

**PAMELA GONÇALVES DA SILVA ROMERO**

**Pesquisa bibliográfica sobre o método Analytic Hierarchy Process na indústria**

**Pamela Gonçalves da Silva Romero**

**Pesquisa bibliográfica sobre o método Analytic Hierarchy Process na indústria**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica

Orientador (a): Prof. Dr. Valério Antonio Pamplona Salomon

Guaratinguetá - SP  
2021

R762p Romero, Pamela Gonçalves da Silva  
Pesquisa bibliográfica sobre o método Analytic Hierarchy Process na indústria / Pamela Gonçalves da Silva Romero – Guaratinguetá, 2021.  
55 f. : il.  
Bibliografia : f. 56-60

Trabalho de graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2021.  
Orientador: Prof. Dr. Valério Antônio Pamplona Salomon

1. Processo decisório por critério múltiplo. 2. Inteligência competitiva (Administração). 3. Indústria automobilística. I. Título.

CDU 65.012.4

Luciana Máximo

Bibliotecária-CRB-8/3595

**PAMELA GONÇALVES DA SILVA ROMERO**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
“GRADUADO (A) EM ENGENHARIA MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO

Prof. Dr. Celso Dr. Celso Eduardo Tuna  
Coordenador

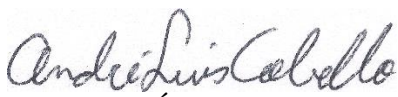
**BANCA EXAMINADORA:**



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



Prof. Dr. FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS  
UNESP-FEG



Eng. ANDRÉ LUIS COBELLO  
Membro Externo

Janeiro de 2021

## **DADOS CURRICULARES**

**PAMELA GONÇALVES DA SILVA ROMERO**

**NASCIMENTO** 16.04.1997 – São Paulo / SP

**FILIAÇÃO** Thyrso Manoel Fortes Romero  
Eliete Virginia Gonçalves da Silva Romero

Dedico este trabalho de modo especial, à minha irmã e aos meus pais, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar ao meu orientador, Prof. Dr. Valério Antônio Pamplona Salomon, o qual sem sua orientação, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível;

à minha irmã, Paloma, que jamais deixou de me motivar e me ajudar mesmo à distância, sem sua dedicação e auxílio, este trabalho não seria finalizado;

aos meus pais Eliete e Thyerso, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos;

aos meus queridos amigos da faculdade, Julia Corrêa, Karen Souza, Laís Zanardi, Brisa Martinuzi, João Vítor Romero, Gabriel Garcia, Friedrich Giatti, Matheus Pedrosa, Mário Kosokabe, Pedro Campos, Pedro Falleiros, Pedro Perez, Renan Camargo, Rodrigo Gomes, que durante todos os anos de estudo estiveram do meu lado me apoiando e muitas vezes cuidando de mim;

a minhas queridas amigas Bruna Mattioli e Olgata Silva, a qual mesmo a distância estiveram junto comigo em todos os momentos;

a todos os professores que contribuíram para a minha formação por todo conhecimento adquirido. Sem vocês eu não teria concluído esta etapa;

aos funcionários da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar,

aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento.

“O insucesso é apenas uma oportunidade  
para recomeçar com mais inteligência”

Henry Ford



## RESUMO

No mundo altamente competitivo as empresas são obrigadas transformarem seus sistemas de produção para serem mais flexíveis e ágeis, necessitando tomar decisões cada vez mais rápidas e assertivas. O Analytic Hierarchy Process (AHP) tem sido uma das ferramentas de tomada de decisão dos múltiplos critérios que se qualificam como as mais utilizadas em diversas áreas, como psicologia, administração, saúde, engenharia e aplicações industriais. Uma pesquisa bibliográfica qualitativa restrita a análise estudos de caso foi adotada como estratégia de pesquisa para identificar tendências e padrões da implementação do método AHP na indústria. O AHP se mostrou viável em diversas formas na aplicação industrial, com maior incidência na automotiva. Foi possível constatar uma tendência do emprego do método em questão para problemas de seleção e ordenação; o uso de time de especialistas e literatura e como fonte do critério; bem como o número de alternativas ser sempre menor ou igual a cinco. Considera-se como padrão a implementação do julgamento de grupo como sendo AIJ; o número de critérios ser sempre igual ou superior à quantidade de alternativas; e ainda considerar a análise de sensibilidade como sendo outro possível padrão, a qual tende a assegurar a consistência de suas soluções.

**PALAVRAS-CHAVE:** AHP. Analytic Hierarchy Process. MCDM. Multi-Criteria Decision Making. Indústria. Automotiva. Fonte dos critérios.

## **ABSTRACT**

In the highly competitive world, companies are forced to transform their production systems to be more flexible and agile, making increasingly assertive and quick decisions. The Analytic Hierarchy Process (AHP) has been one of the decision-making tools of the multiple criteria that qualify as the most used in several areas, such as psychology, administration, health, engineering, and industrial applications. A qualitative bibliographic search restricted to the analysis of case studies was adopted as research strategy to identify trends and patterns from the implementation of the AHP method in the industry. AHP proved to be viable in several ways in industrial application, with a greater incidence in automotive industry. It was possible to verify a trend in the use of the method in question for problems of selection and ordering; the use of a team of experts and literature as the source of the criterion; and the number of alternatives is always less than or equal to five. Is considered as standard group judgment being AIJ; the number of criteria is always equal to or greater than the number of alternatives; and sensitivity analysis is also considered as another possible standard, which tends to ensure the consistency of its solutions.

**KEYWORDS:** AHP. Analytic Hierarchy Process. MCDM. Multi-Criteria Decision Making. Industry. Automotive. Source of criteria.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Fluxograma procedimento metodológico de pesquisa.....	20
Figura 2 - Principais diferenças AHP e ANP: (a) hierarquia (AHP); (b) rede (ANP).....	23
Figura 3 - Matriz de julgamentos genérica.....	28
Figura 4 - Estrutura AHP artigo ID5.....	38
Figura 5 - Estrutura AHP artigo ID9.....	40
Figura 6 - Estrutura AHP artigo ID12.....	41
Figura 7 - Estrutura AHP artigo ID26.....	42
Figura 8 - Estrutura AHP artigo ID28.....	43
Figura 9 - Estrutura AHP artigo ID29.....	44
Figura 10 - Ranking dos fornecedores baseados nos subcritérios .....	47
Figura 11 - Análise de sensibilidade dos critérios principais do modelo .....	49
Figura 12 - Risco social agregado da cadeia de suprimento das bobinas de aço .....	51
Figura 13 - Distribuição dos riscos sociais ao longo da cadeia de suprimentos.....	52
Figura 14 - Fluxograma principais resultados e conclusões.....	55

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Artigos que Mencionam as Palavras-Chaves do Protocolo de Pesquisa.....	33
Quadro 2 - Primeiro Ciclo de Extração de Informações dos Artigos Seleccionados .....	34
Quadro 3 - Artigos Seleccionados da Indústria Automotiva .....	37
Quadro 4 -Resumo dos Aspectos Gerais dos Artigos Discutidos.....	45
Quadro 5 - Estrutura do Emprego do Método AHP nos Artigos Analisados.....	45
Quadro 6 - Resumo aspectos mais específicos dos artigos analisados.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala Fundamental de Saaty .....	28
Tabela 2 - Índice Aleatório (RI).....	30

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACR	Automotive Components Remanufacturing
AHP	Analytic Hierarchy Process
AIJ	Aggregating Individual Judgements
AIP	Aggregating Individual Priorities
AMD	Apoio Multicritério à Decisão
ANP	Analytic Network Process
ASR	Assessing Social Risk
DM	Decision Makers
ELECTRE	Elimination Et Choice Translating Reality
FAHP	Fuzzy Analytic Hierarch Process
FST	Fuzzy Set Theory
GSS	Green Supplier Selection
ICT	Information and Communications Technology
IoT	Internet of Things
MABAC	Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MAUT	Multi-Attribute Utility Theory
MCDA	Multiple Criteria Decision Analysis
MCDM	Multiple Criteria Decision-Making
NFC	Natural Fiber Composites
NFRPC	Natural Fiber Reinforced Polymer Composites
OEM	Original Equipment Manufacturer
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation
RR	Rank Reversal
SS	Supplier Selection
VIKOR	Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
WASPAS	Weighted Aggregated Sum-Product Assessment

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E QUESTÕES DE PESQUISA	15
1.2	OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	17
1.3	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO DE PESQUISA	18
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	20
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	22
2.1	MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO	22
2.1.1	Analytic Network Process (ANP)	23
2.1.2	Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)	24
2.1.3	Analytic Hierarchy Process (AHP)	25
2.1.3.1	Tipos de Problema Envolvendo AHP	26
2.1.3.2	Estruturação de Hierarquias	27
2.1.3.3	Cálculos de Priorização	27
2.1.3.4	Tipos de Medição: Absoluta e Relativa	30
2.1.3.5	Agregação de Valores: AIP e AIJ	30
2.1.3.6	Tipos de Síntese: Normal e Ideal	31
2.1.3.7	Análise de Sensibilidade	32
<b>3</b>	<b>ANÁLISE DOS ARTIGOS</b>	33
3.1	ESTRUTURA DO EMPREGO DO AHP	37
3.2	ASPECTOS ESPECÍFICOS	45
3.3	CONTRIBUIÇÕES E CORRELAÇÕES ENTRE ARTIGOS	52
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	55
4.1	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E CONSIDERAÇÕES	55

4.2	SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO .....	56
-----	---	----

<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>57</b>
--------------------------	-----------



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E QUESTÕES DE PESQUISA

Os séculos XX e XXI são períodos da indústria em que ocorreram uma série de transformações, caracterizadas pela modificação da matriz energética utilizada na transformação da matéria-prima em mercadorias, além de drasticamente modificar o estilo de vida da população. De fato, as indústrias passaram e ainda estão passando por três revoluções industriais (às vezes denominadas de Indústria 1.0, 2.0 e 3.0) (CRAINER, S., 2019).

Exemplo disso seria a própria transição da agricultura para a sociedade industrial (Indústria 1.0), da Indústria 1.0 para a 2.0, seguindo para a 3.0 que foi bem reconhecida e aceita pela sociedade. Da mesma forma, a transição da Indústria 3.0 para a Indústria 4.0 requer uma extensa análise para entender as mudanças consideradas irreversíveis (OZTMEL; GURSEY, 2018).

A Primeira Revolução Industrial ocorreu na Inglaterra em meados do século XVIII, sendo fortalecida pela invenção do motor a vapor. Como consequência de tais inovações, a indústria artesanal e o trabalho manual foram substituídos pela produção mecânica, utilizando energia de água e vapor (ŚLUSARCZYK, 2019).

Na segunda metade do século XIX, houve a Segunda Revolução Industrial na Europa e nos Estados Unidos. Nesse período, a produção em massa foi realizada com a ajuda da energia elétrica (XU, L.; XU, E.; LI, L., 2018). Para atender à crescente demanda, uma gama de tecnologias na indústria e mecanização foi desenvolvida, como uma linha de montagem com operação automatizada, permitindo um aumento no desempenho. Ademais, houve uma série de desenvolvimentos de programas de gerenciamento que permitiram aumentar a eficiência das instalações de fabricação (THANGARAJ; NARAYANAN, 2018).

A Terceira Revolução Industrial começou em meados do século XX e introduziu automação e tecnologia microeletrônica na fabricação. Esses avanços nas tecnologias de fabricação estavam intimamente relacionados às “*Information and Communications Technology*” (ICT) ou Tecnologias da Informação e Comunicação. Nesse contexto, o avanço das ICT estava no centro de todas as principais mudanças do paradigma de fabricação (XU, L.; XU, E.; LI, L.:2018).

O desenvolvimento de novas tecnologias tem sido o principal impulsionador do movimento para a Indústria 4.0. (THANGARAJ; NARAYANAN, 2018). O termo Indústria 4.0, ou Quarta Revolução Industrial, surgiu no século XXI, e pode ser resumido como sendo a

proposta de conectar pessoas, sistemas e máquinas em um processo produtivo, melhorando assim a logística de produção e utilização de recursos, diminuindo as margens de erros e utilização de matéria prima, trazendo novos conceitos de tecnologia como: Internet das Coisas (*IoT – Internet of Things*), comunicação entre máquinas (M2M), Impressão 3D, entre outros. (Roblek *et al.*, 2016).

A Indústria 4.0 estava e ainda está associada a muitas oportunidades e benefícios, como produção em massa altamente flexível, redução de custos de complexidade, surgimento de serviços e modelos de negócios totalmente novos, coordenação em tempo real e otimização de cadeias de valor (GALATI; BIGLIARDI, 2019). Tornou-se um paradigma de produção promissor que alcançou fortemente muitas indústrias automotivas e de manufatura nos últimos anos (MÜLLER, 2019). De acordo com Müller (2019), a engenharia mecânica e de instalações com especial atenção ao campo da logística, indústria automotiva, e a área agrícola seriam as mais afetadas pela indústria 4.0 (RAMADAN, 2019).

Com a evolução da indústria, tornando-se cada vez mais dinâmica e inovadora, a tomada de decisão também precisou se reestruturar. O processo de tomada de decisão era demorado, e atualmente, um dos principais princípios da Indústria 4.0 é a descentralização da tomada de decisões, permitindo que diferentes subsistemas tomem algumas decisões automaticamente, sem desvios na direção do foco do objetivo organizacional (GILCHRIST, 2016).

Exposto os vários aspectos que são contemplados nesse processo de escolha, o Analytic Hierarchy Process (AHP) tem sido uma das ferramentas de tomada de decisão dos múltiplos critérios que se qualificam como as mais utilizadas (VAIDYA, KUMAR, 2006), pois é uma ferramenta simples e poderosa (FORMAN; GASS, 2001). Trata-se de um método de medição por meio de comparações de pares e se baseia nos julgamentos de especialistas para derivar escalas de prioridade (SAATY, 2008). Thomas L. Saaty construiu este método buscando uma prática sistemática para definir prioridades e apoiar tomadas de decisão complexas (FORMAN, GASS, 2001). Na verdade, a estrutura hierárquica da metodologia AHP é capaz de medir e sintetizar uma variedade de fatores de um complexo processo de tomada de decisão em tal formato, tornando simples a combinação das partes em um todo.

Com as grandes mudanças nos negócios e nas organizações, o processo de tomada de decisão tornou-se uma parte integrante das operações e da gestão das atividades, com o objetivo de conseguir um processo sistemático e melhores resultados (AKDERE, 2011). No mundo altamente competitivo de hoje, a produção das empresas deve adotar novas estratégias para expandir seus produtos e serviços. A aplicação dessas estratégias obriga as empresas a

transformar seus sistemas de produção para serem mais flexíveis e ágeis, considerando o referido dinamismo em suas tomadas de decisão (PEREIRA; ROMERO, 2017).

A fim de atingir esse objetivo, é necessário usar informações em tempo real da produção e equipamento de transporte no processo de tomada de decisão (PEREIRA; ROMERO, 2017). Surge, portanto, a necessidade de se desenvolver algo que possibilite uma análise rápida da situação e que consiga captar a intuição, julgamento e experiência de quem está tomando a decisão, definindo assim os problemas, desenvolvendo soluções e implementando-as eficientemente (BHUSHAN; RAI, 2004).

Devido a esse dinamismo na tomada de decisões no contexto fabril e considerando que existem métodos de decisão multicritério, como o método AHP, que podem sustentar decisões mais rápidas e assertivas, surgem os seguintes questionamentos: quais são os métodos de tomada de decisão mais implementados nas empresas, são métodos de decisão multicritério? Há algum tipo de tendência ou padrão de implementação do método AHP na indústria?

Estas foram as questões de pesquisa que motivaram o desenvolvimento deste trabalho, analisando estudos de caso em que aplicaram o método Analytic Hierarchy Process (AHP), o qual possibilita sustentar a tomada de decisões assertivas. Escolheu-se a indústria automotiva como foco do presente trabalho, uma vez que esta indústria sempre foi líder em inovação (FORD, 1926), inclusive no quesito da variação da implementação do método AHP.

## 1.2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

Buscando respostas à questão de pesquisa enunciada na seção anterior, este trabalho teve como objetivo geral identificar o uso do método Analytic Hierarchy Process em aplicações industriais.

Particularmente, os objetivos específicos foram:

- a) averiguar quais os resultados obtidos a partir da medição do AHP em casos reais de indústrias no período de 2015 a 2019;
- b) identificar semelhanças e diferenças do emprego do método AHP na área industrial no decorrer deste período de 5 anos;

O método AHP, desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1970, é muito utilizado para a tomada de decisões complexas com aplicação em diversas áreas, como política de governo; cuidados de saúde; aplicações em engenharia e administração; e sistema de inovação e negócios (LUIZ; MAIA, 2014). A aplicação de algum método MCDA afeta positivamente o

processo decisório nas organizações, avaliando qualitativamente e quantitativamente as diferentes alternativas, e facilitando a uma decisão consensual de todos os tomadores de decisão (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005).

Na pesquisa realizada por Rodriguez, Costa e Carmo (2013) foi feito um mapeamento da produção científica divulgada em importantes periódicos publicados no Brasil sobre a aplicação de Métodos de Auxílio Multicritério à Decisão (AMD) à modelagem de problemas de Planejamento e Controle da Produção. Confirmou-se a aplicação de AMD ou MCDA, para resolução de problemas relacionados a: Controle da produção; Gestão da cadeia de suprimentos; Gestão de manutenção; Gestão de projetos; logística de distribuição; Modelos de estoques; Gestão de riscos; Planejamento das necessidades de materiais; e Planejamento de Layout. As metodologias de análise multicritério configuram-se em importante ferramenta de suporte ao processo de tomada de decisão, pois, além do suporte matemático, essas técnicas proporcionam meios para o entendimento adequado do problema, avaliação das alternativas em função de um conjunto de critérios, considerando o sistema de preferência dos decisores, e facilitar a análise e discussão dos resultados.

### 1.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO DE PESQUISA

Ao considerar os procedimentos técnicos, conforme explica Gil (2000), uma pesquisa pode ser: bibliográfica, documental, experimental, estudo de caso, pesquisa *ex-post facto*, pesquisa-ação ou pesquisa participante. O presente trabalho corresponde a uma pesquisa bibliográfica, sendo definida como aquela que proporciona um amplo alcance de informações, possibilitando a utilização de dados dispersos em inúmeras publicações, bem como auxiliando na construção, ou na melhor definição do quadro conceitual que envolve o objeto de estudo proposto (GIL, 1994 apud LIMA; MIOTO, 2007, p.40). Realizar pesquisa bibliográfica é localizar e consultar nas fontes escritas as informações pertinentes ao tema proposto, coletando dados úteis para embasar, complementar e responder a um problema pela utilização de bibliografias já publicadas. Desse modo, para Gil (2002, p. 44), pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos, sendo que toda pesquisa busca uma contribuição ou uma resposta ao problema proposto.

O presente trabalho possui como objeto de estudo artigos científicos restritos à estudos de caso da indústria automotiva em que aplicaram o método AHP, e dispõe de uma abordagem qualitativa, uma vez que a realidade subjetiva artigos envolvidos na pesquisa é considerada

relevante e contribui para o seu desenvolvimento. A pesquisa qualitativa é, segundo Van Maanen (1979), um guarda-chuva que abriga uma série de técnicas de interpretação que procuram descrever, decodificar, traduzir, e consideram o entendimento ao invés da frequência da ocorrência das variáveis de determinado fenômeno (CAUCHICK-MIGUEL, 2018, p. 57).

Portanto, uma pesquisa bibliográfica qualitativa restrita a análise estudos de caso foi aplicada como estratégia de pesquisa, o que possibilita obter diferentes respostas para a pergunta problema, expandindo o conhecimento sobre o AHP. As etapas que envolveram o desenvolvimento deste trabalho podem ser descritas, conforme definido por Petticrew e Roberts (2006), em: definição inicial, a qual contempla a definição da pergunta problema e do protocolo de pesquisa; pesquisa, a qual realizou a seleção dos artigos, extração de dados e análise; e, por fim a avaliação, que abrange as conclusões e relatório final.

A primeira etapa buscou definir a pesquisa problema e esclarecer os critérios a serem definidos e medidos no método AHP. O protocolo de pesquisa consistiu em: ferramentas para acesso aos bancos de dados científicos (*Science Direct*); definição de palavras-chaves (“AHP” e “*criteria/critério*” tanto nos títulos dos artigos pesquisados, bem como em seus resumos, quer sejam de língua portuguesa ou inglesa); delimitação do escopo da pesquisa (Indústria); artigos que contenham estudos de caso reais, não exemplos; referências às decisões baseadas em diferentes critérios (MCDM); publicações não anteriores à 2015. A pesquisa destes artigos ocorreu em outubro de 2019. Por meio desses critérios, foi determinado a quantidade de artigos que mencionam as palavras-chaves e escopo de pesquisa, conforme Quadro 1.

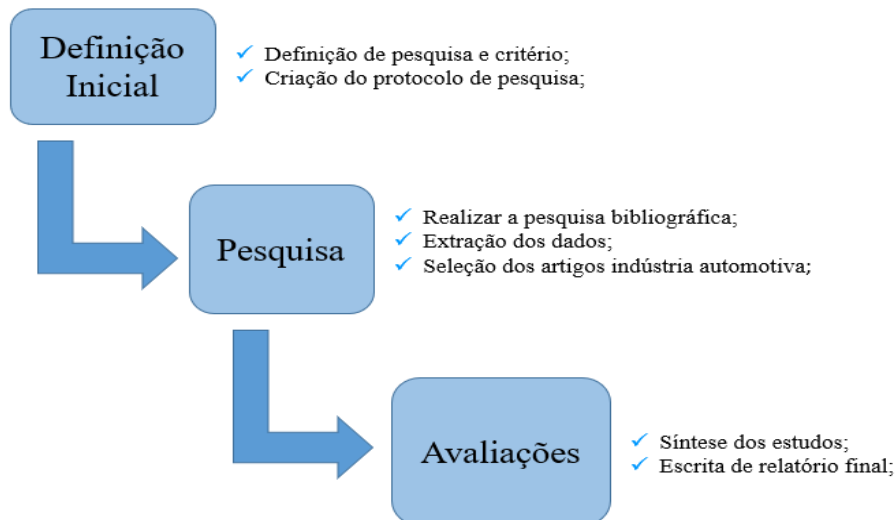
O primeiro ciclo de extração de dados incluiu na tabulação das seguintes informações: ano da publicação; periódico no qual foi publicado; assunto do estudo (indústria); tipo de problema estudado (seleção, ordenação, classificação, descrição); país ou região do estudo de caso; fonte do critério (literatura, especialistas, time de especialistas externo, indicadores organizacionais), julgamento do grupo (*AIJ* ou *AIP*), escala do método e técnica utilizada. Após análise dos resumos dos artigos, inicialmente, foram rejeitados os artigos que não estavam de acordo com os critérios estipulados, conforme Quadro 2.

Uma vez aprofundada a análise de tais artigos, pode-se perceber que a maior incidência do uso do método AHP, ainda que sob diversas formas, foi no setor automotivo, representando 22,22% (6 artigos) do total de artigos, razão pela qual foi eleito para se estudar o AHP, conforme Quadro 3. Por fim, foi escrito um relatório final no qual foram realizadas avaliações quanto aos estudos de caso averiguados, sintetizando os principais resultados obtidos nos artigos, sobretudo em relação a estrutura emprego do método AHP (quantidade de alternativas,

critérios, subcritérios utilizados), bem como em relação à análise de sensibilidade performada, quando aplicável.

Na Figura 1 pode-se observar um resumo contendo as principais etapas descritas no procedimento metodológico de pesquisa.

Figura 1- Fluxograma procedimento metodológico de pesquisa



Fonte: Autoria própria (2020).

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho estrutura-se em mais três capítulos. O Capítulo 2 consiste ao referencial teórico, composto das definições gerais dos métodos de análise multicritério, com uma breve explicação sobre os métodos Analytic Network Process (ANP), fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) e Analytic Hierarch Process (AHP). Na sequência, aprofunda o conhecimento no método de decisão multicritério Analytic Hierarch Process (AHP), discutindo acerca dos tipos de problema envolvendo tal método, as estruturas de hierarquias, cálculos de priorização, tipos de medição existentes (absoluta e relativa), tipos de síntese existentes (normal e ideal), bem como a análise de sensibilidade.

O Capítulo 3 dedica-se à análise dos artigos estudados, descrevendo a estrutura do emprego do AHP em cada um destes (quantidade de alternativas de cada problema, bem como o número de critérios, subcritérios empregados para cada artigo, quais as fontes dos critérios, o tipo do julgamento do grupo). Na sequência, é explicado os aspectos específicos de cada artigo bem como as contribuições e correlações existentes entre eles.

O Capítulo 4 encerra o trabalho com as considerações finais sobre a aplicação do método AHP como ferramenta de apoio para tomada de decisão e sugestões para novos projetos de pesquisa dando continuidade a este trabalho, sendo seguido pelas referências bibliográficas consultadas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Como referencial teórico do presente trabalho, foram selecionadas duas obras que discutem o tema central aqui abordado. No caso, tratam-se dos trabalhos *Multi-Criteria Methods and Techniques Applied to Supply Chain Management*<sup>1</sup> e *Applications and Theory of Analytic Hierarchy Process - Decision Making for Strategic Decisions*<sup>2</sup>.

A escolha por tais obras se pautou no fato de que os conteúdos possuem alto teor didático e linguagem inteligível sobre os conceitos e métodos abordados neste trabalho. Ressalva-se, contudo, que muito embora ambas as obras sejam voltadas para a área de *Supply Chain*, discutem e exploram com extrema qualidade técnica assuntos que são aplicáveis para a indústria de um modo geral.

### 2.1 MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Multi-Criteria Decision Making (MCDM) combina o desempenho de uma alternativa a partir de diversos critérios de natureza contraditória, qualitativa e/ou quantitativa; e que resulta numa solução necessariamente consensual entre tais critérios. (SEYDEL, 2006) (Kolios *et al.*, 2016). Portanto é possível oferecer maior versatilidade ao tomar decisões nos casos em que se verifica a presença de mais de um critério.

Na década de 1960, muitas técnicas e abordagens do MCDM foram desenvolvidas, propostas e implementadas com sucesso em diferentes áreas de aplicação (DADDA; OUHBI, 2014) (Mardani *et al.*, 2015). Isso porque esta análise para ser executada utiliza conhecimento adquirido em diversas áreas do conhecimento, dentre as quais podemos citar: psicologia, com o uso da teoria da decisão comportamental; ciência da informação, com a tecnologia da computação, sistemas de informação; além de economia e matemática. Note-se que este conhecimento multidisciplinar assume uma maior relevância nos estágios iniciais, sobretudo para uma compreensão mais apropriada das perspectivas dos próprios tomadores de decisão (“*decision makers*” ou “*DM*”) ao aplicarem o método MCDM.

É importante entender quais as principais vantagens de cada método, bem como a sua forma de aplicação, pois além do uso exclusivo de um único método de decisão multicritério, pode haver junções formando os mais variados arranjos entre os métodos. Segundo Poherkar

---

<sup>1</sup> Salomon, Valerio. Multi-criteria methods and techniques applied to supply chain management. 1. ed. London: InTech Open, 2018. 168p

<sup>2</sup> Felice, F.; Petrillo, A.; Saaty, T. L.. (Org.). Applications and Theory of Analytic Hierarchy Process - Decision Making for Strategic Decisions. 1ed.Rijeka: InTech, 2016.



e Ramachandran (2004), podem existir estas referidas combinações dos vários métodos, tendo em vista que estas metodologias partilham características comuns como critérios contraditórios, unidades incomparáveis e dificuldade em selecionar alternativas. Neste trabalho, o conceito de arranjo dos mais variados métodos MCDM denominou-se “escala”. Portanto, entende-se como escala a combinação do método AHP associado a algum método MCDM.

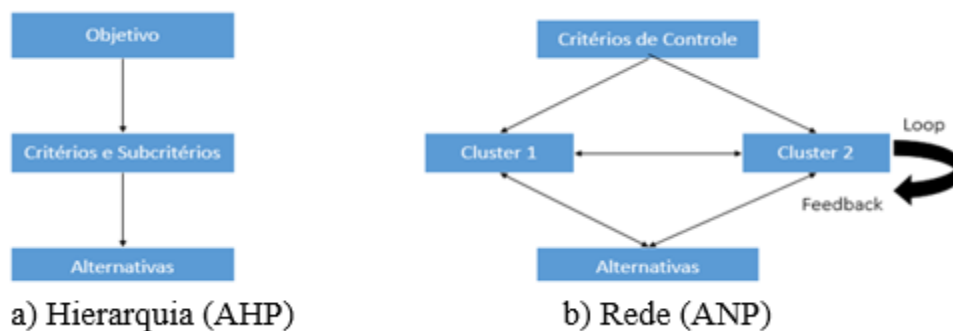
No presente trabalho, pode-se notar uma maior incidência de alguns métodos, destacando-se o AHP; ANP; *fuzzy* AHP. Em razão de tanto, estes métodos passam-se a serem abordados de modo aprofundado.

### 2.1.1 Analytic Network Process (ANP)

O método ANP, de modo simplificado, corresponde a uma generalização do AHP que utiliza um sistema de redes ao invés de hierarquias, avaliando todos os possíveis critérios e atributos de um problema e suas interligações (CARLUCCI, 2010). Isto é, o ANP é uma versão do AHP que, por meio de etapas adicionais, levam em consideração as relações internas entre os elementos (TAVANA; YAZDANI; DI CAPRIO, 2017).

Também desenvolvido por Saaty, o ANP surgiu devido à necessidade de solucionar questões cada vez mais complexas e sistemáticas, utilizando-se sobretudo nos problemas em que a estrutura hierárquica não poderia ser aplicada, tendo em vista interações relevantes entre os critérios e clusters, incluindo também feedbacks de relações (RAVI; SHANKAR; TIWARI, 2005; SAATY; VARGAS, 2006; SAATY, 1980, 1996). A Figura 2 evidencia a diferença entre a estrutura hierárquica (2a), utilizada no *AHP*, e a estrutura em rede (2b) utilizada no *ANP*.

Figura 2 - Principais diferenças AHP e ANP: (a) hierarquia (AHP); (b) rede (ANP)



Fonte: Autoria própria (2020).

Conforme demonstra a Figura 2, aponta-se que o ANP possui uma estrutura não linear, não requerendo uma hierarquia. Em realidade, requer uma rede de elementos, possibilitando, desta forma, representar de modo mais legítimo problemas reais. Na rede, os elementos são considerados os nós de vários clusters e o nível de cada um pode simultaneamente dominar e ser dominado em comparações pareadas (SAATY, 1996, 1999).

Quando dois critérios forem comparados entre si, para cada um deles será usada uma tabela própria contendo a escala fundamental de Saaty. Independentemente do fato de que esses tipos de comparações com relação a um elemento interno não possuem relação entre si, a questão da inconsistência se torna uma preocupação mais relevante do que no AHP, uma vez que a quantidade de tabelas (matrizes) aumenta consideravelmente (ASADABADI, 2016).

### **2.1.2 Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)**

Proposta por Zadeh (1965), a teoria dos conjuntos *Fuzzy* (*Fuzzy Set Theory* - FST) tem sido usada nos mais diversos campos de pesquisa, com variáveis linguísticas, resolvendo problemas do mundo real. *FST* visa explorar formas as quais as pessoas usam para o tratamento de informações qualitativas e incertas. Esta lógica permite uma maneira simples de racionalizar com a entrada de um conhecimento vago, ambíguo e impreciso. Imprecisão é mais uma regra do que uma exceção nos problemas de engenharia. Normalmente não há uma solução bem definida e ponderada, e as restrições e consequências possíveis das ações não são conhecidas com exatidão. As variáveis linguísticas (qualitativas) são utilizadas naturalmente no processo de decisão dos gestores, porém, dada a sua alta complexidade para implementação computacional, a *FST* auxilia neste sentido (BELLMAN; ZADEH, 1970; GOGUEN, 1967; KAHRAMAN, 2008).

Na teoria clássica, ou lógica booleana, as fronteiras são bem definidas, cada termo ou declaração é verdadeiro ou falso, ou seja, quando é verdadeiro tem-se atribuído o valor 1, caso contrário 0. Em contraste, a *FST* permite que um termo seja “mais ou menos” falso ou “mais ou menos” verdadeiro, permitindo uma adesão parcial ao conjunto, levando em consideração a subjetividade humana (KAHRAMAN, 2008). Dessa forma, as nuances entre os extremos podem ser percebidas e contabilizadas durante o processo de tomada de decisão.

O AHP é um método usado para selecionar a melhor alternativa quando o tomador de decisão tem vários critérios. No AHP, várias alternativas são avaliadas, por meio de comparações pareadas, sendo que o peso do item de cada avaliação e os valores de avaliação para cada alternativa são encontrados para cada item avaliado, porém o resultado das

comparações aos pares não é 0,1, mas o grau é dado por um valor numérico (ARULDOSS; LAKSHMI; VENKATESAN, 2013). No *fuzzy* AHP, o peso é expresso pela medida necessária ou medida de possibilidade e, além disso, pela condição convencional de que o total de vários pesos 1 pode ser relaxado.

Isto é, nas comparações entre pares difusos podem existir muitos critérios, contudo, se algum critério tem menor importância entre os demais, este pode ser avaliado como zero, diferentemente de outros métodos. No método clássico do AHP, os valores e operações determinísticos não permitem uma situação "com zero ponderado", mas se um critério for avaliado como menos importante em relação aos demais, o peso numérico dos critérios será próximo de zero. O *fuzzy* AHP, por sua vez, pode simplesmente ignorar os critérios que têm menor importância.

Esse fato pode ser uma vantagem para o *fuzzy* AHP, uma vez que apresenta informações adicionais para o tomador de decisão, dentre as quais não há diferença entre a existência e a inexistência de tal critério. Portanto, o tomador de decisão pode se concentrar em critérios mais importantes.

Métodos clássicos e difusos ("*fuzzy*") não são rivais entre si, mas a aplicação de cada um deles depende da disponibilidade das informações/avaliações. Sendo estas certas e bem definidas, o método clássico deve ser escolhido; caso contrário, deve-se escolher o método *fuzzy* AHP.

Nos últimos anos, devido à singularidade das informações, o desvio provável deve ser integrado aos processos de tomada de decisão e, em virtude de tanto, para cada método de escolha, uma versão difusa é desenvolvida. Como resultado natural desta necessidade, temos o método *fuzzy* AHP, exigindo-se, assim, que as avaliações linguísticas e subjetivas ocorrem em forma de questionário; sendo que cada variável linguística tem seu próprio valor numérico na escala predefinida. Já no AHP clássico, tais valores numéricos são números exatos, enquanto no método *fuzzy* AHP, são intervalos entre dois números.

### **2.1.3 Analytic Hierarchy Process (AHP)**

O método AHP foi criado na década de 1970 por Thomas L. Saaty, enquanto trabalhava no Departamento de Defesa dos Estados Unidos, sendo o método posteriormente aperfeiçoado e tendo a primeira publicação da teoria sido feita na década de 1980 (GOMES; ARAYA; CARIGANO, 2004).

Esse método consiste na criação de um modelo que reflete o funcionamento da mente humana na avaliação das alternativas diante de um problema complexo de decisão. Além disso, o método permite lidar com problemas que envolvem tantos valores tangíveis (concretos) como intangíveis (abstratos), graças a sua capacidade de criar medidas para as variáveis qualitativas, com base em julgamentos subjetivos emitidos pelos decisores (SAATY, 1991). De acordo com Paoli & Moraes (2011), o método AHP também permite medir o impacto dos diferentes critérios considerados no problema decisório em relação ao objetivo geral; sendo um dos métodos mais conhecidos e utilizados da escola americana (Gomes *et al.*, 2002).

#### 2.1.3.1 Tipos de Problema Envolvendo AHP

Existem dois tipos de problemas de MCDM: os problemas discretos e os problemas de otimização. Os problemas discretos ocorrem quando há um número pequeno de soluções alternativas factíveis em relação a um número finito de alternativas. Nos problemas de otimização, por sua vez, há um número elevado de alternativas, geralmente, identificadas por meio de equações, que tendem ao infinito (DOUMPOS; ZOPOUNIDIS, 2002). Para fins do presente trabalho, nos dedicaremos somente aos problemas discretos.

No contexto da classificação dos problemas envolvendo o AHP quanto à situação de decisão, Roy e Boyssou (1985) agrupam as situações em quatro problemáticas: (1) escolha; (2) classificação; (3) ordenação ou ranqueamento, e; (4) descrição (MIRANDA; ALMEIDA, 2003). Entende-se que o Problema de Escolha (“*choice*”) seria identificar um subconjunto, o menor e mais limitado possível, com as soluções/alternativas mais satisfatórias para o problema. Esta situação é denotada por Problemática  $P.\alpha$  (alfa).

Já o Problema de Classificação (“*classification/sorting*”) visa distribuir as soluções/alternativas em categorias predefinidas. Neste sentido, a intenção é classificar as alternativas em grupos homogêneos pré-estabelecidos e que guardem algum tipo de ordem de preferência ou importância entre si. Isto é, o que acontece em classificações do tipo ABC de Pareto: a classe A possui maior importância, valor ou quantidade, correspondendo a 20% do total; já a classe B possui importância, quantidade ou valor intermediário, correspondendo a 30% do total, e; finalmente, a classe C possui menor importância, valor ou quantidade, correspondendo a 50% do total. Esta situação é denotada por Problemática  $P.\beta$  (beta). Nota-se, portanto, que nos problemas de classificação, há uma estratificação entre as

alternativas/soluções, que, dentro uma mesma classe, não há divergências internas de grau de importância.

O Problema de Ordenação (“*ranking*”), busca estabelecer uma ordem de preferência para um dado conjunto de alternativas. Dessa forma, há uma lista ordenada destas alternativas, das melhores para piores, havendo, assim, divergências de grau de importância bem delimitadas entre todo o conjunto de alternativas. Esta situação é denotada por Problemática P. $\gamma$  (gama).

Há ainda a classificação por Problema de Descrição (“*description*”), na qual se são descritas as soluções/alternativas, formalmente, com suas consequências em termos de qualidade e quantidade, ou propõe-se um procedimento o qual pode ser usado, repetidamente. O principal propósito é identificar e descrever as principais características que distinguem as alternativas. Esta situação é denotada por Problemática P. $\delta$  (delta).

#### 2.1.3.2 Estruturação de Hierarquias

Este é um dos passos mais importantes do processo de tomada de decisão, pois é no desenvolvimento desta estruturação que se torna possível obter a percepção das relações existentes nos elementos que compõe cada situação específica (SAATY, 1990). Deve-se ter o problema em análise bem definido, para que a hierarquia construída represente o objetivo, os critérios, subcritérios e alternativas. Portanto, é importante incluir um grau de detalhe capaz de representar o problema minuciosamente, porém sem excessos, a fim de evitar perder sensibilidade à mudança de elementos; considerar o ambiente que o envolve; identificar os atributos que contribuem para a solução; identificar os participantes associados com o problema.

#### 2.1.3.3 Cálculos de Priorização

Comparações aos pares são fundamentais no uso do AHP. As comparações a par em que são usados os julgamentos dos *decision makers* são representadas por números retirados da Escala Fundamental de Saaty, pois é necessário haver uma métrica a fim de se comparar variáveis qualitativas, já que não é exequível comparar-se diretamente parâmetros abstratos (preferências, gostos, etc.) como é o caso da comparação entre variáveis quantitativas (preço, tempo, potência, etc.) onde consegue-se ordenar os valores numéricos sem incluir juízos de valor em relação aos números obtidos.

A Escala Fundamental de Saaty determina justamente esse grau de importância que um elemento tem sobre o outro, ou seja, se em uma comparação for atribuída uma importância de 7 significa que um elemento é muito fortemente importante ou dominante face a outro.

Tabela 1 - Escala Fundamental de Saaty

Intensidade da Importância	Definição	Explicação
1	Importância Igual	Dois elementos contribuem igualmente para o objetivo
2	Fraca	
3	Importância Moderada	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente um elemento face ao outro
4	Mais Moderada	
5	Importância Forte	Experiência e julgamento favorecem fortemente um elemento face ao outro
6	Mais Forte	
7	Importância Muito Forte ou Demonstrada	Um elemento é favorecido muito fortemente face a outro; a sua dominância é demonstrada na prática
8	Muito Muito Forte	
9	Importância Extrema	A evidência que favorece um elemento face a outro é da mais alta ordem possível de afirmação.
<b>Recíprocos</b>	Se ao elemento i é atribuído um dos valores acima mencionados quando comparado com j, então a j será atribuído o valor inverso quando comparado com i	

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

Na construção da matriz de prioridades, portanto, as linhas e colunas são preenchidas com as comparações entre elementos do mesmo nível, em relação ao nível seguinte. Por exemplo, os critérios em um primeiro nível da hierarquia são comparados entre si em relação ao objetivo da hierarquia, e, em seguida, os subcritérios são comparados relativamente ao critério correspondente do nível acima e assim sucessivamente até se chegar ao último nível de comparações. As alternativas são comparadas face aos subcritérios do nível imediatamente acima. Estes três níveis de comparações (critérios, subcritérios e alternativas) originam matrizes distintas (SAMPAIO, 2018).

O número de julgamentos necessários para uma matriz particular da ordem n, sendo n o número de elementos pertencentes dessa matriz, é  $n(n-1) / 2$ , porque os elementos recíprocos e a diagonal principal dos elementos são iguais à unidade.

Figura 3 - Matriz de julgamentos genérica

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \text{ onde:}$$

$$a_{ij} > 0 \Rightarrow \text{positiva}$$

$$a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1$$

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \Rightarrow \text{recíproca}$$

$$a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} \Rightarrow \text{consistência}$$

Fonte: Marins *et al.* (2009).

Nesta matriz genérica  $A$ , representam-se por  $i$  as linhas e por  $j$  as colunas, sendo o valor  $a_{ij}$  a importância relativa atribuída. A diagonal principal será sempre preenchida com o valor numérico 1, pois qualquer elemento, comparado a si mesmo, é igualmente importante. A leitura da matriz deve ser realizada sempre da linha (subíndice  $i$ ) para a coluna (subíndice  $j$ ), de maneira a identificar a dominância de um elemento perante outro. Se um elemento numa linha  $i$  é mais importante que um elemento numa coluna  $j$ , então o elemento da coluna é subentendido como a unidade e a matriz, sendo preenchida com um valor numérico  $a_{ij}$  superior a 1 e de acordo com a correspondência da tabela. Quando a comparação inversa é realizada, o elemento menos importante recebe o inverso da importância atribuída no primeiro caso, ou seja, é inserido na matriz o valor recíproco de  $1/a_{ij}$ . Por exemplo se  $a_{12} = 7$ , consequentemente  $a_{21} = 1/7$ .

Após calcular a matriz de prioridades, é calculado o autovetor da matriz, este que permite determinar qual a importância relativa de cada elemento em comparação. Tal vetor representa os pesos relativos dos elementos no resultado total do objetivo e é obtido por meio da normalização da matriz de comparação. Portanto, deve-se: i) somar os valores de cada coluna da matriz de comparações; ii) dividir cada elemento de uma coluna pelos respectivos resultados das adições feitas em i). Logo, os autovetores representam numericamente a divisão entre essa soma de elementos em cada linha normalizada pelo número de elementos nessa linha, de modo que os autovetores devem ser determinados para todas as matrizes de comparação existentes.

Considerando que as opiniões fornecidas são subjetivas, é necessário verificar a coerência das avaliações. Caso a Razão de Consistência (CR) seja superior a 0,1 as opiniões deverão ser revistas e todo o processo realizado novamente. Esta razão é calculada pela equação (1):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

O Índice de Consistência (CI) de uma matriz é definido pela equação (2):

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - N)}{(N-1)} \quad (2)$$

Sendo  $\lambda_{\max}$  o vetor próprio da matriz e  $N$  a sua dimensão, ou seja, o número de critérios, subcritérios ou alternativas em análise e para se obter o  $\lambda_{\max}$  devem ser seguidos os seguintes passos: i) calcular um vetor, denominado vetor das somas ponderadas, através multiplicação de cada coluna da matriz de comparação pelo respectivo peso do autovetor; ii) os elementos do vetor das somas ponderadas, obtido anteriormente, devem ser divididos pelo

respectivo peso de cada critério obtido nos autovetores da matriz; iii) calcular a média dos valores obtidos, encontrando a resposta final.

Uma informação necessária para os cálculos seria o Índice Aleatório ou *Random Index* (RI), que representa o índice de consistência de uma matriz gerada com aleatoriedade. Na Tabela 2, encontram-se os respectivos valores que embasam os dados mencionados previamente.

Tabela 2 - Índice Aleatório (RI)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

É importante verificar o impacto da consistência na escala, expresso pelo valor obtido para a Razão de Consistência. Segundo Saaty (1988), as ideias podem ser aceitas como uma parte consistente do entendimento existente ou podem ser inconsistentes com o que já é conhecido ou aceito. Nesse caso, o sistema de entendimento e prática é estendido e ajustado para incluir as novas ideias. Se CR for menor do que 10%, significa que o julgamento está no máximo 10% incoerente. Caso haja uma inconsistência superior a 10%, deve-se reavaliar todas as premissas a fim de erradicar essas incoerências.

#### 2.1.3.4 Tipos de Medição: Absoluta e Relativa

Resumidamente, pode-se afirmar que há dois tipos de medição: a absoluta e a relativa. Ambas as formas são válidas e seu emprego varia quanto ao grau de imparcialidade da escolha, tendo em vista que na medição absoluta, as alternativas estão não-emparelhadas, são comparadas a um nível padrão e pode-se adotar quantas alternativas desejar. Já na medição relativa, as alternativas estão emparelhadas, há uma limitação na quantidade de alternativas selecionadas, bem como se trata de uma medição mais suscetível a preconceitos.

#### 2.1.3.5 Agregação de Valores: AIP e AIJ

O AHP sintetiza todos os julgamentos, usando a estrutura dada pela hierarquia, para obter a prioridade geral dos elementos. Existem várias maneiras possíveis de agregar informação quando mais que um (talvez muitos) indivíduos participam de um processo de



decisão, incluindo: i) agregação individual de julgamentos para cada conjunto de comparações pareadas em uma 'hierarquia agregada' (“*Aggregating Individual Judgments*”); ii) sintetização de cada uma das hierarquias do indivíduo e agregação das prioridades resultantes (“*Aggregating Individual Priorities*”); e iii) agregação individual das prioridades derivadas em cada nó na hierarquia. No presente trabalho, serão abordados os dois primeiros métodos, pois o terceiro método, é menos significativo e não é comumente utilizado. (FORMAN; PENIWATI, 1997).

No *Aggregating Individual Judgments (AIJ)*, os indivíduos agem em conjunto e reúnem seus julgamentos de tal modo que o grupo se torna um novo "indivíduo" e se comporta como tal, fazendo com que eles estejam dispostos até mesmo de abandonar suas próprias preferências (valores, objetivos) para o bem da organização. Há uma agregação sinérgica de individual de julgamentos. Identidades individuais são perdidas com todos os estágios de agregação e síntese da hierarquia produzindo as prioridades do grupo.

Observa-se no *AIJ* que, enquanto as identidades individuais são perdidas ao sintetizar a hierarquia, elas são mantidas para cada cluster de elementos em que um indivíduo fornece julgamentos. Inconsistências no conjunto de julgamentos de um indivíduo podem ser examinadas e o grupo pode solicitar que um indivíduo considere revisar um ou mais julgamentos se a inconsistência for considerada muito alta. Na mesma medida, o grupo também pode decidir excluir julgamentos de um indivíduo da média geométrica de um cluster, com base na razão de inconsistência. (FORMAN; PENIWATI, 1997)

No *Aggregating Individual Priorities (AIP)*, indivíduos agem por si próprios, com diferentes sistemas de valores, e há uma preocupação com a alternativa resultante de cada prioridade individual. Uma agregação de cada indivíduo às prioridades resultantes pode ser calculada usando uma média geométrica ou aritmética.

#### 2.1.3.6 Tipos de Síntese: Normal e Ideal

Baseado no exposto por Saaty (1994), a análise pode ser dada de duas formas: a síntese normal e a síntese ideal. Ambas as análises são válidas, entretanto, há uma divergência quanto ao grau de legitimidade dos resultados, tendo em vista que na síntese normal, como o próprio nome sugere, observa uma distribuição normal e é criada uma dependência entre as prioridades. Já na síntese ideal, a maior prioridade de cada critério recebe o valor máximo (1), não observando uma distribuição normal. Diante de tanto, constata-se que a primeira é indicada quando já existe uma relação de dependência entre os elementos e deseja-se

determinar qual alternativa é a melhor dentre todas as possíveis, enquanto a segunda síntese é mais apropriada quando os elementos não possuem uma relação de dependência entre si.

Com a síntese ideal, as prioridades normalmente não são distribuídas: a soma dos componentes dos vetores prioritários não será igual a um. Desse modo, a prioridade mais alta em relação a cada critério será igual a um. Normalizar prioridades cria uma dependência entre elas. No entanto, se uma alternativa antiga for excluída ou se uma nova for inserida, as prioridades normalizadas podem levar a alterações ilegítimas na classificação de alternativas, conhecida como reversão de classificação (“*Rank Reversal*” – *RR*). A reversão da classificação foi primeiramente associada ao AHP em estudos preliminares da professora Valerie Belton da Universidade de Cambridge (BELTON, 1983).

#### 2.1.3.7 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade é performada a fim de verificar a validade dos pesos dos critérios caso haja alguma mudança drástica nesta ponderação no modelo sob análise. Isto é; o modelo é sensível a pequenas mudanças nos pesos dos fatores? (AL-Oqla, *et al.*, 2015)

Isso é realizado alterando os pesos dos fatores principais para um peso exagerado inesperado com o intuito de representar uma mudança irracional em condições normais e para examinar se haverá uma alternativa dominante ou não. Ou seja, ao aumentar o peso de qualquer fator para ser dominante (ter mais de 50% da contribuição no modelo), sem tornar dominante qualquer alternativa, irá garantir a estabilidade das decisões tomadas, assegurando a insensibilidade do modelo a pequenas mudanças nos pesos dos fatores principais. Assim, a decisão será segura e estável.

### 3 ANÁLISE DOS ARTIGOS

Após aplicar o protocolo de pesquisa, houve um total de 30 artigos que estavam de acordo com os critérios previamente estabelecidos, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Artigos que Mencionam as Palavras-Chaves do Protocolo de Pesquisa

(continua)

ID	Título original	Referência	Journal
1	A fuzzy-hybrid analytic model to assess investors' perceptions for industry selection	DINCER <i>et al.</i> (2016)	DECIS SUPPORT SYST
2	Barrier Analysis for Reverse Logistics Implementation in Indian Electronics Industry using Fuzzy Analytic Hierarchy Process	PRAKASH <i>et al.</i> (2015)	PROCD SOC BEHV
3	Taking-off corporate social responsibility programs: An AHP application in airline industry	KARAMAN; AKMAN (2017)	J AIR TRANSP MA-NAG
4	Introducing a status of access to raw material resources for manufacturers of cellulosic industries	AZIZI; RAY (2014)	FOREST POLICY ECON
5	Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry	Dweiri <i>et al.</i> (2016)	EXPERT SYST APPL
6	The biorefinery transition in the European pulp and paper industry – A three-phase Delphi study including a SWOT-AHP analysis	BRUNNHOFERA <i>et al.</i> (2019)	FOREST POLICY ECON
7	Selecting sustainable supplier countries for Iran's steel industry at three levels by using AHP and TOPSIS methods	AZIMIFARD <i>et al.</i> (2018)	RESOUR POLICY
8	Tackling the fuzziness of business model concept: A study in the airline industry	VATANKHAHA <i>et al.</i> (2019)	TOURISM MANAGE
9	Applying Analytic Hierarchy Process (AHP) to choose a human factors technique: Choosing the suitable Human Reliability Analysis technique for the automotive industry	PETRUNI <i>et al.</i> (2017)	SAFETY SCI
10	Developing a sustainable development framework in the context of mining industries AHP approach	SHEN <i>et al.</i> (2013)	RESOUR POLICY
11	A multi-criteria port suitability assessment for developments in the offshore wind industry	AKBARI <i>et al.</i> (2018)	RENEW ENERG
12	Green supplier selection using multi-criterion decision making under fuzzy environment: A case study in automotive industry	GUPTA <i>et al.</i> (2019)	COMPUT IND ENG
13	Green vendor evaluation and selection using AHP and Taguchi loss functions in production out sourcing in mining industry	SIVAKUMAR <i>et al.</i> (2014)	RESOUR POLICY
14	Decision making on supplier selection based on social, ethical, and environmental criteria: A study in the textile industry	GUARNIERIA; TROJAN (2018)	RESOUR CONSERV RECY
15	A robust hybrid decision model for evaluation and selection of the strategic alliance partner in the airline industry	GARG (2015)	J AIR TRANSP MA-NAG
16	Comparative analysis of multiple criteria evaluations of suppliers in different industries	ŽAK (2015)	TRANSPORT RES
17	Application of ANP to the selection of shipping registry: The case of Taiwanese maritime industry	CHOU (2018)	INT J IND ERGONOM
18	A combined MCDM approach for evaluation and selection of third-party reverse logistics partner for Indian electronics industry	PRAKASH; BARUA (2016)	SUSTAINAB PROD CONSU
19	A framework for the analysis of socioeconomic and geographic sugarcane agro industry sustainability	NOÉ AGUILAR-RIVERA (2018)	SOCIO ECON PLAN SCI

Quadro 1 - Artigos que Mencionam as Palavras-Chaves do Protocolo de Pesquisa

(conclusão)

ID	Título original	Referência	Journal
21	An integrated multi attribute decision model for energy efficiency processes in petrochemical industry applying fuzzy set theory in Poland with use of bootstrap sampling and copula-based Monte Carlo simulation	KOPACZ <i>et al.</i> (2017)	J CLEAN PROD
22	A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique: A case study for aluminum industry	GUL; GUNERI (2015)	J LOSS PREVENT PROC
23	Potential analysis model for case specific quantification of the degree of eligibility of innovative production concepts in the process industry	WÖRSDÖRFER <i>et al.</i> (2015)	CHEM ENG PROCESS
24	Green supplier selection in straw biomass industry based on cloud model and possibility degree	LU <i>et al.</i> (2018)	J CLEAN PROD
25	Evaluation of Sustainable Development of Wooden Furniture Industry Using Multi criteria Decision Making Method	AZIZIA <i>et al.</i> (2016)	AGR AGRICULTURAL SCI
26	Predicting the potential of agro waste fibers for sustainable automotive industry using a decision making model	AL-OQLA <i>et al.</i> (2015)	COMPUT ELECTRON AGR
27	A fuzzy framework to evaluate service quality in the healthcare industry: An empirical case of public hospital service evaluation in Sicily	TONI LUPO (2015)	APPL SOFT COMPUT
28	Operation patterns analysis of automotive components remanufacturing industry development in China	TIAN <i>et al.</i> (2017)	J CLEAN PROD
29	Assessing social risks of global supply chains: A quantitative analytical approach and its application to supplier selection in the German automotive industry	ZIMMER <i>et al.</i> (2017)	J CLEAN PROD
30	Energy diagnosis and structuring an energy saving proposal for the metal casting industry: An experience in Colombia	CARABALÍA <i>et al.</i> (2017)	APPL THERM ENG

Fonte: Autoria própria (2020).

Depois, no primeiro ciclo de extração de dados e análise dos resumos dos artigos - o qual consistiu na tabulação do ano da publicação; jornal em que foi publicado; assunto do estudo (indústria); tipo de problema estudado (seleção, ordenação, classificação, descrição); país ou região do estudo de caso; fonte do critério (literatura, especialistas, time de especialistas externo, indicadores organizacionais), julgamento do grupo (AIJ ou AIP), escala do método e técnica utilizada - inicialmente, foram rejeitados os artigos que não estavam de acordo com os critérios estipulados: três artigos foram rejeitados pelo critério de ano de publicação (um artigo do ano de 2013 e dois do ano de 2014), conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Primeiro Ciclo de Extração de Informações dos Artigos Selecionados

(continua)

Ano	ID	Journal	Tipo de problema	Indústria	País/Região	Fonte do critério	Julgamento Grupo	Escala	Técnica
2015	2	PROCD SOC BEHV	Ordenação	Eletrônica	Índia	Time Esp.	AIJ	FAHP	AHP

Quadro 2 - Primeiro Ciclo de Extração de Informações dos Artigos Selecionados

(continuação)

Ano	ID	Journal	Tipo de problema	Indústria	País/Região	Fonte do critério	Julgamento Grupo	Escala	Técnica
2015	26	COMPUT ELEC-TRON AGR	Seleção	Automotiva	Não especificado	Time Esp.	AIJ	AHP	AHP
2015	27	APPL SOFT COMPUT	Descrição	Healthcare	Itália	Time Esp.	AIJ	ServQual	AHP
2015	15	J AIR TRANSP MANAG	Seleção	Aeronáutica	Índia	Lit. e Esp.	AIJ	FTOP-SIS	AHP
2015	16	TRANSPORT RES	Ordenação	Química e de Alimentos	Polônia	Time Esp.	AIJ	ELECTRE III/IV	AHP
2015	22	J LOSS PREVENT PROC	Ordenação	Alumínio	Turquia	Time Esp.	AIJ	Fuzzy, TOP-SIS	FAHP
2015	23	CHEM ENG PROCESS	Classificação	Processos	Não especificado	Time Esp.	AIP #	AHP	AHP
2016	5	EXPERT SYST APPL	Ordenação	Automotiva	Paquistão	Lit. e Esp.	AIJ	AHP	AHP
2016	1	DECIS SUPPORT SYST	Ordenação	Companhias de estoque	Turquia	Time Esp.	AIJ #	FAHP, FTOP-SIS	AHP
2016	25	AGR AGRICULTURAL SCI	Ordenação	Móveis de madeira	Irã	Lit. e Esp.	AIJ	AHP	AHP
2016	18	SUSTAINAB PROD CONSU	Seleção	Eletrônica	Índia	Lit. e Esp.	AIJ	Fuzzy, VIKOR	AHP
2016	20	ENERG CONVERS MANAGE	Seleção	Petroquímica	Arábia Saudita	Time Esp.	AIJ	Fuzzy, TOP-SIS	FAHP
2017	9	SAFETY SCI	Seleção	Automotiva	Europa	Time Esp.	AIJ	HRA	AHP
2017	3	J AIR TRANSP MANAG	Ordenação	Aeronáutica	Turquia	Time Esp. Ext.	AIJ #	Fuzzy	AHP
2017	28	J CLEAN PROD	Ordenação	Automotiva (ACR)	China	Lit. e Esp.	AIJ	Fuzzy, G-TOP-SIS	FAHP
2017	21	J CLEAN PROD	Ordenação	Mineração de carvão	Polônia	Time Esp.	AIJ	Simulação de Monte Carlo	AHP
2017	29	J CLEAN PROD	Seleção	Automotiva	Alemanha	Ind. Org. e Time Esp.	AIJ	SEIO, SRA	FAHP

Quadro 2 - Primeiro Ciclo de Extração de Informações dos Artigos Selecionados

(conclusão)

Ano	ID	Journal	Tipo de problema	Indústria	País/Região	Fonte do critério	Julgamento Grupo	Escala	Técnica
2017	30	APPL THERM ENG	Seleção	Metal de fundição	Colômbia	Ind. Org. e Time Esp. Ext.	AIJ	AHP	AHP
2018	7	RESOUR POLICY	Seleção	Aço	Irã	Time Esp.	AIJ	AHP, TOP-SIS	AHP
2018	11	RENEW ENERG	Seleção	Eólica offshore	Reino Unido	Time Esp.	AIJ	AHP	AHP
2018	19	SOCIO ECON PLAN SCI	Classificação	Agroindústria de cana de açúcar	México	Time Esp.	AIP #	GIS	AHP
2018	14	RESOUR CONSERV RECY	Classificação	Têxtil	Brasil	Lit. e Esp.	AIJ	ELECTRE-TRI	FTO-PISIS, AHP
2018	17	INT J IND ERGONOM	Seleção	Marítima	Taiwan	Lit. e Esp.	AIP	ANP	ANP, AHP
2018	24	J CLEAN PROD	Seleção	Biomassa de palha	China	Time Esp.	AIP #	Fuzzy, Cloud Model	FAHP
2019	6	FOREST POLICY ECON	Seleção	Biorefinaria de papel e celulose	Europa	Lit. e Esp.	AIJ	SWOT, Delphi	AHP
2019	8	TOURISM MANAGE	Ordenação	Aeronáutica	Irã	Lit. e Esp.	AIJ	Fuzzy	AHP
2019	12	COMPUT IND ENG	Ordenação	Automotiva	Índia	Lit. e Esp.	AIJ	MA-BAC, WAS-PAS, TOP-SIS	AHP

Fonte: Autoria própria (2020).

Dos 27 artigos remanescentes, notou-se no primeiro ciclo de extração que havia majoritariamente problemas do tipo seleção (12) e ordenação (11), e que utilizam o *AIJ* (23) como julgamento de grupo. Ademais, houve uma predominância do uso de time de especialistas (14) e literatura e especialistas (10) como fonte do critério. Em relação a escala, verificou-se que é mais predominante o uso do AHP (6), seguido do *fuzzy* agregado com TOPSIS (4). Além disso, houve uma maior ocorrência de estudos de caso localizados na Ásia (13), seguido da Europa (9), destacando-se os países Índia (4), Irã (3), China (2). Quanto ao tipo de indústria, percebeu-se que houve uma maior incidência na automotiva (6), seguido da aeronáutica (3) e eletrônica (2). Por ser mais expressivo no setor automotivo, representando

22,2% do total de artigos, esta indústria foi eleita para se estudar os possíveis padrões/tendências existentes no AHP.

Durante a análise crítica dos estudos principais, foi verificado que houve aplicações do método para diferentes tipos de problema: dos seis artigos selecionados da indústria automotiva, três aplicaram para problemas de seleção, enquanto os três restantes para problemas de ordenação, conforme descrito no Quadro 3.

Quadro 3 - Artigos Selecionados da Indústria Automotiva

Ano	ID	Jornal	Tipo de problema	Indústria	País/Região	Fonte do critério	Julgamento Grupo	Escala	Técnica
2015	26	COMPUT ELEC- TRON AGR	Seleção	Automotiva	Não especificado	Time Esp.	AIJ	AHP	AHP
2016	5	EXPERT SYST APPL	Ordenação	Automotiva	Paquistão	Lit. e Esp.	AIJ	AHP	AHP
2017	9	SAFETY SCI	Seleção	Automotiva	Europa	Time Esp.	AIJ	HRA	AHP
2017	28	J CLEAN PROD	Ordenação	Automotiva (ACR)	China	Lit. e Esp.	AIJ	Fuzzy, G- TOPSIS	FAHP
2017	29	J CLEAN PROD	Seleção	Automotiva	Alemanha	Ind. Org. e Time Esp.	AIJ	SEIO, SRA	FAHP
2019	12	COMPUT IND ENG	Ordenação	Automotiva	Índia	Lit. e Esp.	AIJ	MA- BAC, WAS- PAS, TOPSIS	AHP

Fonte: Autoria própria (2020).

Inicialmente, foi discorrido acerca dos aspectos gerais dos artigos, como: natureza do problema; assunto e resultado imediato dos estudos de caso; além de ser analisado a estrutura do emprego do método AHP: a quantidade de alternativas de cada problema, bem como o número de critérios, subcritérios empregados para cada artigo, quais as fontes dos critérios, o tipo do julgamento do grupo. Finalmente, foram discutidos os aspectos mais específicos dos artigos, como o resultado em si atingido, as análises de sensibilidade executadas, e as contribuições dos estudos performados e correlações existentes entre estes artigos.

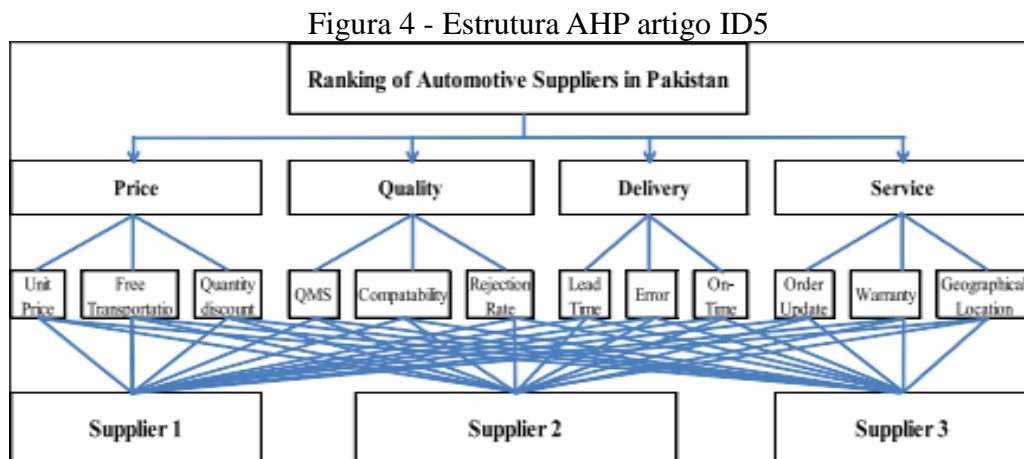
### 3.1 ESTRUTURA DO EMPREGO DO AHP

O artigo ID 5 foi classificado como um problema do tipo ordenação de seleção de fornecedor (“*Supplier Selection*” – *SS*) dentro da indústria automotiva paquistanesa. Foi

concluído pelo estudo que a ordenação dos fornecedores, em ordem decrescente, sendo esta: Fornecedor 2 (S2) > Fornecedor 1 (S1) > Fornecedor 3 (S3).

No artigo ID5, foram consideradas três alternativas as quais seriam três fornecedores distintos e não identificados. Este artigo considerou critérios de seleção de fornecedores bem definidos, como preço, qualidade, entrega e serviços mencionados por Weber *et al.* (1991). Avalia-se entrega e qualidade enquanto critérios extremamente importantes de seleção de fornecedores seguidos por serviço e preço que são consideravelmente importantes. Portanto, foram aplicados quatro critérios, os mais usuais para este tipo de problema, quais sejam: preço; qualidade; entrega e serviço.

Além desses critérios tradicionais supracitados, havia ainda um total de doze subcritérios, sendo três subcritérios para cada critério. Isto é, dentro do critério preço, haviam os subcritérios preço unitário, frete grátis, desconto de quantidade; em qualidade, existiam os subcritérios sistema de gestão da qualidade (*Quality Management System - QMS*), compatibilidade, índice de rejeição; na entrega, os subcritérios de tempo de espera (“*lead time*”), erro, pontualidade (“*on-time*”); em serviço os subcritérios correspondiam a atualização do pedido, garantia e localização geográfica.



Fonte: Dweiri *et al.* (2016).

Notou-se que a fonte dos critérios foram, num primeiro momento, a literatura existente, o que reafirma o uso de critérios clássicos para seleção de fornecedor; e, posteriormente por meio das opiniões dos especialistas das pesquisas enviadas, uma vez que foi verificado que os critérios principais são ordenados com base em tal fato.

De um total de 72 pesquisas enviadas, e 23 foram devidamente preenchidas e retornadas ao estudo. Observou-se ainda que o tipo de julgamento do grupo poderia ser classificado



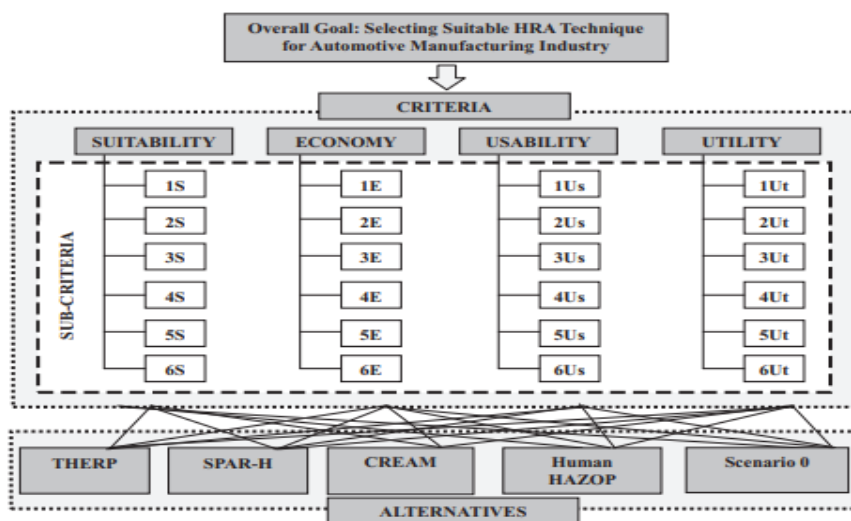
como *AII*, tendo em vista que no artigo havia certa homogeneidade no grupo de peritos, principalmente no aspecto geográfico, pois as pesquisas enviadas foram restritas às maiores cidades do Paquistão, como Karachi, Lahore, Rawalpini e Islamabad.

O artigo ID9 foi considerado um problema de seleção para escolher a melhor técnica de fatores humanos dentro da indústria automotiva. Foi concluído que o Estudo de Perigos e Operabilidade Humanos (“*Human HAZOP*”) era o melhor método de melhoria da saúde ocupacional e performance de sistema da indústria automotiva dentre as alternativas avaliadas.

Inicialmente, foram consideradas quatro alternativas que foram as mais representativas na literatura, que seriam: o Estudo de Perigos e Operabilidade Humanos (“*Human HAZOP*”), Técnica para Predição da Taxa de Erro Humano (*Technique for Human Error Rate Prediction - THERP*), a Análise Simplificada Planta de Avaliação da Confiabilidade do Risco Humano (*The Simplified Plant Analysis Risk Human Reliability Assessment - SPAR-H*) e Confiabilidade Cognitiva e Método de Análise de Erro (*Cognitive Reliability and Error Analysis Method - CREAM*). Após a definição dessas quatro alternativas, uma quinta alternativa foi acrescentada e denominada “Cenário 0”, na qual significa que nenhuma técnica documentada de *HRA* será aplicada. Houve um total, portanto, de cinco alternativas.

Foram considerados quatro critérios principais, os quais são: adaptabilidade (S); economia (E); usabilidade (Us), e; utilidade (Ut). Para cada critério, haviam seis subcritérios, os quais são, respectivamente: aplicabilidade em todo domínio da indústria automotiva (1S); aplicabilidade em todas as fases da indústria automotiva (2S); bons registros históricos de aplicação (3S); suporte de priorização para as áreas críticas ou análise de tarefas (4S); interferência na produção (5S), e; resultados incluem suporte para solicitações de avaliação de risco de reguladores nacionais (6S); custos diretos (1E), tempo para coleta de dados (2E), tempo para a análise de dados (3E), frequência da aplicação requerida (4E), possível uso de base de dados existentes (5E), níveis hierárquicos das pessoas envolvidas (6E), necessidade de treinamento para os usuários usarem o método (1Us), número de usuários envolvidos (2Us), necessidade de conhecimento prévio dos usuários (3Us), necessidade de um consultor externo (4Us), tipo de material de suporte (5Us), complexidade do método (6Us), resultado qualitativo ou semiquantitativo (1Ut), resultado quantitativo (2Ut), clareza dos resultados para entendimento e tomada de decisão (3Ut), nível de detalhes dos resultados e sua utilidade (4Ut), resultado relacionado com a produção de qualidade (5Ut), resultado relacionado com a saúde dos trabalhadores (6Ut).

Figura 5 - Estrutura AHP artigo ID9



Fonte: Petruni *et al.* (2019).

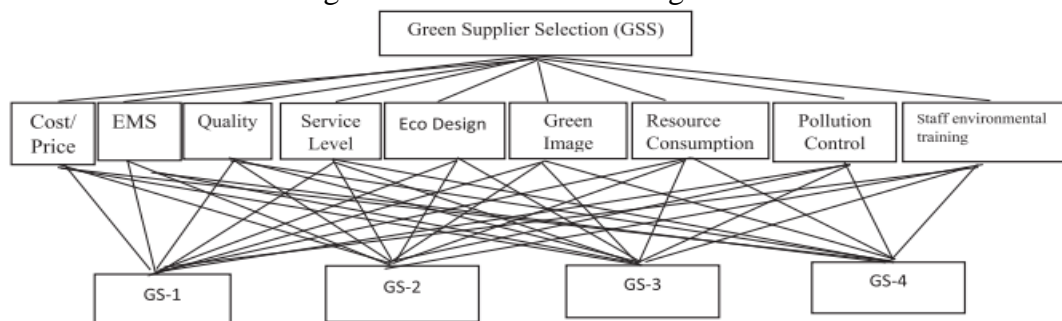
Percebeu-se que a fonte dos critérios foi desde o princípio o time de especialistas, o qual foi composto por dois grupos: o primeiro com cinco especialistas em segurança, que trabalhavam na indústria automotiva; enquanto o segundo grupo com quatro pesquisadores no domínio de Fator Humano (*Human Factor – HF*). Para selecionar os especialistas foram considerados fatores como tempo de experiência na área de segurança e na área de fator humano, bem como o grau de escolaridade. Ademais, notou-se que há certa homogeneidade nos grupos selecionados e estes apresentam o objetivo em comum de definir a melhor técnica de fatores humanos, podendo classificar a agregação de valor como sendo AIJ.

O artigo ID12 foi um estudo de caso da indústria automotiva na Índia de seleção de fornecedor sustentável (“*Green Supplier Selection*” – *GSS*). Foi concluído que a ordenação dos fornecedores, em ordem decrescente, como sendo: Fornecedor 1 (GS-1) > Fornecedor 3 (GS-3) > Fornecedor 2 (GS-2) > Fornecedor 4 (GS-4).

De acordo com Weber *et al.* (1991), a maioria da literatura considera principalmente a capacidade, custo, qualidade e entrega como os critérios mais essenciais em *SS*. Segundo (Banaeian *et al.*, 2015), (BÜYÜKÖZKAN; ÇİFÇİ, 2012), (CHEN; TSENG; LIN; LIN, 2010), consideraram tanto critérios tradicionais, quanto os critérios ambientais para a seleção de fornecedor sustentável (*GSS*). Foram concebidos, portanto, um total de nove critérios: três critérios convencionais, os quais foram preço/custo, qualidade, nível de serviço; e os seis critérios específicos para fornecedor sustentável, que seriam eco-design, imagem verde, sistema de gerenciamento ambiental, consumo de recursos, controle de poluição, treinamento ambiental da equipe. Ademais, foram concebidas quatro alternativas, quatro fornecedores

sustentáveis distintos e não identificados, e não foi definido nenhum tipo de subcritério para nenhum dos critérios principais.

Figura 6 - Estrutura AHP artigo ID12



Fonte: Gupta *et al.* (2019).

A fonte dos critérios foram a literatura e especialistas, pois verificou-se que há uma lista de critérios pré-selecionados que são determinados pela revisão da literatura e entrevista dos *experts*. Não foi mencionado a quantidade de entrevistas realizadas, nem a taxa de resposta de tais entrevistas, mas pode-se inferir que o julgamento de grupo como sendo *AIJ*, tendo em vista que havia um objetivo em comum de ordenar os fornecedores sustentáveis.

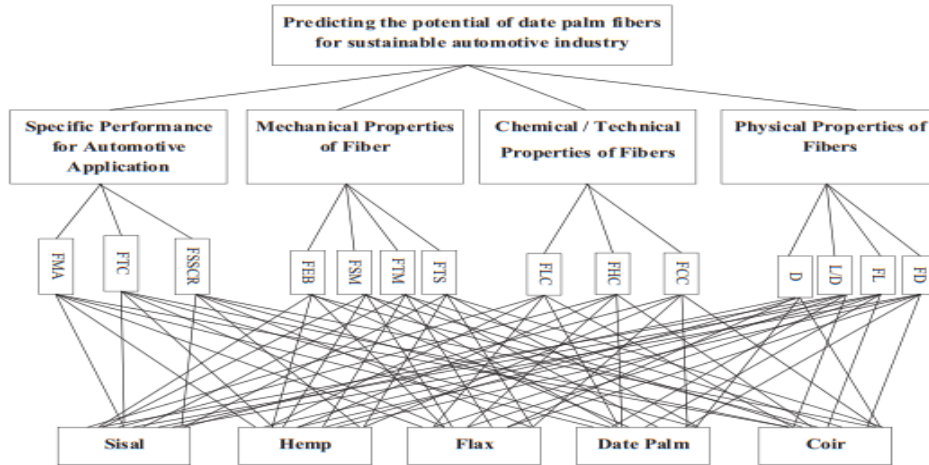
O artigo ID26 consistiu em realizar a classificação dos diferentes tipos de fibras naturais de acordo com sua adequação para a indústria automotiva sustentável. Foi concluído que a fibra de linho possuiu propriedades mais adequadas para aplicações no setor automotivo dentre as alternativas avaliadas.

Foram consideradas cinco alternativas para construção de compósitos de polímero reforçado com fibra natural (*Natural Fiber Reinforced Polymer Composites - NFRPC*) ou simplesmente NFCs, que foram: sisal (*Agave sisalana*), cânhamo (*Cannabis sativa*), linho (*Linum usitatissimum*), tamareira (*Phoenix dactylifera*) e côco (*Cocos nuciferos*).

Os atributos deste trabalho estavam relacionados às especificidades das fibras naturais, sendo selecionados quatro critérios principais: performance específica para aplicação na indústria automotiva; propriedades mecânicas; propriedades químicas/técnicas; propriedades físicas. Havia um total de quatorze subcritérios, os quais foram: absorção de umidade da fibra; condutividade térmica; módulo de elasticidade específico para relação de custo, relacionados ao critério principal de performance específica para aplicação na indústria automotiva; limite de alongamento de ruptura; módulo específico da fibra, módulo de tensão da fibra; módulo de Young ou de elasticidade, relacionados ao critério de propriedade mecânica da fibra; celulose, hemicelulose, conteúdo de lignina, relacionado ao aspecto de propriedades químicas/técnicas;

densidade, taxa de comprimento/diâmetro, comprimento da fibra, diâmetro da fibra como propriedades físicas.

Figura 7 - Estrutura AHP artigo ID26

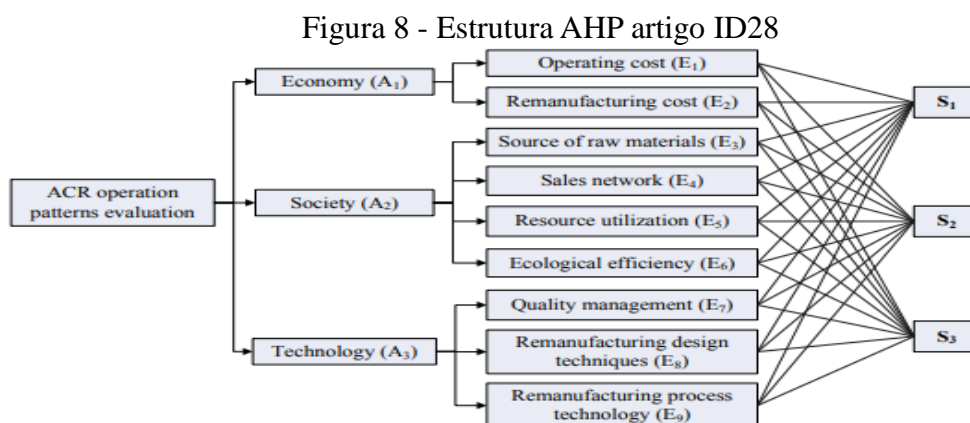


Fonte: Adaptado AL-Oqila *et al.* (2015).

Verificou-se que a fonte dos critérios foram um time de especialistas. Inicialmente, um questionário com o modelo inicial com critérios e subcritérios foi enviado para sete *experts* internacionais, todos vinculados à instituições acadêmicas, e cinco deles retornaram ao estudo. Na sequência, um questionário a fim de averiguar a comparabilidade dos critérios utilizados foi enviado para quinze especialistas de *NCF* e indústria automotiva cuidadosamente selecionados. Houve dez respostas desse segundo questionário, e foram excluídos um total de três julgamentos por apresentarem uma taxa de inconsistência superior a 10% (IC=11%, IC=12% e IC=13%). Foi possível considerar o tipo de julgamento do grupo como *AIJ*, pois a identidade e a decisão do grupo foram construídas, enquanto a identidade individual foi perdida durante cada julgamento em pares.

O artigo ID28 foi classificado como um problema do tipo ordenação, visando ranquear os padrões existentes de remanufatura de componentes automotivos (*Automotive Components Remanufacturing - ACR*) da indústria chinesa. Com base nas investigações em quatorze empresas pioneiras de ACR, e revisão da literatura (Tian *et al.*, 2014), (Zhang *et al.*, 2010, 2011), os resultados, de forma resumida, consistiram em três padrões de operação da produção ACR, isto é, seriam três alternativas para o estudo de caso: as empresas de remanufatura contratadas (S3), as empresas de remanufatura dos Fabricantes de Equipamento Original (*Original Equipment Manufacturer - OEM*) (S1) e as empresas de remanufatura independentes (S2). Na fase atual, conclui-se que a operação empresarial mais adequada para o desenvolvimento de ACR na China são, em ordem decrescente:  $S3 > S1 > S2$ .

No processo de avaliação de padrões, três critérios principais e nove subcritérios foram considerados, os quais foram: custo operacional, custo de remanufatura, relacionados ao critério economia; fonte das matérias-primas, rede de vendas, utilização de recursos, eficiência ecológica, relacionados ao fator sociedade; qualidade de gerenciamento, técnicas de design de remanufatura e tecnologia de processo de remanufatura, relacionado ao critério tecnologia.



Fonte: Adaptado Tian *et al.* (2017).

Novamente, identificou-se a fonte dos critérios formada a partir de um time de especialistas, o qual foi composto de seis *experts*: três acadêmicos que se especializaram na área de pesquisa de remanufatura; três supervisores de empresas relacionadas à área com boa reputação. Não foi definido previamente nenhum critério de seleção desses *experts*, porém, notou-se que o time de especialistas apresentava o objetivo em comum de ranquear os padrões existentes de remanufatura de componentes automotivos, podendo classificar a agregação de valor como sendo *AII*.

O artigo ID29 foi classificado como um problema do tipo seleção de fornecedor (*SS*), em que se avalia o risco social (*Assessing Social Risk – ASR*) desta escolha. Foi concluído pelo estudo que o fornecedor de bobinas alemão (*S2*) é o preferido, seguido do fornecedor austríaco (*S3*).

Para este estudo foram consideradas sete alternativas de seleção de fornecedores de bobinas de aço da indústria automotiva, de sete países distintos: Estados Unidos (*S1*), Alemanha (*S2*), Áustria (*S3*), Itália (*S4*), Japão (*S5*), China (*S6*) e Índia (*S7*).

Para esta aplicação, seis riscos sociais relevantes foram selecionados com base nos estudos de Benoît e Mazijn (2009), e Zimmer *et al.* (2016). Estes se equiparariam aos seis critérios da estrutura hierárquica do AHP: crianças e trabalho escravo (*C1*); saúde ocupacional

e segurança (C2); salários e horas trabalhadas (C3); treinamento dos trabalhadores (C4); discriminação (C5), e; liberdade de associação (C6). A fim de quantificá-los, mais de cento e cinquenta indicadores sociais acessíveis ao público de instituições renomadas, como a Organização Mundial da Saúde (OMS), a Organização Internacional do Trabalho (OIT) ou a Organização das Nações Unidas (ONU) foram coletados e filtrados em termos de integridade (número de países cobertos), credibilidade da fonte, ano dos dados e qualidade dos dados (base estatística ou especialista pesquisa).

Os quarenta e nove indicadores sociais resultantes foram analisados e avaliados por seis especialistas de montadoras e os autores em várias discussões. Com base nesta análise, dezoito indicadores foram selecionados para modelar os seis riscos sociais. Nesse sentido, os dezoito subcritérios para este problema foram: pontuação de trabalho infantil, pontuação de trabalho forçado ou não voluntário, relacionados à C1; mortalidade relacionada ao trabalho por população economicamente ativa, acidente que causa pelo menos quatro dias de ausência por população economicamente ativa, expectativa de vida, acesso a água tratável, acesso à saneamento básico, relacionados à C2; linha nacional de pobreza, PIB per capita, distribuição da renda familiar, relacionados à C3; média de anos de escolaridade, população acima de 25 anos, ambos os sexos, taxa líquida total de matrículas na educação primária, taxa de alfabetização, relacionado à C4; proporção de matrículas femininas para masculinas no ensino fundamental (%), proporção de matrícula feminina para masculina no ensino médio (%), proporção da renda nacional bruta feminina para masculina; proporção de assentos ocupados por mulheres no parlamento nacional, relacionados à C5; liberdade de associação e pontuação da negociação coletiva relacionado à C6.

Figura 9 - Estrutura AHP artigo ID29

Social risk criteria	Country indicator
Child and forced labor (C1)	Child labor score Forced or involuntary labor score
Occupational health and safety (C2)	Work-related mortality per economically active population Accident causing at least 4 days' absence per economically active population Life expectancy at birth Access to Drinking Water Access to Sanitation
Wages and working hours (C3)	National poverty line GDP per capita Distribution of family income
Training of employees (C4)	Mean years of schooling, population 25 + years, both sexes Total net enrolment ratio in primary education Literacy rate
Discrimination (C5)	Ratio of female to male primary enrollment (%) Ratio of female to male secondary enrollment (%) Ratio of female to male Gross National Income (GNI) Proportion of seats held by women in national parliament
Freedom of association (C6)	Freedom of Association and Collective Bargaining Score

Fonte: Adaptado Zimmer *et al.* (2017).

Neste caso, constatou-se que a fonte principal dos critérios foram os indicadores organizacionais, não da empresa em análise (afinal, é um estudo de caso de uma indústria automotiva alemã), mas sim de instituições internacionais renomadas. Foi considerada a opinião de seis especialistas a fim de filtrar estes indicadores de maneira mais adequada para o caso em análise e, ademais, a opinião de dez *experts* foi considerada na ponderação dos critérios. Por fim, permitiu-se concluir que o julgamento do grupo como sendo AIJ, pois havia um objetivo comum de elencar os indicadores mais adequados para averiguar o risco social da escolha do fornecedor.

A seguir, o quadro resume os aspectos gerais dos artigos discutidos, contemplando o assunto e resultado imediato do artigo.

Quadro 4 -Resumo dos Aspectos Gerais dos Artigos Discutidos

ID	Tipo de problema	Assunto	Resultado
5	Ordenação	Seleção de fornecedor indústria automotiva	$S2 > S1 > S3$
9	Seleção	Seleção da melhor técnica de fatores humanos dentro da indústria automotiva.	Human HAZOP melhor técnica
12	Ordenação	Seleção de fornecedor sustentável	$GS-1 > GS-3 > GS-2 > GS-4$
26	Seleção	Ordenação das fibras naturais baseado na adequação para indústria automotiva sustentável	Fibra de linho mais adequada
28	Ordenação	Ranquear padrões existentes de remanufatura de componentes automotivos	$S3$ (E.R. Contratadas) > $S1$ (OEM) > $S2$ (Independentes)
29	Seleção	Seleção de fornecedor avaliando risco social em bobinas de aço para indústria automotiva	Alemanha ( $S2$ ) > Áustria ( $S3$ )

Fonte: Autoria própria (2020).

O quadro abaixo contempla um resumo da estrutura do emprego do método AHP dos artigos analisados, em que foram averiguadas a quantidade de alternativas de cada problema, bem como o número de critérios, subcritérios empregados para cada artigo.

Quadro 5 - Estrutura do Emprego do Método AHP nos Artigos Analisados

ID	Alternativas	Critérios	Subcritérios
5	3	4	12
9	5	4	24
12	4	9	N/A
26	5	4	14
28	3	3	9
29	7	6	18

Fonte: Autoria própria (2020).

### 3.2 ASPECTOS ESPECÍFICOS

No artigo ID5, foi utilizado o julgamento qualitativo dos experts da indústria automotiva do Paquistão, bem como o software *Expert Choice* para calcular os resultados. Os resultados da classificação dos principais critérios foram: preço (47%); qualidade (28%); entrega (16%), e; serviço (10%), com inconsistência de 0,01. Foi concluído pelo estudo que a ordenação dos fornecedores, em ordem decrescente, é: Fornecedor 2 (S2) > Fornecedor 1 (S1) > Fornecedor 3 (S3).

Em relação à ordenação dos critérios utilizando a opinião dos peritos, entretanto, foi observado que houve uma baixa taxa de resposta das pesquisas enviadas aos especialistas. Das setenta e duas pesquisas enviadas aos *experts*, apenas vinte e três foram devidamente preenchidas; dezoito empresas informaram que devido ao grande número de solicitações não foi possível respondê-la; dezessete empresas alegaram que não eram adequadas para responder este tipo de análise; e treze companhias não responderam absolutamente nada. Previamente ao envio desse questionário, não foi determinado nenhum critério que definisse qual a taxa de retorno esperado das pesquisas para tornar o estudo viável. Desse modo, para fins de estudo deste caso, a seleção do tamanho da amostra foi baseada na regra de ouro mais amplamente usada, descrita por Olejnik (1984): “use quantas amostras você puder e você pode pagar”. Portanto, os autores acreditam que 32% de índice de resposta é adequada para auxiliar no desenvolvimento deste trabalho (Dweiri *et al.*, 2016, p. 277).

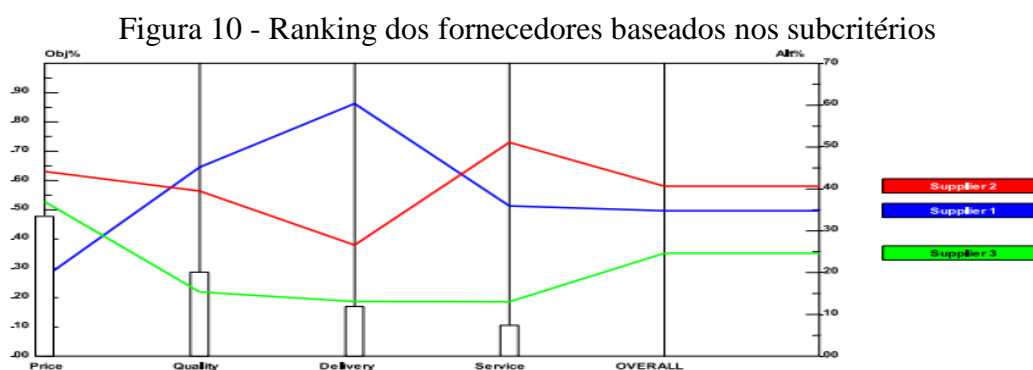
Quanto à análise de sensibilidade, esta foi implementada e, após executada, percebeu-se que não houve uma alteração no ranqueamento para o critério de serviço e entrega quando a ponderação deste critério corresponde a 16%. Houve, porém, esta alteração da ordenação em relação aos critérios de preço, qualidade e entrega para valores inferiores a 16% na ponderação. Isso demonstrou que os resultados foram robustos apenas em relação ao serviço e no caso da entrega ser igual a 16% conforme indicado no resultado.

A análise de sensibilidade demonstrou que ao aumentar de 47% para 68% o critério preço, houve alteração do ranking de  $S2 > S1 > S3$  para  $S2 > S3 > S1$ , e ao reduzir a proporção do peso para 31%, houve novamente alteração do ranqueamento, desta vez para a ordem:  $S1 > S2 > S3$ . Isso demonstrou, pela análise feita do artigo, que o S2 e S3 eram positivamente sensíveis em relação ao critério preço e o S1 era negativamente sensível ao mesmo critério.

Ao aumentar a ponderação de qualidade para 68%, notou-se que há alteração da ordenação para  $S1 > S2 > S3$ . Pode-se inferir que S1 era o mais sensível em relação à qualidade em comparação aos outros dois fornecedores. Já na hipótese de se aumentar a ponderação da entrega para 30%, houve igualmente alteração da ordenação para  $S1 > S2 > S3$ ,



como nos casos de redução da ponderação de preço, aumento da ponderação da qualidade. Novamente, pode-se inferir que S1 era o mais sensível em relação a qualidade em comparação aos outros dois fornecedores.



Fonte: Dweiri *et al.* (2016).

No artigo ID9, foi utilizado o julgamento qualitativo dos especialistas de segurança que trabalharam na indústria automotiva e pesquisadores do domínio de Fator Humano, bem como o software online gratuito BPMSG AHP online system (Petruni *et al.*, 2019). Os resultados da classificação dos principais critérios foram: economia (15%); usabilidade (25%); utilidade (30%), e; adaptabilidade (30%). Foi concluído no artigo que o Estudo de Perigos e Operabilidade Humanos (“*Human HAZOP*”) era o melhor método de confiabilidade da análise humana (HRA) pois consegue lidar com todas as formas de desvio (Petruni *et al.*, 2019, p. 236).

Pela análise do artigo, notou-se que a alternativa escolhida –*Human HAZOP* – era a mais bem classificada no critério de utilidade (Ut), por não requerer um material suporte exigente, ser bastante flexível em termos de aplicação dos procedimentos; e segunda melhor classificada no critério de usabilidade (Us), perdendo apenas para a alternativa Cenário 0. *Human-HAZOP* foi tão bem classificado sobretudo devido aos subcritérios: complexidade do método (6Us) e a necessidade de pré-conhecimento dos usuários (3Us), o que significa que era fácil de usar e sua característica de trabalho em equipe poderia garantir a aprendizagem necessária (Petruni *et al.*, 2019; pg. 237).

Percebeu-se que os especialistas deste estudo possuem alta escolaridade, em média de dois a seis anos de experiência na área de fator humano e segurança, o que fez com que os resultados obtidos estivessem intrinsecamente relacionados à opinião destes. Foi verificado, todavia, que não foi realizada análise de sensibilidade, entretanto, foram encontrados resultados robustos considerando que havia um alto grau de credibilidade dos *experts* pelo seu

tempo de contato com a área de análise, bem como pela quantidade de subcritérios elencados para estruturação do problema. Ademais, ressaltou-se que não era possível empregar as técnicas de *HRA* estudadas em domínios industriais separados, devendo-se aplicar para a fábrica como um todo a fim de atingir os níveis de segurança esperados.

No artigo ID12, foi utilizado o julgamento qualitativo dos *experts*, sem o uso de nenhum tipo de *software* para calcular os resultados. No caso supra, os métodos aplicados seguem os mesmos processos de normalização. Os resultados mostraram que a primeira alternativa (*GS-1*) adquiriu a pontuação mais alta seguida pela terceira alternativa (*GS-3*). No entanto, existiu uma pequena linha nebulosa entre *GS-2* e 3, mas a pontuação final do *GS-2* foi menor que *GS-3*. Quanto à análise de sensibilidade, esta foi implementada e, após executada, percebeu-se que não houve uma alteração no ranqueamento, nem no modelo *fuzzy-AHP*, tampouco para o modelo *fuzzy-TOPSIS*, o que demonstrou que os resultados obtidos eram robustos. É válido ressaltar que foram obtidos resultados legítimos mesmo sem o auxílio de nenhum tipo de software de tomada de decisão, muito menos com o emprego de subcritérios. Todavia, deve-se considerar que foi utilizada uma estrutura hierárquica com nove critérios, mais complexa se comparada aos demais artigos deste trabalho (apenas ID29 possuiu seis critérios, sendo que os restantes possuíram de três a quatro critérios).

No artigo ID26, foi utilizado o julgamento qualitativo dos *experts* internacionais em compósitos de polímero reforçado com fibra natural tanto da área acadêmica quanto da indústria automotiva, bem como o software *Expert Choice* para calcular os resultados. A ponderação dos principais critérios consistiu em: performance específica para aplicação na indústria automotiva (29,5%); propriedades mecânicas (29,5%); propriedades químicas/técnicas (17,2%); propriedades físicas (23,8%). Foi concluído pelo estudo que a ordenação das fibras mais adequadas para indústria automotiva sustentável, em ordem decrescente, foram: linho ou *Linium usitatissimum* (22,7%), tamareira ou *Phoenix dactylifera* (21%), sisal ou *Agave sisalana* (19,4%), cânhamo ou *Cannabis sativa* (18,4%) e coco ou *Cocos nuciferos* (18,5%).

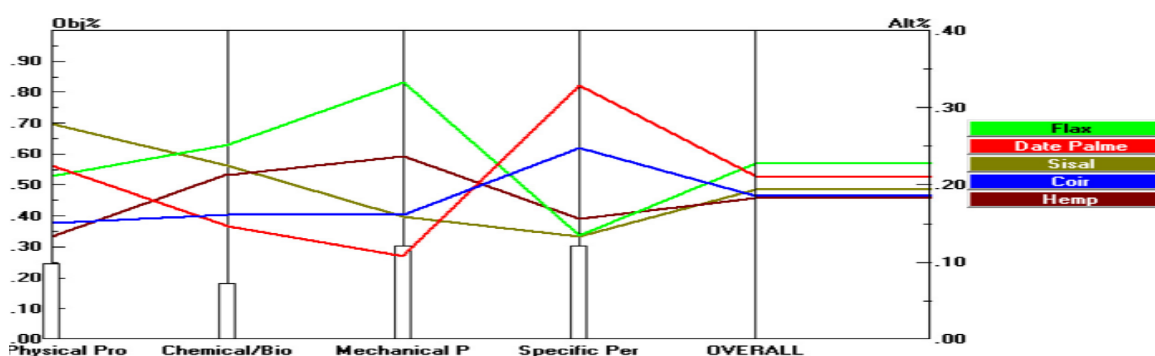
Em relação à ordenação dos critérios utilizando a opinião dos peritos, observou-se que houve uma taxa de resposta mais elevada que dos questionários enviados aos especialistas. Das dez pesquisas enviadas aos *experts* inicialmente, sete foram devidamente preenchidas, o que correspondeu a uma taxa de resposta de 70%. Já na segunda remessa de despacho da pesquisa, dos quinze especialistas contatados, dez respostas foram obtidas, o que correspondeu a uma taxa de retorno de 66,7%. Considerando a regra já mencionada de

Olejnik (1984), uma taxa de 70% de resposta foi considerada apropriada, tendo em vista que não foi estabelecido nenhum parâmetro de expectativa de retorno *a priori*.

Ademais, foi percebido pela proximidade das alternativas que não havia uma fibra dominante a ser selecionada diante de todas as alternativas, e que a maior contribuição ao resultado era proveniente dos critérios de propriedades mecânicas e performance específica para aplicação na indústria automotiva, ambos com 29,5% na ponderação.

Foi conduzida a análise de sensibilidade, a qual permitiu-se verificar que os critérios de propriedades mecânicas e performance específica para aplicação na indústria automotiva tiveram maior impacto na análise de sensibilidade. Além disso, ao analisar as duas fibras com as melhores classificações – o linho (22,7%) e a tamareira (21%) - notou-se que a primeira era positivamente mais sensível ao critério de propriedades mecânicas e negativamente sensível às performances específicas para aplicação automotiva. Por sua vez, com a fibra de tamareira ocorre o oposto: era positivamente sensível ao critério de performances específicas para aplicação automotiva e negativamente sensível às propriedades mecânicas. A partir deste estudo de sensibilidade, conclui-se seguramente que este modelo era estável e insensível às pequenas mudanças nos pesos dos fatores, além de que as decisões tomadas utilizando este modelo eram confiáveis e insensíveis às pequenas mudanças.

Figura 11 - Análise de sensibilidade dos critérios principais do modelo



Fonte: Al-Oqla *et. al* (2015).

No artigo ID28, foi utilizado o julgamento qualitativo dos acadêmicos e supervisores que trabalharam na indústria de remanufatura de componentes automotivos, bem como o software *Expert Choice* para calcular os resultados. A ponderação dos principais critérios consistiu em: economia (34,26%), sociedade (14,38%) e tecnologia (51,37%).

Em relação aos subcritérios, técnicas de design de remanufatura (26,96%), custo de remanufatura (25,50%), e tecnologia de processo de remanufatura (15,64%) foram os fatores

que mais interferem nas condições reais da indústria de remanufatura de componentes automotivos chinesa, sendo os três subcritérios com maior pontuação no ranking da ponderação geral. Na sequência, em ordem decrescente, seguem os subcritérios que eram menos expressivos: fonte das matérias-primas (9,72%), qualidade de gerenciamento (8,77%), custo operacional (8,76%), rede de vendas (2,31%), utilização de recursos (1,80%), eficiência ecológica (1,13%).

O estudo conclui que o padrão da indústria de componentes de remanufatura automotivo, em ordem decrescente, como sendo: empresas de remanufatura contratadas (S3) > empresas de remanufatura OEM (S1) > empresas de remanufaturas independentes (S2), e, mesmo realizando a análise de sensibilidade, percebeu-se que não há alteração nesse ranking. Percebeu-se ainda que as soluções das três empresas de ACR eram relativamente sensíveis à alteração da ponderação dos critérios, porém, não se perdeu a consistência dos resultados obtidos.

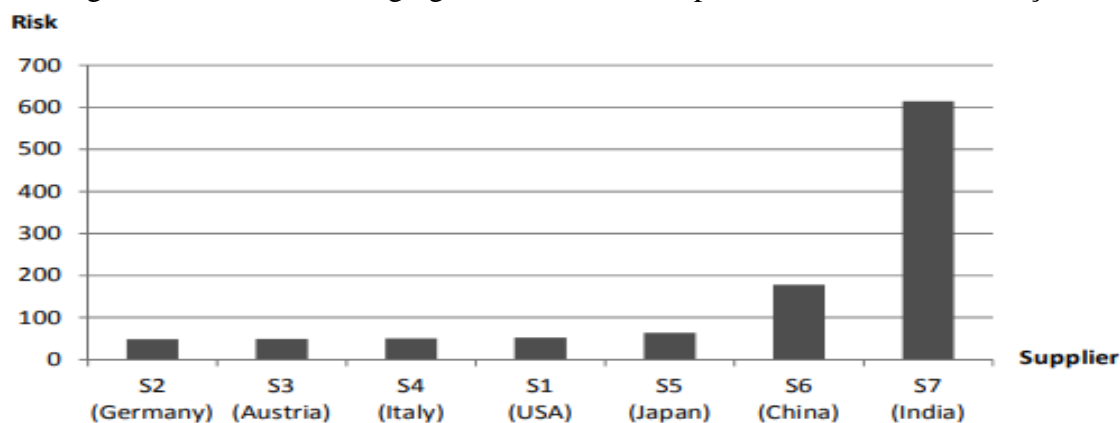
O artigo ID29 concentrou-se no aspecto social da seleção de fornecedores de bobinas de aço, não dispondo de nenhum tipo de software para calcular o resultado, apenas o emprego do método *fuzzy AHP*. A ponderação dos principais critérios consistiu em: crianças e trabalho escravo (25,4%); saúde ocupacional e segurança (25,6%); salários e horas trabalhadas (19,9%); treinamento dos trabalhadores (10,2%); discriminação (10,7%), e; liberdade de associação (8,2%).

Vislumbrou-se nitidamente o alto risco social associado a compra de bobinas de aço do fornecedor 6 (China) e, especialmente, do fornecedor 7 (Índia). Enquanto o risco social relacionado às bobinas de aço do fornecedor 6 (China) era cerca de quatro vezes maior do que o de fornecedores da Europa ou dos Estados Unidos, o risco social associado a bobinas de aço do fornecedor 7 (Índia) era até doze vezes maior. Isso teve relação com os indicadores destes países serem muito altos em comparação com os demais.

O risco social de países emergentes como Índia e China pode levá-los a "perder" oportunidades de fornecimento na indústria automotiva, sobretudo se mais estudos de custo social vierem a ser conduzidos no que concerne ao problema de seleção de fornecedor. Isso porque, apesar de serem extremamente competitivos no quesito preço (com \$536/ton e \$567/ton, respectivamente), bem como no volume fornecido, nos aspectos sociais ainda há muito para se desenvolver. Deve-se ainda considerar que não foram inclusos nos estudos custo do frete, alfândega ou impostos, algo que certamente encareceria o preço dos fornecedores da China e Índia, tornando a disparidade na escolha destes países ainda maior. A mesma lógica pode ser aplicada para os Estados Unidos e Japão, fazendo com que os países

européus do estudo (no caso, corresponde a um caso da indústria alemã) tivessem uma vantagem competitiva ainda mais expressiva, tendo em vista que não possuem as desvantagens acima identificadas.

Figura 12 - Risco social agregado da cadeia de suprimento das bobinas de aço



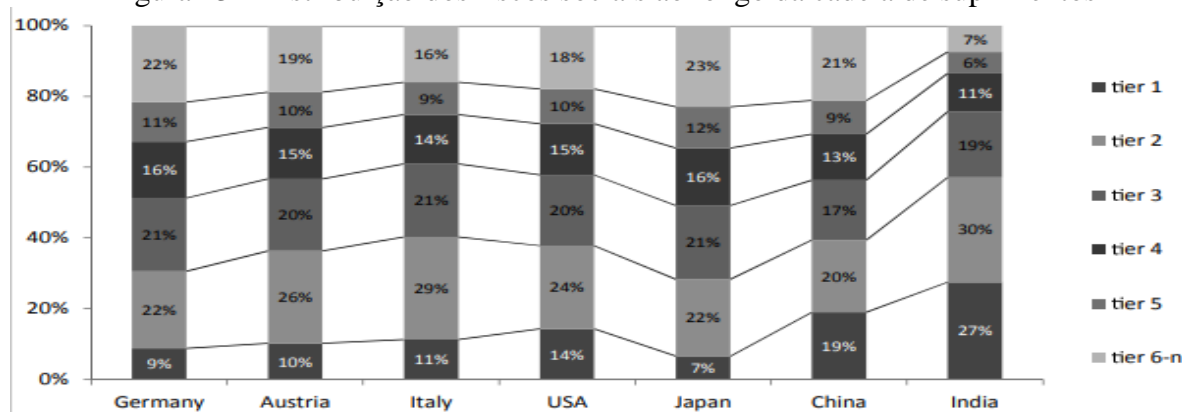
Fonte: Zimmer *et al.* (2017).

O artigo ainda ressaltou a questão do aumento da participação da fabricação terceirizada e atividades de serviço para redes de abastecimento complexas na indústria automotiva (RAO; GOLDSBY, 2009), que levou a uma necessidade de compreender os fornecedores e subfornecedores em vários aspectos.

Para assegurar o cumprimento de requisitos sociais mínimos e reduzi-los ao longo de toda a cadeia de abastecimento, não apenas mais de cem mil fornecedores diretos dos fabricantes de automóveis precisam ser examinados e desenvolvidos, mas também seus ainda mais numerosos subfornecedores. O alto índice de volume de compras faz com que os fabricantes de equipamento original (*OEMs*) da indústria automotiva sejam responsáveis por sua rede de abastecimento e os problemas de cunho social, como o trabalho infantil, que são extremamente sensíveis para essas *OEMs* (Zimmer *et al.*, 2017).

Por esse motivo, o estudo propôs, além de averiguar o risco social em si dos fornecedores, avaliar os riscos sociais das cadeias de abastecimento e seus níveis de produção (camadas), a fim de priorizar toda cadeias de abastecimento ou identificar *hot spots* sociais (pontos de atenção/acesso social) (Zimmer *et al.*, 2017, p. 104). Por esse aspecto de análise dos riscos sociais em camadas, verificou-se que embora os principais riscos da cadeia de abastecimento social de fornecedores de primeiro nível na Europa, Estados Unidos e Japão estivessem majoritariamente na segunda e terceira camadas; os principais riscos sociais das bobinas de aço indianas existiam predominantemente na primeira e segunda camadas.

Figura 13 - Distribuição dos riscos sociais ao longo da cadeia de suprimentos



Fonte: Zimmer et al. (2017).

A análise de sensibilidade foi realizada e o ranqueamento foi alterado em pouquíssimos casos, o fornecedor 2 (Áustria) era o preferido em dezesseis de dezenove casos e nos outros três casos o fornecedor 3 (Alemanha) assumiu a liderança. De modo geral, porém, inferiu-se que os resultados eram consistentes.

Abaixo, a tabela contém um resumo dos aspectos percorridos nos artigos, como com relação à análise de sensibilidade; se houve utilização de algum software de apoio para cálculo dos resultados, e; finalmente se houve alteração no ranking.

Quadro 6 - Resumo aspectos mais específicos dos artigos analisados

ID	Assunto	Análise de Sensibilidade	Software	Reversão Ranking
5	Seleção de fornecedor indústria automotiva	Sim	Expert Choice	Não
9	Seleção da melhor técnica de fatores humanos dentro da indústria automotiva.	Não	BPSMG AHP online system	N/A
12	Seleção de fornecedor sustentável	Sim	N/A	Não
26	Ordenação das fibras naturais baseado na adequação para indústria automotiva sustentável	Sim	Expert Choice	Não
28	Ranquear padrões existentes de remanufatura de componentes automotivos	Sim	Expert Choice	Não
29	Seleção de fornecedor avaliando risco social em bobinas de aço para indústria automotiva	Sim	N/A	Sim

Fonte: Autoria própria (2020).

### 3.3 CONTRIBUIÇÕES E CORRELAÇÕES ENTRE ARTIGOS

Constatou-se pela análise dos artigos que até mesmo restringindo a um único tipo de indústria, no caso a automotiva, houve uma variedade de aplicações disponíveis para implementação do método AHP. Estes variaram de problemas clássicos do emprego do método de seleção de fornecedor, a ranquear padrões existentes de remanufatura dos

componentes automotivos, alcançando até mesmo na seleção de uma fibra natural para um compósito de aplicação sustentável na indústria automotiva.

Para os artigos de seleção de fornecedor (Artigos ID5, ID12 e ID29), muito embora cada um deles dispusesse de critérios específicos para tomada de decisão, percebeu-se que havia uma preocupação quanto à heterogeneidade da escolha desses fornecedores. Estes podem ser heterogêneos de várias maneiras, como um único fornecedor pode prover diferentes tipos de produtos, muitos fornecedores podem suprir um tipo de produto específico, ou ainda muitos fornecedores podem oferecer muitos tipos de produtos.

Diversos autores consideram a heterogeneidade em seu problema de seleção de fornecedores, como Saen, (2009) que utilizou estimativas na forma de intervalos em seu problema de SS, os quais são baseados em opiniões de especialistas. Da mesma forma, Kumar *et al.* (2014) propôs uma abordagem para a seleção de fornecedores verdes e incorporou fornecedores heterogêneos, considerando as normas e leis regionais de conformidade de emissões.

Ademais, aos artigos que mencionam a remanufatura, artigos ID28 e ID29, notou-se que havia uma preocupação sobretudo no aspecto social, pois, ao mesmo tempo em que ocorria uma geração de empregos em decorrência do desenvolvimento desse tipo de produção industrial, havia também uma responsabilidade por parte das empresas de assegurar condições de trabalho dignas para seus colaboradores. Ressalte-se que, muitas vezes, a fim de entrar no mercado com preços competitivos - já que há certa desconfiança quanto à qualidade dos produtos remanufaturados - os empregadores contratam funcionários a salários menos atrativos, minimizando seus custos com mão-de-obra, o que representa uma clara oposição da responsabilidade social supracitada.

Em relação a natureza do tipo de problema dos artigos, foi verificado que havia uma preferência geral do emprego do método do AHP para problemas de seleção e ordenação, conforme foi verificado no Quadro 2, bem como no Quadro 3.

Ao analisarmos a região de origem dos artigos, observou-se que havia uma descentralização dos pólos de tomada de decisão, fenômeno que pode ser explicado pela Indústria 4.0. Dos seis artigos avaliados, dois estavam situados em países emergentes (China e Índia), dois se encontravam em regiões de países desenvolvidos (Europa, um mais especificamente na Alemanha), e um era situado na Ásia, no Paquistão. Havia, finalmente, um último artigo que não possuía seu país ou região especificado.

Quanto ao ano de publicação, percebeu-se que os artigos variaram do ano de 2015 a 2019, trazendo temas atuais e relevantes, com aplicações que foram pioneiras na

implementação do método AHP. Tanto foi verificado no artigo que visa avaliar os riscos sociais na escolha de fornecedor (artigo ID5, de 2017), do artigo que buscou averiguar os padrões para remanufatura de componentes automotivos (artigo ID28, de 2017) e também o de seleção de fibras naturais (artigo ID26, de 2015).

Em relação à estrutura hierárquica dos problemas analisados, verificou-se que quanto maior a quantidade de critérios, subcritérios e alternativas, mais complexo o problema em questão é, e mais robusta sua solução. Mesmo no caso do artigo em que não foi empregado nenhum subcritério (artigo ID12), pela quantidade de critérios e alternativas apresentada, pode-se concluir que a solução foi satisfatória e consistente. É válido ainda ressaltar que o número de alternativas era sempre menor ou igual a cinco, havendo apenas um artigo com uma quantidade maior que cinco, com 7 alternativas, (artigo ID29). Ademais, também se tornou evidente que o número de critérios era sempre igual ou superior à quantidade de alternativas, o que pode ser considerado um padrão.

Observou-se igualmente que em todos os artigos avaliados o julgamento do grupo foi AIJ, ainda que houvesse pequenas divergências entre os grupos de especialistas e tomadores de decisão, de um modo geral estavam todos alinhados em prol de um objetivo comum, o que pode ser considerado um padrão do emprego do AHP. Ademais, todos os artigos contaram com um time de especialistas em algum momento da estruturação da hierarquia do problema em análise; três dos artigos contaram com a literatura existente para averiguar suas ponderações, e; apenas um artigo recorreu a indicadores organizacionais de fontes internacionais de extremo prestígio. Considerou-se outra tendência do emprego do AHP o uso de literatura e time de especialistas como fontes de critério.

Por fim, em relação à análise de sensibilidade, um dos artigos não a realizou, e dos cinco artigos que a executaram, apenas um possuiu reversão no ranking para alguns casos em análise. Notou-se, entretanto, que os problemas averiguados eram robustos, com soluções consistentes. Pode-se ainda considerar a análise de sensibilidade como sendo outro possível padrão do emprego do AHP, a qual tende a assegurar a consistência de suas soluções.



## 4 CONCLUSÃO

### 4.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E CONSIDERAÇÕES

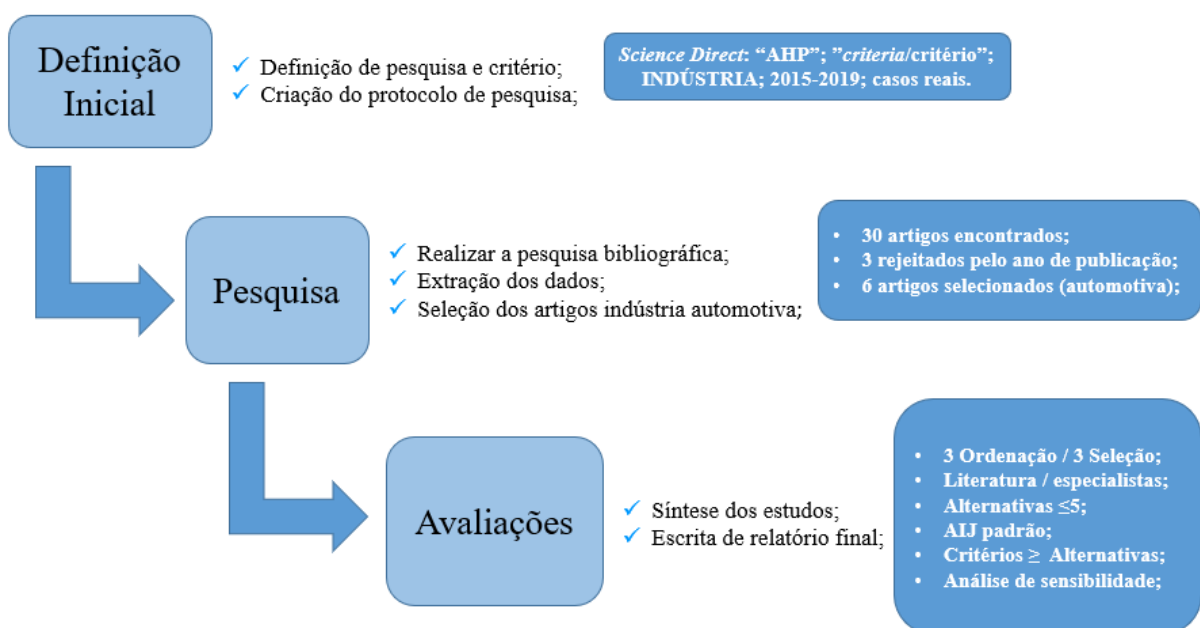
Após o estudo dos resultados obtidos, os objetivos do trabalho foram cumpridos, visto que foi possível identificar semelhanças e diferenças do emprego do método AHP na área industrial no decorrer deste período de 2015 a 2019, constatando que existem alguns padrões e tendências do emprego deste método.

O método AHP se mostrou viável em diversas formas de aplicação na indústria, com maior incidência na automotiva. Foi possível constatar uma tendência do emprego do AHP para problemas de seleção e ordenação, bem como o uso de time de especialistas e literatura e como fonte do critério. Ademais, também pode ser considerada uma tendência que o número de alternativas é sempre menor ou igual a cinco.

Pode-se afirmar seguramente que a implementação do julgamento de grupo AIJ e que o número de critérios é sempre igual ou superior à quantidade de alternativas se mostraram padrões do AHP. Pode-se ainda considerar a análise de sensibilidade como sendo outro possível padrão do emprego do AHP, a qual tende a assegurar a consistência de suas soluções.

Na Figura 14 pode-se observar um resumo contendo as principais etapas descritas no procedimento metodológico de pesquisa, bem como os resultados e conclusões obtidas.

Figura 14 - Fluxograma principais resultados e conclusões



Fonte: Autoria própria (2021).

## 4.2 SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO

Como sugestão de trabalhos futuros, seria proveitoso acompanhar de 2019 em diante se existem ou não padrões e tendências da implementação do método AHP na área industrial. Aconselha-se, ainda, a busca por aperfeiçoamentos a pesquisa bibliográfica aqui desenvolvida, divulgando para as empresas da região do vale do Paraíba a implementação deste método em aplicações industriais.

## REFERÊNCIAS

- AKDERE, M. An analysis of decision-making process in organizations: implications for quality management and systematic practice. **Total Quality Management & Business Excellence**, Londres, p. 1317-1130, dez. 2011. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/233242838\\_An\\_analysis\\_of\\_decision-making\\_process\\_in\\_organizations\\_Implications\\_for\\_quality\\_management\\_and\\_systematic\\_practice](https://www.researchgate.net/publication/233242838_An_analysis_of_decision-making_process_in_organizations_Implications_for_quality_management_and_systematic_practice). Acesso em: 05 de maio de 2020
- AL-OQLA, F. M. et al. A novel evaluation tool for enhancing the selection of natural fibers for polymeric composites based on fiber moisture content criterion. *Bioresources*, Raleigh, p. 299-312. jan. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/272429077\\_A\\_Novel\\_Evaluation\\_Tool\\_for\\_Enhancing\\_the\\_Selection\\_of\\_Natural\\_Fibers\\_for\\_Polymeric\\_Composites\\_Based\\_on\\_Fiber\\_Moisture\\_Content\\_Criterion](https://www.researchgate.net/publication/272429077_A_Novel_Evaluation_Tool_for_Enhancing_the_Selection_of_Natural_Fibers_for_Polymeric_Composites_Based_on_Fiber_Moisture_Content_Criterion). Acesso em: 08 de ago. de 2020.
- ARULDOSS, M.; LAKSHMI, T. M.; VENKATESAN, V. P. A survey on multi criteria decision making methods and its applications. **American Journal Of Information Systems**. Bradenton, p. 31-43. dez. 2013. Disponível em: <http://pubs.sciepub.com/ajis/1/1/5>. Acesso em: 09 de out. de 2020.
- ASADABADI, M. R. A markovian-QFD approach in addressing the changing priorities of the customer needs. *International Journal Of Quality & Reliability Management*, Bingley, p. 1062-1075, set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2014-0091>. Acesso em: 27 de jul. de 2020.
- BANAEIAN, N. et al. Criteria definition and approaches in green supplier selection—a case study for raw material and packaging of food industry. *Production & Manufacturing Research*. Oxford, p. 149-168. mar. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21693277.2015.1016632>. Acessado em: 16 de ago. de 2020
- BELMANN, R. E.; AZADEH, L. Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*. Catonsville, p. 141-164. dez. 1970. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/mnsc.17.4.B141>. Acesso em: 18 de ago. de 2020.
- BELTON, V.; GEAR, T. On a short-coming of Saaty's method of analytic hierarchies. *Omega: the International Journal of Management Science*. Amsterdã, v. 11. n. 3, p. 228-230, 1983. Disponível em: [https://sci-hub.tw/10.1016/0305-0483\(83\)90047-6](https://sci-hub.tw/10.1016/0305-0483(83)90047-6). Acesso em: 07 set. 2019.
- BENOÎT, C.; MAZIEN, B. Guidelines for social life cycle assessment of products. In: UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, Sustainable Product and Consumption Branch. United Nations Environment Programme, Paris, 2009.
- BHUSHAN, N.; RAI, K. **Strategic decision making: applying the analytic hierarchy process**. 4th ed. Londres: Springer Science & Business Media, 2007.
- BÜYÜKÖZKAN, G.; ÇİFÇİ, G. A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*,

Amsterdã, v. 39, n. 3, p. 3000–3011, fev. 2012. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.162>. Acesso em: 29 de set. de 2020.

CARLUCCI, D. Evaluating and selecting key performance indicators: an ANP-based model.

*Measuring Business Excellence*, Bingley, v. 14, n. 2, p. 66-76, jun. 2010. Disponível em:

<https://doi.org/10.1108/13683041011047876>. Acesso em: 12 de out. de 2020.

CHEN, C. C. et al. Implementation of green supply chain management in uncertainty. In: 2010 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT, 2010, Macao. Proceedings [...]. Macao: IEE, 2010. p. 260–264.

CRAINER, S. *The management century: a critical review of 20th century thought and practice*. San Francisco: CA: Jossey-Bass; 2019.

DADDA, A; OUHBI, I. A decision support system for renewable energy plant projects. In: 2014 INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEXT GENERATION NETWORKS AND SERVICES, 2014, Casablanca. Proceedings [...]. Casablanca: IESM, 2014.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. *Multicriteria decision aid classification methods*. Nova Iorque: Springer Publishing, 2002.

DWEIRI, F. et al. Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, Amsterdã, v. 62, n. 15, p. 273–283, nov. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.06.030>. Acesso em: 17 de set. de 2020.

FARIS, M. et al. Predicting the potential of agro waste fibers for sustainable automotive industry using a decision-making model. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdã, v. 113, p. 116–127, abr. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.01.011>. Acesso em: 23 de jul. de 2020.

FIGUEIRA, J. et al. *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. Nova Iorque: Springer, 2005.

CAUCHICK-MIGUEL; P. A. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

FORD, H. Mass production. In: GARVIN, J. L. (coord.). *The encyclopedia britannica: a dictionary of arts, sciences, literature & general information*. 13th ed. Londres: The Encyclopædia britannica company, 1926, p. 821–823.

FORMAN, E. H.; GASS, S.I. The analytic hierarchy process: an exposition. *Operations Research*, Catonsville, v. 49, n. 4, p. 469–486, ago. 2001.

FORMAN, E; PENIWATI, K. Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, Amsterdã, v. 108, p.165-169, jul.1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00244-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00244-0). Acesso em: 21 de abr. de 2020.

GALATI, F.; BIGLIARDI, B. Industry 4.0: emerging themes and future research avenues using a text mining approach. *Computers in Industry*, Amsterdã, v. 109, p. 100-113, ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.018>. Acesso em: 22 de maio de 2020.

GIL, A. C. Técnicas de pesquisa em economia e elaboração de monografias. São Paulo: Atlas, 2000.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GILCHRIST, A. Industry 4.0: the industrial internet of things. Nova Iorque: Apress, 2016.

GOGUEN, J. L-fuzzy sets. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, Amsterdã, v. 18, n.1, p. 145–174, abr. 1967. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0022-247X\(67\)90189-8](https://doi.org/10.1016/0022-247X(67)90189-8). Acesso em: 30 de abr. de 2020.

GOMES, L. F. A. M. et al. Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério. São Paulo: Atlas, 2002.

GUPTA, S. et al. Green supplier selection using multi-criterion decision making under fuzzy environment: a case study in automotive industry. *Computers & Industrial Engineering*, Amsterdã, v. 136, p. 663–680, out. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.038>. Acesso em: 13 de set. de 2020.

KAHRAMAN, C. Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making: theory and applications with developments. Istanbul: Springer Science+Business Media, 2008.

KOLIOS, A. et al. A comparative study of multicriteria decision-making methods under stochastic inputs. *Energies*, Basileial, v. 9, n. 7, p. 522-587, jul. 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/305522002\\_A\\_Comparative\\_Study\\_of\\_Multiple-Criteria\\_Decision-Making\\_Methods\\_under\\_Stochastic\\_Inputs](https://www.researchgate.net/publication/305522002_A_Comparative_Study_of_Multiple-Criteria_Decision-Making_Methods_under_Stochastic_Inputs). Acesso em: 13 de maio de 2020.

KUMAR, A.; JAIN, V.; KUMAR, S. A comprehensive environment friendly approach for supplier selection. *Omega: The International Journal of Management Science*, Amsterdã, v. 42, n. 1, p. 109-123, jan. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.04.003>. Acesso em: 12 de maio de 2020.

LIMA, T.C.S. de; MIOTO, R.C.T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. *Revista Katályses*, Florianópolis, v.10, abr. 2007.

LUIZ, J.; MAIA, G. O uso do método AHP para a dados de uma determinada empresa. In: SEGET, 12., 2014, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro, 2014.

MARDANI, A. et al. Multiple Criteria Decision-Making techniques and their applications: a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, Oxford, v. 28, n. 1, p. 516-571, set. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>. Acesso em: 29 de abr. de 2020.

- MARINS, C. S. et al. O uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 41., 2009, Porto Seguro. Anais [...]. Porto Seguro, 2009.
- MIRANDA, C.M.G.; ALMEIDA, A. T. Avaliação de pós-graduação com método ELECTRE TRI: o caso de engenharias III da CAPES. *Produção*, 3, v. 13, p. 101-112, 2003.
- MÜLLER J. Business model innovation in small- and medium-sized enterprises: strategies for industry 4.0 providers and users. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Bingley, v. 30, n. 8, mar. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/331572782\\_Business\\_model\\_innovation\\_in\\_small-and\\_medium-sized\\_enterprises\\_Strategies\\_for\\_industry\\_40\\_providers\\_and\\_users](https://www.researchgate.net/publication/331572782_Business_model_innovation_in_small-and_medium-sized_enterprises_Strategies_for_industry_40_providers_and_users). Acesso em: 5 de maio de 2020.
- OLEJNIK, S. Planning educational research: determining the necessary sample size. *Journal of Experimental Education*, Nova Iorque, v. 53, n. 1, p. 40-48, out. 1984. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/20151569>. Acesso em: 21 de jul. de 2020.
- OZTMEL E; GURSEV S. Literature review of industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Berlim, v.31, n.1, p. 127-182, jul.2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>. Acesso em: 1 de out. de 2020.
- PAOLI, D.; MORAES, L. A. F. Apoio multicritério à decisão como subsídio à gestão ambiental: o caso da Aggreko Brasil. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 18, n. 2, p. 379-390, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2011000200012>. Acesso em: 02 jul. 2020.
- PEREIRA, A. C.; ROMERO, F. A review of the meanings and the implications of the industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, Amsterdã, v. 13, n. 1, p. 1206-1214, jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>. Acesso em: 14 de out. de 2020.
- PETRUNI, A. et al. Applying Analytic Hierarchy Process (AHP) to choose a human factors technique: choosing the suitable Human Reliability Analysis technique for the automotive industry. *Safety Science*, Amsterdã, v. 119, n.1, p. 229–239, nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.05.007>. Acesso em: 19 de nov. de 2020.
- PETTICREW, M; ROBERTS, H. **Systematic reviews in the social sciences: a practical guide**. Hoboken, New Jersey: Blackwell Publishing, 2006. 352 p.
- POHEKAR, S. D.; RAMACHANDRAN, M. Application of Multi-Criteria Decision Making to sustainable energy planning: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, Amsterdã, v. 8, n. 4, p. 365-381, ago. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.007>. Acesso em: 02 de ago. de 2020.
- RAMADAN M. Industry 4.0: development of smart sunroof ambient light manufacturing system for automotive industry. *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences 2019*. Dubai (United Arab Emirates).

RAO, S.; GOLDSBY, T. J. Supply chain risks: a review and typology. *International Journal of Logistics and Management*, Oxford, v. 20, n.1, p. 97, 123, maio 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/09574090910954864>. Acesso em 4 de set. de 2020.

RAVI, V.; SHANKAR, R.; TIWARI, M. K. Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach. *Computers and Industrial Engineering*, Amsterdã, v. 48, n. 2 , p. 327–356, mar. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2005.01.017>. Acesso em: 24 de abr. de 2020.

ROBLEK, V. et al. A complex view of industry 4.0. *Sage Open*, Newbury Park, v. 6, n. 2, p. 1 – 11, abr.-jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/2158244016653987> .Acesso em: 19 de out. de 2020.

RODRIGUEZ, D. S. S. et al. Métodos de auxílio multicritério à decisão aplicados a problemas de PCP: mapeamento da produção em periódicos publicados no Brasil. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 20, n.1, p. 134–146, mar.2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/267331376\\_Metodos\\_de\\_auxilio\\_multicriterio\\_a\\_deci-sao\\_aplicados\\_a\\_problemas\\_de\\_PCP\\_mapeamento\\_da\\_producao\\_em\\_periodicos\\_publicados\\_no\\_Brasil\\_papers\\_published\\_in\\_Brazilian\\_journals](https://www.researchgate.net/publication/267331376_Metodos_de_auxilio_multicriterio_a_deci-sao_aplicados_a_problemas_de_PCP_mapeamento_da_producao_em_periodicos_publicados_no_Brasil_papers_published_in_Brazilian_journals). Acesso em: 23 de maio de 2020.

ROY, B.; BOYSSOU, D. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Paris Economica, 1985, 423 p. Disponível em: [https://www.persee.fr/doc/pomap\\_0758-1726\\_1986\\_num\\_4\\_3\\_1906\\_t1\\_0138\\_0000\\_1](https://www.persee.fr/doc/pomap_0758-1726_1986_num_4_3_1906_t1_0138_0000_1). Acesso em: 09 jul. 2020.

SAATY, T. **Decision making with dependence and feedback: the Analytic Network Process**. Pittsburgh: Rws Publication, 1996.

SAATY, T. L. Decision making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, Geneva, v. 1, n. 1, p. 83-98, jan. 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228628807\\_Decision\\_making\\_with\\_the\\_Analytic\\_Hierarchy\\_Process](https://www.researchgate.net/publication/228628807_Decision_making_with_the_Analytic_Hierarchy_Process). Acesso em: 13 de jul. de 2020.

SAATY, T. L. **Fundamentals of decision making and priority theory with the AHP**. 6. ed. Pittsburgh: Rws Publication, 1994.

SAATY, T. L. How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, Amsterdã, v. 48, n. 1, p. 9-26, set. 1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I). Acesso em 14 de jun. de 2020.

SAATY, T.L., *Método de análise hierárquica*. São Paulo; McGraw-Hill-Makron, 1991. (versão ampliada e revisada por Wainer da Silveira e Silva, do original em inglês *The Analytic Hierarchy Process* , Pittsburg, USA: R WS Publications, 1980.)

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. *Decision making with the Analytic Network Process: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks*. Nova Iorque: Springer Science+Business Media., 2006.

SAATY, Thomas L. What is the Analytic Hierarchy Process? Pittsburgh: University of Pittsburgh, 1988.

SAEN, R. A new approach for selecting slightly non-homogeneous vendors. *Journal of Advances in Management Research*, Bingley, v. 6, n.2, p. 144-153, set.2009.

SAMPAIO, E. S. Análise multicritério de alternativas de um novo curso superior em instituição de ensino tecnológico. Orientador: Prof. Dr. Valério A. P. Salomon. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

SEYDEL J. Data envelopment analysis for decision support. *Industrial Management & Data Systems*, Bingley, v. 106, n. 1, p. 81-95, jan. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01605682.2018.1457483>. Acesso em: 20 de jun. de 2020.

ŚLUSARCZYK, B. Industry 4.0- are we ready? *Polish Journal of Management Studies*, Amsterdã, v. 17, n.1, p. 232-248, jun. 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/326113219\\_INDUSTRY\\_40-ARE\\_WE\\_READY](https://www.researchgate.net/publication/326113219_INDUSTRY_40-ARE_WE_READY). Acesso em: 24 de jun. de 2020.

TAVANA, M. et al. An application of an integrated ANP–QFD framework for sustainable supplier selection. *International Journal of Logistics Research and Applications*, Bingley, v. 20, n. 3, p. 254–275, ago.2017.

THANGARAJ, J.; NARAYANAN R. **Industry 1.0 to 4.0: the evolution of smart factories**. 2018. Disponível em: [http://www.researchgate.net/publication/330336790\\_INDUSTRY\\_10\\_TO\\_40\\_THE\\_EVOLUTION\\_OF\\_SMART\\_FACTORIES](http://www.researchgate.net/publication/330336790_INDUSTRY_10_TO_40_THE_EVOLUTION_OF_SMART_FACTORIES). Acesso em: 05 jun. 2020.

TIAN, G. et al. Technology innovation system and its integrated structure for automotive components remanufacturing industry development in China. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdã, v. 85, p. 419-432, dez. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.020>. Acesso em: 17 de nov. de 2020.

TIAN, G. et al. Operation patterns analysis of automotive components remanufacturing industry development in China. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdã, v. 164, p. 1363-1375, out. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.028> . Acesso em: 21 de Ago. de 2020.

VAIDYA, S. O.; KUMAR, S. Analytic Hierarchy Process: an overview of applications. *European Journal of Operational Research*, Amsterdã, v. 169, n. 1, p. 1- 29, fev. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>. Acesso em: 30 de jun. de 2020.

WEBER, C. et al. Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, Amsterdã, v. 50, n. 1, p. 2–18, jan. 1991

XU, L.; XU, E.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, Londres, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, mar. 2018.



ZADEH, L. Fuzzy sets information and control. *The Journal of Symbolic Logic*, Cambridge, v. 8, n.3, p. 177-200, jun.1965. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2272014>. Acesso em: 11 de jun. de 2020.

ZHANG, T.Z. et al. Intellectual property problem analysis for automotive components remanufacturing. *Science and Technology Program Policy*, Washington, v. 27, n. 3, p. 91/94 (in Chinese), abr. 2010.

ZHANG, T.Z. et al. Development pattern and enhancing system of automotive components remanufacturing industry in China. *Resources, Conservation and Recycling*, Amsterdam, v. 55, n. 6, p. 613-622, abr. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.09.015>. Acesso em: 28 de set. de 2020.

ZIMMER, K. et al. Assessing social risks of global supply chains: a quantitative analytical approach and its application to supplier selection in the German automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdã, v. 149, Apr., p. 96-109, fev. 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/313416487\\_Assessing\\_social\\_risks\\_of\\_global\\_supply\\_chains\\_A\\_quantitative\\_analytical\\_approach\\_and\\_its\\_application\\_to\\_supplier\\_selection\\_in\\_the\\_German\\_automotive\\_industry](https://www.researchgate.net/publication/313416487_Assessing_social_risks_of_global_supply_chains_A_quantitative_analytical_approach_and_its_application_to_supplier_selection_in_the_German_automotive_industry). Acesso em: 17 de out. de 2020.

ZIMMER, K. et al. Sustainable supplier management: a review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development. *International Journal of Production Research*, Londres, v. 54, n. 5, p. 1412-1442, mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1079340>. Acesso em: 4 de out. de 2020.