesmo autor citado anteriormente, se, por exemplo, for comparado um conjunto de n elementos, nomeando-os de $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ e a massa em kg de cada um deles sendo: $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$. O valor de comparação de:

A_1 com A_2 será: $W_1 \setminus W_2$

A_1 com A_3 será: $W_1 \setminus W_3$

Portanto: A_1 com A_n será: $W_1 \setminus W_n$

Então a representação de todas as comparações poderá ser representada por uma matriz, em que para cada linha, será destinado à um único critério, sendo comparado com os demais, então será:

Tabela 17 – Matriz de comparações genérica

	W_1	W_2	W_3	...	W_n
W_1	W_1 / W_1	W_1 / W_2	W_1 / W_3	...	W_1 / W_n
W_2	W_2 / W_1	W_2 / W_2	W_2 / W_3	...	W_2 / W_n
W_3	W_3 / W_1	W_3 / W_2	W_3 / W_3	...	W_3 / W_n
...	...	...	...	...	...
W_n	W_n / W_1	W_n / W_2	W_n / W_3	...	W_n / W_n

Da matriz anterior, (SAATY, 1977) também atestou que podemos notar o seguinte: multiplicarmos esta matriz pelo vetor transposto:

$$W^T \equiv (W_1, \dots, W_n)^T \quad (1)$$

Vamos obter o vetor nW . Então:

$$Aw = nw \quad (2)$$

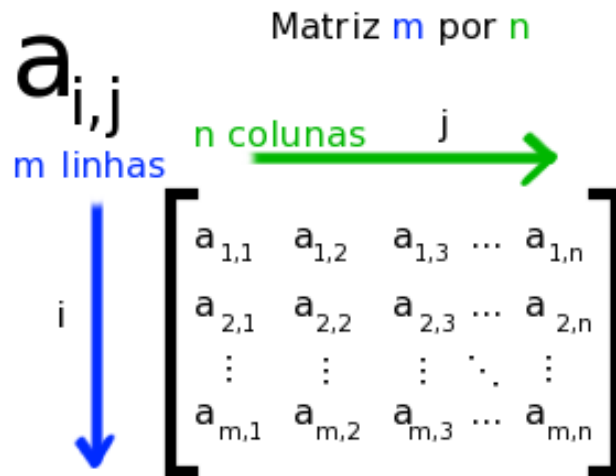
A solução da equação $Aw = nw$, chamada de autovetor de A , possui somente valores positivos e é única. Para tanto, é necessário normalizar, fazendo a divisão de cada elemento pela soma de todos.

Segundo Saaty (1977), a matriz possuirá valores positivos para quaisquer valores inseridos e satisfaz a propriedade de reciprocidade, ou seja:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (3)$$

Em outras palavras, se julgamos que uma atividade é α vezes mais importante que outra, se, por exemplo, as atividades estão na posição a_{23} , então a posição na matriz correspondente ao inverso será a_{32} e terá valor igual a $1/\alpha$

Figura 9 : matriz de comparações



Fonte: Autoria própria.

Deste modo podemos deduzir que, através do princípio da reciprocidade, os elementos acima da diagonal principal serão idênticos aos seus respectivos inversos, então o número necessário de julgamentos para uma matriz será:

$$\text{Número de julgamentos} - NJ = n \cdot \frac{(n-1)}{2} \quad (4)$$

Apresentado por Saaty (1977) a escala foi testada e comparada com outras escalas. Em sua argumentação, as pessoas não possuem uma precisão nos seus julgamentos, porque os sentimentos experimentados por elas não são passíveis de obedecer a uma fórmula exata, então nós esperamos que os julgamentos possam conter uma parcela de erro nos dados de julgamento. Para suprir esta necessidade, uma escala numérica poderá ser utilizada para traduzir os sentimentos qualitativos em um valor quantitativo, desde que atenda aos seguintes requisitos:

- 1- Possibilitar diferentes sentimentos pelas diversas pessoas, quando elas fazem comparações.
- 2- Se nós enumerarmos os valores da escala como: $x_1, x_2, \dots, x_p$ então,

$$x_{i+1} - x_i = 1 \quad (5)$$

sendo $i = 1, \dots, p-1$

Saaty (2003) afirmou que, estudos de psicólogos com a habilidade da mente humana demonstraram que o ser humano, na média, não consegue lidar com mais que 7 (+ / -) 2 julgamentos simultaneamente sem que haja enganos. Desta forma a escala proposta por Saaty (1977) tem como proposta para seu valor inicial $x_1 = 1$ para o caso de valores idênticos na comparação, e a escala variando de 1 a 9 , conforme a tabela 3:

Tabela 18 – Escala Fundamental de Saaty

Intensidade	definição
1	Dois objetos possuem a mesma importância;
3	Um elemento é um pouco mais importante do que outro;
5	Um elemento é visivelmente mais importante do que outro;
7	Um elemento é muito mais importante do que outro;
9	Um elemento é absolutamente mais importante do que outro;
2, 4, 6, 8	Estes valores intermediários poderão ser utilizados havendo necessidade

Fonte: Adaptado de (SAATY, 1977)

A terceira etapa é o teste de consistência. Quando muitos dados são comparados sucessivamente, podemos cometer erros de julgamento devido à falta de dados precisos, definição mal formulada ou até mesmo falta de atenção por parte do julgador. Podemos aplicar este teste de consistência para identificar se existe alguma contradição no conjunto de julgamentos. O Índice de Consistência, ou *Consistency index* (CI) é obtido como:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

, em que $\lambda_{\max}$ é o maior autovalor da matriz de comparações.

O Índice de Consistência, ou *consistency ratio* (CR) é obtido por $CR = CI / RI$ sendo RI o índice randômico, obtido de (SAATY, 1977):

Tabela 19 - índice randômico

n	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

,Fonte: obtido de (SAATY, 1977)

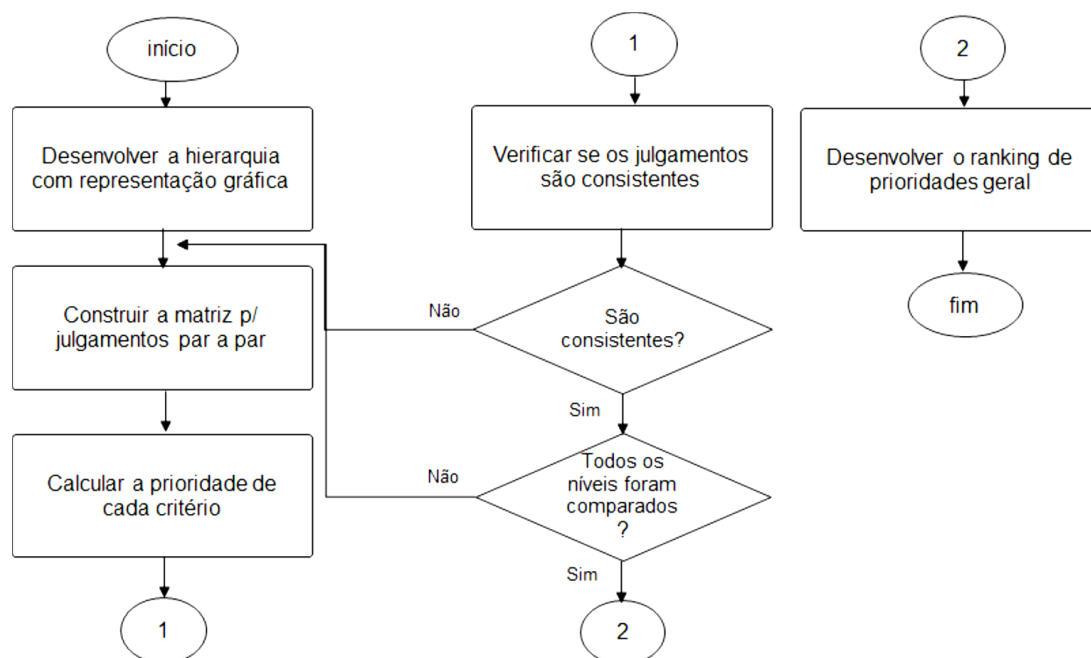
Para valores de CR próximos ou menores que $IC \leq 0,10$, as comparações podem ser aceitas, caso contrário, as comparações devem ser revisadas para melhorar a consistência.

A quarta etapa pode ser opcional na resolução do problema apesar de ser útil. Nesta etapa, pode ser executado um teste de sensibilidade, quando algum dado de entrada é levemente alterado para observar o impacto no resultado. Por meio dessa técnica, podemos estabelecer em quais faixas uma determinada alternativa é viável (mantendo-se as outras alternativas fixas) para formulação de cenários, que auxilia na tomada de decisão perante um conjunto de alternativas pois normalmente não temos uma precisão nos dados de entrada do problema.

Quando a análise de sensibilidade não resulta em alteração do resultado, chamamos o modelo de robusto.

A seguir apresentamos um fluxograma para descrever as etapas de desenvolvimento do método:

Figura 10 – Fluxograma da aplicação do AHP.



Fonte: (KRIGUER, MIZUNO e SALOMON, 2014)

O método AHP tem sido amplamente estudado há mais de 30 anos e surgiram aplicações em diversos ramos como educação, engenharia, administração de empresas, administração pública, indústria e esportes, conforme foi apresentado nos estudos de Steuter e Na (2003), Vaidya e Kumar, (2006) e Subramanian e Ramanathan (2012).

A grande variedade na aplicação é explicada pela simplicidade do método, que foi integrado com outras técnicas de computação, surgindo alguns softwares comerciais no mercado como, por exemplo, EXPERTCHOICE, SUPERDECISIONS.