



UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

MESTRADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

RENÉ ERNESTO GARCÍA RIVAS

USO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO
PARA TOMADA DE DECISÃO OPERACIONAL
TENDO EM CONTA RISCOS OPERACIONAIS,
À SEGURANÇA, AMBIENTAIS E À QUALIDADE



SALVADOR
2016



USO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA TOMADA DE DECISÃO
OPERACIONAL TENDO EM CONTA RISCOS OPERACIONAIS, À
SEGURANÇA, AMBIENTAIS E À QUALIDADE

René Ernesto García Rivas

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Industrial, da Universidade Federal da
Bahia, como parte dos requisitos necessários
à obtenção do título de Mestre em
Engenharia Industrial.

Orientadores: Cristiano Hora de Oliveira
Fontes
Francisco Gaudêncio
Mendonça Freires

Salvador
Setembro de 2016

S2320 Rivas, René Ernesto García

USO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA TOMADA DE DECISÃO OPERACIONAL TENDO EM CONTA RISCOS OPERACIONAIS, À SEGURANÇA, AMBIENTAIS E À QUALIDADE/René Ernesto García Rivas. – Salvador: UFBA, 2016.

XXII, 146 p.: il.; 29,7cm.

Orientadores: Cristiano Hora de Oliveira Fontes

Francisco Gaudêncio Mendonça Freires

Dissertação (mestrado) – UFBA/Programa de Engenharia Industrial, 2016.

Referências: p. 93 – 99.

1. Pesquisa operacional. 2. Gestão de riscos. 3. Modelo de avaliação multicritério. 4. Processo Analítico Hierárquico AHP. I. Fontes, Cristiano Hora de Oliveira *et al.*. II. Universidade Federal da Bahia, Programa de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 511

**“USO DE MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA TOMADA DE DECISÃO
OPERACIONAL TENDO EM CONTA RISCOS OPERACIONAIS, À SEGURANÇA,
AMBIENTAIS E À QUALIDADE”.**

RENÉ ERNESTO GARCÍA RIVAS

Tese submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Examinada por:

Prof. Carlos Arthur Mattos Teixeira Cavalcante
Doutor em Engenharia de Produção, Brasil, 1999;



Prof. Salvador Ávila Filho
Doutor em Engenharia Química, Brasil, 2010;



Prof. Thiago Magalhães Amaral
Doutor em Engenharia de Produção, Brasil, 2013;



Salvador, BA - BRASIL
Setembro/2016

*Agradeço à Deus e a todos que
colaboraram direta ou
indiretamente para a realização
deste trabalho. A todos, meu
muito obrigado.*

Agradecimentos

Em primeiro lugar, eu quero agradecer a Deus, pela oportunidade de ter vindo para o Brasil para fazer um curso de mestrado em Engenharia Industrial, obter novos conhecimentos na área de engenharia, explorar novas metodologias de produção para serem aplicados no meu país.

Em segundo lugar, para minha família, aos meus pais René García e Morena de Rivas, meu irmão Victor, minha irmã Jazmín, e tia Ady pelo suporte e apoio dado durante o tempo todo, apesar da distância. Também aos meus amigos brasileiros, estrangeiros que tive a oportunidade de conhecer aqui no Brasil. Especialmente a Ronald Panameño, Raul Guerrero e Fernando Gómez, pelo seu tempo e ajuda durante a pesquisa. Também para o gerente Alessandro Carvalho, pelo seu tempo e ajuda, e os funcionários do programa.

Do mesmo modo para meus orientadores, os professores Cristiano Fontes, Gaudêncio Freires e João Thiago Campos, pela guia durante o tempo todo, com foco de produzir um material referência para futuras pesquisas.

E em último lugar, mas nem menos importante, ao programa de bolsas *Organization of American States* - Grupo COIMBRA de Universidades Brasileiras (OEA-GCUB) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro.

*"O maior risco é não correr riscos
... Em um mundo que está
mudando realmente depressa, a
única estratégia que está garantida
para falhar é não correr riscos"*

Mark Zuckerberg

Resumo da Dissertação apresentada à UFBA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

USO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA TOMADA DE DECISÃO OPERACIONAL TENDO EM CONTA RISCOS OPERACIONAIS, À SEGURANÇA, AMBIENTAIS E À QUALIDADE

Com o aumento da incerteza a nível local e nacional, as empresas tornam-se mais vulneráveis aos diversos fatores de risco. A gestão de risco é uma tomada de decisão complexa, pois o resultado é identificar e decidir como tratar os riscos. O decisor escolhe os riscos que devem ser priorizados que melhor lhe parece, muitas vezes é difícil minimizar todos os riscos, pelo orçamento limitado. O objetivo da dissertação é avaliar e identificar as principais causas dos riscos operacionais de forma envolvente, usando o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), um modelo de avaliação multicritério. Este método, desenvolvido por Thomas Saaty, é muito utilizado para a tomada de decisões complexas com aplicação em muitas áreas, como: política de governo; cuidados de saúde; aplicações em engenharia e sistema de inovação e negócios. Foi realizado um estudo de caso, no qual os principais riscos, que afetam uma empresa de manufatura no Brasil relacionados ao setor da construção civil, foram avaliados usando um modelo proposto baseado no AHP. Mediante o uso do AHP foi possível avaliar de forma abrangente os diferentes riscos operacionais, visando a redução de prejuízos, eliminação de tempo perdido pelas paradas e manutenção corretiva e o aumento da eficiência nas operações. Em conclusão, esta proposta foi válida e útil para a tomada de decisões operacionais, visando uma melhor forma de gerir os riscos, avaliando de forma quantitativa e qualitativa ou subjetiva.

Palavras-chave. Gestão de Riscos, Pesquisa Operacional, AHP, MCDA, Gestão de operações.

Abstract of Dissertation presented to PEI/UFBA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

USE OF THE MULTICRITERIA METHOD FOR DECISION MAKING IN THE OPERATIONAL AREA CONSIDERING OPERATIONAL, SAFETY, ENVIRONMENT, AND QUALITY RISKS

With the increase in uncertainty at local and national levels, businesses have become more vulnerable to several risk factors. Although, risk management is a complex process for decision makers; the evaluations of those risks that deserve preventive measures have to be carried out in spite of related cost. The decision maker chooses the risks that should be prioritized to the best of his knowledge; however, it is often difficult to minimize all risks within budget constraints. The purpose of this dissertation is to evaluate and to identify the main causes of operational risks in an engaging manner utilizing the Analytical Hierarchy Process (AHP), a Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) method. This method, developed by Thomas L. Saaty in 1970, is widely used for making complex decisions with applications in many areas, such as government policy, health care, applications in engineering and management, business and innovation system. A real case study was performed concerning the main risks in a manufacturing company in Brazil operating in the construction sector; they were evaluated using a proposed model based on AHP. By using the AHP method, it was possible to comprehensively assess different operational risks in order to reduce losses; eliminating time lost by machine/equipment downtime and corrective maintenance; and increased efficiency in operations. In conclusion, this proposal was useful for making operating decisions, seeking a more efficient way of managing risk, and assessing it against quantitative and qualitative or subjective way.

Keywords. Management operations, risk management, operational research, AHP, MCDA.

Sumário

Lista de ilustrações	xv
Lista de tabelas	xvii
Lista de Quadros	xix
Lista de Abreviaturas	xxi
1 Introdução	1
1.1 Contextualização do tema	1
1.2 Definição do Problema	2
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo geral	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Justificativa	4
1.5 Delimitações da Pesquisa	6
1.6 Estrutura da dissertação	6
2 Revisão da literatura	9
2.1 Gestão de Risco	10
2.1.1 Normas sobre gerenciamento de riscos	12
2.1.2 O processo de gestão de riscos	14
2.1.3 Ferramentas utilizadas na gestão de riscos	25
2.1.4 Riscos abordados no estudo	27
2.2 Métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios	30
2.2.1 A importância da tomada de decisão	30
2.2.2 MCDA	32
2.2.3 AHP	46

3	Metodologia	59
3.1	Classificação da pesquisa	59
3.1.1	Tipo de pesquisa	59
3.1.2	Natureza da pesquisa	59
3.1.3	Técnicas de pesquisa	59
3.2	Delimitação da pesquisa	60
3.3	Justificativa para a escolha do método AHP	61
3.4	Etapas do trabalho	63
3.4.1	Etapas da metodologia AHP	64
3.4.2	Análise Qualitativa e Quantitativa	68
3.4.3	Seleção do software	69
4	Estudo de caso	71
4.1	Contexto	71
4.1.1	Definição do problema	72
4.2	Tomada da decisão usando o AHP	76
4.2.1	Atores no processo decisório	76
4.2.2	Formulação das alternativas	76
4.2.3	Estruturação da hierarquia do problema e definição dos critérios e subcritérios relevantes	77
4.2.4	Ponderação da importância relativa dos critérios	80
4.2.5	Avaliação das alternativas	82
4.2.6	Análise dos resultados	84
5	Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	89
5.1	Conclusões	89
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	90
	Referências	93
	Anexos e Apêndices	99
A	Arquivos desenvolvidos no estudo de caso	101
A.1	Questionário	101
A.1.1	Objetivos do questionário	101

A.1.2	Questionário	101
A.1.3	Seção 1. Contextualização da empresa	102
A.1.4	Seção 2. Mensuração de riscos	105
A.2	Planilha no Microsoft Excel	115
A.2.1	Objetivos da planilha no Excel	115
A.2.2	Planilha	116
B	Informação da empresa	123
B.1	Dados da empresa	123
B.2	Operações	124
B.2.1	Equipamento	125
B.2.2	Matérias-primas	126
B.2.3	Produtos	127
B.2.4	Fornecedores e clientes	127
B.2.5	Controles de Qualidade do Produto	128
B.2.6	Normas Técnicas e selo de qualidade	129
B.2.7	Manutenção	129
B.3	Relatório Diário de Ocorrências e de Produção	130
C	Métodos MCDA	133
C.1	EVAMIX	133
C.2	ELECTRE	134
C.3	Fuzzy MCA	136
C.4	MAUT	138
C.5	MOP	140
C.6	NAIADE	141
C.7	PROMETHEE	143
C.8	REGIME	144
C.9	SMAA	146

Lista de ilustrações

2.1	Pesquisa bibliográfica na base de dados <i>Science Direct</i>	10
2.2	Pesquisa bibliográfica na base de dados <i>Science Direct</i>	10
2.3	Pesquisa bibliográfica na base de dados <i>Science Direct</i>	10
2.4	Processo de avaliação de risco	15
2.5	Hierarquia geral do AHP	46
3.1	Metodologia do trabalho	66
3.2	Matriz Probabilidade x Impacto, segundo metodologia FMEA	68
4.1	Gráfico de barras do cumprimento da meta de produção	73
4.2	Número de ciclos perdidos	74
4.3	Gráfico de linhas sobre tempo perdido por subprocessos	75
4.4	Gráfico de barras do custo aproximado por perdas na operação	75
4.5	Hierarquia com riscos internos	78
4.6	Hierarquia com riscos externos	78
4.7	Modelo Hierárquico gerado pelo software <i>Super Decisions</i>	79
4.8	Avaliação dos critérios gerado pelo software <i>SuperDecision</i>	80
4.9	Ponderação dos critérios	81
4.10	Avaliação por pares do nível de severidade dos riscos	83
4.11	Avaliação das Alternativas Quantitativamente e Qualitativamente . .	83
4.12	Inconsistência gerada pelo software <i>Super Decisions</i>	84
4.13	Rankings das causas internas	85
4.14	Rankings das causas externas	85
4.15	Mudança no Ranking no análise de sensibilidade para o critério Risco de qualidade do produto	87
A.1	Processo geral de fabricação de blocos pré-moldados	103
A.2	Método AHP em Microsoft Excel	116

A.3	Informação do decisor	117
A.4	Critérios e Alternativas do modelo proposto	118
A.5	Caracterização dos critérios	119
A.6	Aba "Julgamentos dos critérios"	120
A.7	Avaliação dos critérios aos pares	120
A.8	Avaliação dos subcritérios por pares	121
A.9	Pesos dos criterios	122
B.1	Processo de fabricação de pisos intertravados	124
B.2	Controle do processo	124
B.3	Maquina Vibro-prensa	126
B.4	Mapa dos fornecedores e clientes da CIVIL PRÉ-MOLDADOS	128
B.5	Relatório Diário de Ocorrências	130
B.6	Relatório Diário de Produção	131

Lista de tabelas

2.1	Escala Fundamental de Saaty	47
2.2	índice de Coerência Aleatória.	56
4.1	Ponderação das Alternativas, conforme o critério de risco operacional	82
4.2	Análise de sensibilidade	86
C.1	Escala para comparação difusa por pares	138

Lista de Quadros

2.1	Estratégias para riscos positivos (Oportunidades)	22
2.2	Estratégias para riscos negativos (Ameaças)	23
2.3	Avaliação de probabilidade de ocorrência dos Riscos.	24
2.4	Aplicabilidade das ferramentas utilizadas para a avaliação de riscos .	26
2.5	Lista de critérios de qualidade para os métodos MCDA	38
2.6	Resumo da comparação dos métodos - Componentes operacionais dos métodos	43
2.7	Resumo da comparação dos métodos - Aplicabilidade no contexto do usuário	44
2.8	Resumo da comparação dos métodos - Aplicabilidade para estrutura do problema	45
3.1	Características do método AHP	62

Lista de Abreviaturas

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland, p. 129
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 129
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i> , p. 34
AMD	Apoio Multicritério à Decisão, p. 33
ANP	<i>Analytic Network Process</i> , p. 34
BSOR	base de superior à de relações, p. 135
CR	Consistency Ratio, p. 55
DDS	Diário de Segurança, p. 81
DORT	Distúrbios Osteo musculares Relacionados ao Trabalho, p. 29
ELECTRE	<i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité</i> , p. 34
EVAMIX	<i>multi-criteria evaluation with mixed qualitative-quantitative data</i> , p. 34
HAZOP	<i>Hazard and operability</i> , p. 17
JIT	<i>Just in Time</i> , p. 2
LER	lesões por esforço repetitivo, p. 29
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i> , p. 34
MADM	<i>Multiple Attributes Decision Making</i> , p. 33
MAUT	<i>Multiple Attribute Utility Theory</i> , p. 34
MCDA	<i>Multi-Criteria Decision Analysis</i> , p. 9

MCDM	<i>Multi-Criteria Decision-Making</i> , p. 9
MODM	<i>Multiple Objectives Decision Making</i> , p. 33
MPS	p. 2
MRP	<i>Material Requirement Planning</i> , p. 2
NAIADE	<i>Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments</i> , p. 141
OHSAS	<i>Occupational Health and Safety Assesment Series</i> , p. 13
PCP	Planejamento e Controle da Produção, p. 2
PDCA	Planejar, Executar, Controlar e Agir, p. 13
PO	Pesquisa Operacional, p. 33
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation</i> , p. 34
RI	Random Consistency Index, p. 56
SMAA	Análise de aceitabilidade Estocástico Multiobjetivo, p. 146
SMART	Simple Multi-attribute Rating Technique , p. 139
SPR	sistema de relações de preferência, p. 134
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to ideal Solution</i> , p. 34
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> , p. 2

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização do tema

Os riscos que são considerados com maior severidade negativa para o negócio ou para a indústria nem sempre são os mesmos. Há situações que a depender de outros fatores externos podem surgir novos riscos, por vezes não identificados em avaliações anteriores.

A gestão de riscos na empresa é muito importante, pois, minimiza os custos mediante planos de contingência e de mitigação, adiciona um grande valor ao processo gerencial, e blinda os subprocessos de possíveis riscos. Tradicionalmente nas empresas, os gerentes são os responsáveis por '*apagar os incêndios*' causados por riscos não identificados ou não mitigados corretamente.

Nos processos de manufatura, dependendo do nível de complexidade nas operações, apresentam alguma probabilidade de ocorrência de impactos que influenciem na linha de produção. Normalmente as empresas levam um controle ou relatório diário de ocorrências, ou no relatório diário de produção, que identificam as causas que atrapalham o alcance da meta de produção, mas nem sempre estas causas são mitigadas, reduzidas ou zeradas.

Isto pode ser devido ao orçamento limitado da empresa o qual não atinge planos de mitigação ou contingência para todos os riscos identificados. Por isso é fundamental a etapa de identificação, avaliação e tratamento dos riscos. Normalmente os riscos mais importantes são selecionados segundo a expertise do tomador de decisão, seja da gerência ou chefia de operações (PECK, 2005).

Segundo Finch (2005), alguns dos problemas mais importantes que tem sofrido a área de produção durante anos são: produção de pequenos lotes a baixo custo;

níveis de qualidade e confiabilidade de entrega prometidos; mudanças na demanda de produto; introdução de novos produtos projetados pela engenharia; sobre-estoques e metas de utilização de equipamentos orçamentadas pela controladoria.

Na área de gestão de operações existem técnicas, sistemas, normas e metodologias que procuram aumentar a eficácia e efetividade das operações, como: FMEA, que permite identificar e prevenir problemas ou falhas em processos e/ou produtos; TPM , um sistema para eliminar perdas, reduzir paradas, garantir a qualidade e diminuir custos nas empresas com processos contínuos; *Lean Manufacturing* ou Manufatura enxuta, termo popularizado por James P. Womack e Daniel T. Jones no livro “A Mentalidade Enxuta nas Empresas *Lean Thinking*: Elimine o Desperdício e Crie Riqueza“, filosofia de gestão focada na redução de desperdícios; e Seis Sigma, Conjunto de práticas desenvolvidas para maximizar o desempenho dos processos dentro da empresa; ISO 31000:2009, Técnicas para Gestão de riscos; PCP; JIT, *Kanban*, MRP II; textitMaster Production Schedule MPS.

De acordo com Bernardes (2007), a liderança e competitividade da indústria é resultado do desempenho dos fabricantes, da manufatura. Uma boa gestão de riscos é muito importante para qualquer empresa, seja esta de pequeno, mediano ou grande porte, especialmente em tempos de crises, quando os recursos são limitados e devem ser planejados da melhor maneira.

Li e Chandra (2007), citam alguns riscos como os desastres naturais, e os causados artificialmente, como as greves dos trabalhadores, atrasos logísticos e ataques terroristas. Esses eventos podem causar uma descontinuidade na cadeia de suprimentos, causando aumento nos custos produtivos e queda nas ações da empresa. Entende-se por descontinuidade, os eventos que interrompem severamente o curso normal do negócio. O objetivo geral deste estudo de caso foi analisar fatores de risco na área de operações a fim de prever as possibilidades de descontinuidade nas operações para produção de blocos pré-moldados.

1.2 Definição do Problema

A gestão de riscos envolve certo grau de incerteza acerca do ambiente externo e dos processos internos, como a relação com fornecedores e clientes. Para identificar,

avaliar e tratar esses riscos ao curto e longo prazo, isso requer o uso de ferramentas de avaliação de riscos quantitativas e qualitativas. Algumas normas de gestão de riscos são: AS/NZS 4360:2004, OHSAS 18001:2007, e ISO 31000. Assim como ferramentas de avaliação de riscos como: matriz de probabilidade e impacto de riscos, árvores de falha, e simulação de Monte Carlo.

Entretanto muitas destas ferramentas não oferecem uma avaliação de riscos abrangente que inclua dados quantitativos e dados qualitativos, como opiniões dos gerentes e tomadores de decisões, na hora de selecionar os riscos mais importantes ou de identificar novos riscos criados pelas mudanças no cenário da indústria.

Contudo é importante enfatizar que não existe um método ótimo para a identificação de riscos. O melhor, realmente, é a combinação de várias metodologias (SCOFANO et al., 2013). A avaliação dos riscos utiliza a compreensão do risco obtida durante a análise de risco para tomar decisões sobre ações futuras. A qual consiste em comparar os níveis de risco estimado com critérios de risco definidos, a fim de determinar o nível e tipo de risco.

A gestão de risco é uma tomada de decisão complexa, pois o resultado é classificação daqueles riscos que merecem medidas preventivas apesar do custo relacionado.

Estes riscos representam grandes problemas para a empresa, como custos extras ou podem causar uma interrupção na cadeia de suprimentos dela. Por exemplo, o tempo perdido por manutenção corretiva ou por falhas ou pela falta de materiais, representa custo ao pagar aos operários sem estar produzindo nestes momentos, motivo de causa para não atingir a meta da produção (QUAYLE, 2006).

Segundo Colledani et al. (2014), entregar um produto com baixa qualidade esperada pelo cliente, pode tornar-se perda na imagem, ou custos extras por retirada e conserto dos produtos, como sucede no caso com os veículos com falhas ou que não cumprem as regras dos países.

Os riscos à propriedade consideram as perdas causadas por incêndios, explosões, vandalismo, roubo, sabotagem, acidentes naturais e danos a equipamentos e bens em geral. Os riscos relativos às pessoas, referem-se às doenças ocupacionais ou acidentes de trabalho que levam à incapacidade temporária, invalidez ou morte de colaboradores (RUPPENTHAL, 2013).

Segundo De Ciccio e Fantazzini (2003), os riscos ambientais são considerados

como riscos por responsabilidade, pelas perdas causadas pelo pagamento de indenizações a terceiros, responsabilidade ambiental. Menciona-se o maior risco acontecido no Brasil, pelo rompimento da barragem da mineradora Samarco, causando um grande risco ao ambiente, fauna e a comunidade local (BRASIL, 2016).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um estudo de Tomada de Decisão para auxiliar no planejamento das operações considerando os riscos operacionais, ambientais e risco à segurança ao ser humano e às instalações.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar as causas e consequências dos riscos operacionais, riscos ambientais, riscos de segurança e riscos de qualidade ao produto mediante revisão da literatura e pesquisas de campo.
2. Definir e hierarquizar o conjunto de critérios significativos para a avaliação de riscos nas operações.
3. Avaliar cada risco em relação ao conjunto de critérios, devidamente ponderados conforme a sua importância relativa, através do método AHP.
4. Abordar a identificação, mensuração, avaliação e tratamento de riscos usando o método AHP.
5. Utilizar as técnicas de gestão de riscos para a tomada de decisões operacionais.

1.4 Justificativa

O método AHP, desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1970, é muito utilizado para a tomada de decisões complexas com aplicação em muitas 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 consensualizada 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*.

No livro de "Métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios: aplicações na indústria aeroespacial", feito pela Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (2010), contém estudos de caso utilizando os métodos de MCDA pra resolução dos problemas anteriores, especificamente na indústria aeronáutica.

As metodologias de análise multicritério configuram-se em importante ferramenta de suporte ao processo de tomada de decisão para identificar e avaliar aqueles risco com maior impacto para organização. 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.

O estudo de caso realizado aborda a aplicação do AHP na gestão de riscos numa empresa industrial de pré-moldados, na Bahia, Brasil. Decisões deste tipo envolvem alta complexidade e sua efetividade requer controles detalhados no nível operacional, demandando tempo e recursos. Para avaliar as alternativas foram utilizados as previsões de probabilidade usando técnicas preditivas, os dados numéricos para equipamentos, humanos, organizações e sistemas de experiência operacional, contidas nos relatórios operacionais, a opinião dos especialistas.

1.5 Delimitações da Pesquisa

Com o alvo de cumprir os objetivos da pesquisa, é necessário conhecer os processos; os indicadores de produtividade; de tempo perdido por falhas em cada subprocesso e número de acidentes laborais. A maior parte dessa informação é considerada como confidencial por muitas empresas, contudo o alvo seja eliminar essas ineficiências.

A primeira empresa considerada para desenvolver o estudo de caso é da área farmacêutica, mas devido a suas políticas de confidencialidade, foi denegada a informação necessária. Contudo a empresa no estudo de caso, mostrou-se acessível e interessada com os possíveis resultados da pesquisa.

Também pela limitação do tempo da pesquisa, não foram feitos mais estudos de caso considerando outros tipos de indústrias, cujas avaliações dos critérios e alternativas foram distintas pelos impactos das operações no negócio, assim como a tomada de decisão em grupo, uma das principais vantagens do método AHP.

1.6 Estrutura da dissertação

A dissertação esta composta por cinco capítulos. No primeiro capítulo, na introdução, são apresentados a motivação e justificativa do projeto de dissertação, e os objetivos gerais e específicos.

No segundo capítulo, na pesquisa bibliográfica é apresentado o estado da arte sobre os dois temas principais relacionados ao tema de pesquisa que são: a gestão de risco e Métodos multicritérios para análise de decisão (MCDA) Na primeira subseção, explicam-se as normas e ferramentas normalmente utilizadas para identificar, mensurar e avaliar os riscos.

Na parte de MCDA, ou *Multi-Criteria Decision-Making* (MCDM), como se encontra na literatura, se descreve a importância da tomada de decisão, seja para aspectos pessoais ou empresariais, as características de uma decisão complexa. Logo uma análise sobre os MCDA, explicando seu modelo de construção e uma comparativa dos principais métodos. Esta parte é complementada no apêndice C.

No capítulo 3, é abordada a metodologia utilizada na dissertação, explicando a delimitação e caracterização da pesquisa, assim como da justificativa da seleção do método AHP, para a tomada de decisão.

No capítulo 4, é detalhado o estudo de caso real numa empresa de manufatura de pré-moldados, no estado da Bahia. Explica-se o contexto da indústria, assim como o problema relacionado a gestão de risco. Uma hierarquia é proposta para abordar diferentes riscos que atingem a produtividade das operações, possíveis riscos à segurança do funcionário, como acidentes laborais, e das instalações e equipamento. Assim como risco de responsabilidade, os quais são os riscos ambientais e riscos pela qualidade do produto. No anexo A, mostra-se o questionário utilizado para a coleta de dados, e as matrizes elaboradas para obter o ranking das alternativas.

Finalmente no capítulo 5, as conclusões são apresentadas, discutidas e comparadas, que demonstram que o modelo AHP é útil para as decisões de tomada gerencial nas operações. Também destacando suas limitações e sugestões de trabalhos futuros. A dissertação inclui quatro apêndices que reforçam a pesquisa bibliográfica, e parte do estudo de caso.

Capítulo 2

Revisão da literatura

A revisão da literatura compreende o estudo de dois grandes temas: a gestão de riscos e metodologias MCDA. O objetivo desta parte é fundamentar a base desta dissertação que é: a avaliação de riscos mediante uma análise multicritério.

Na seção de gestão de riscos, explica-se a metodologia desde a identificação de riscos, avaliação de riscos até o tratamento de riscos. Além de explicar as ferramentas mais usadas para avaliar o risco, contidas no ISO 31000.

Logo se explicam as complexidades do processo decisório, e como as *Multi-Criteria Decision-Making* (MCDM) ou *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA), aprimoram esse processo, existindo diferentes métodos

A revisão da literatura é feita usando a ***Science Direct***, porque essa é a base de dados de textos completos revisados por pares da Elsevier, que contém mais de 15.000 títulos de livros eletrônicos e mais de 2.500 títulos de revistas científicas em Ciência, Tecnologia e Medicina. Também contém mais de 25% de toda a informação científica publicada mundialmente.

A Figura 2.1 mostra o número de pesquisas com o termo AHP. Atualmente tem aproximadamente mais 170000 publicações, isso demonstra que esse método é altamente aplicado na tomada de decisões.

Sempre na mesma base dados, com os termos "MCDA" ou "gestão de riscos", encontrou-se mais de 5000 publicações (ver Figura 2.2). A Figura 2.3, ilustra o número de publicações por tópicos, relacionando o AHP. Por exemplo no estudo feito por Steele et al. (2009), é realizado uma análise de prós e contras do uso da metodologia MCDA, especificamente do AHP, para a tomada às decisões ambientais. Atualmente o uso "Fuzzy AHP" é tendência nas pesquisas de MCDA. Assim existem 250 publicações usando MCDA na gestão de riscos.

Figura 2.1: Pesquisa bibliográfica na base de dados *Science Direct*

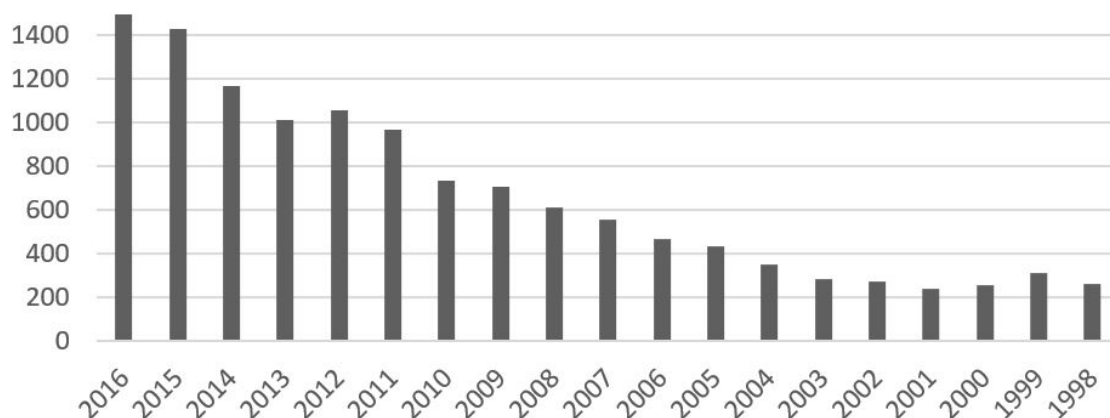


Figura 2.2: Pesquisa bibliográfica na base de dados *Science Direct*

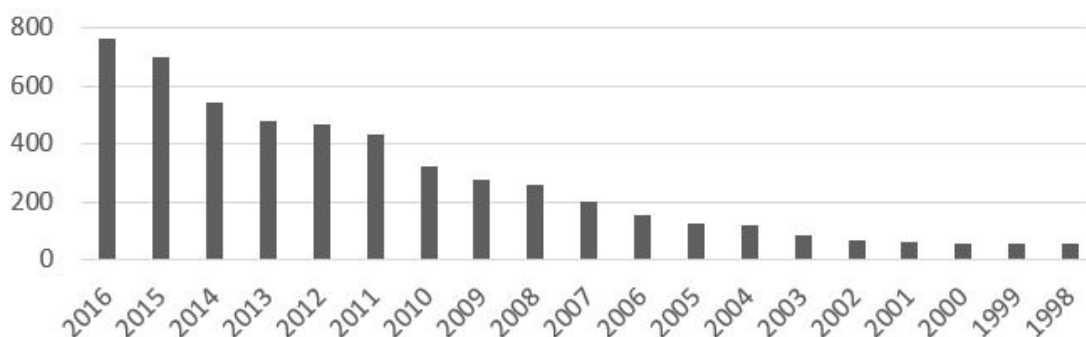
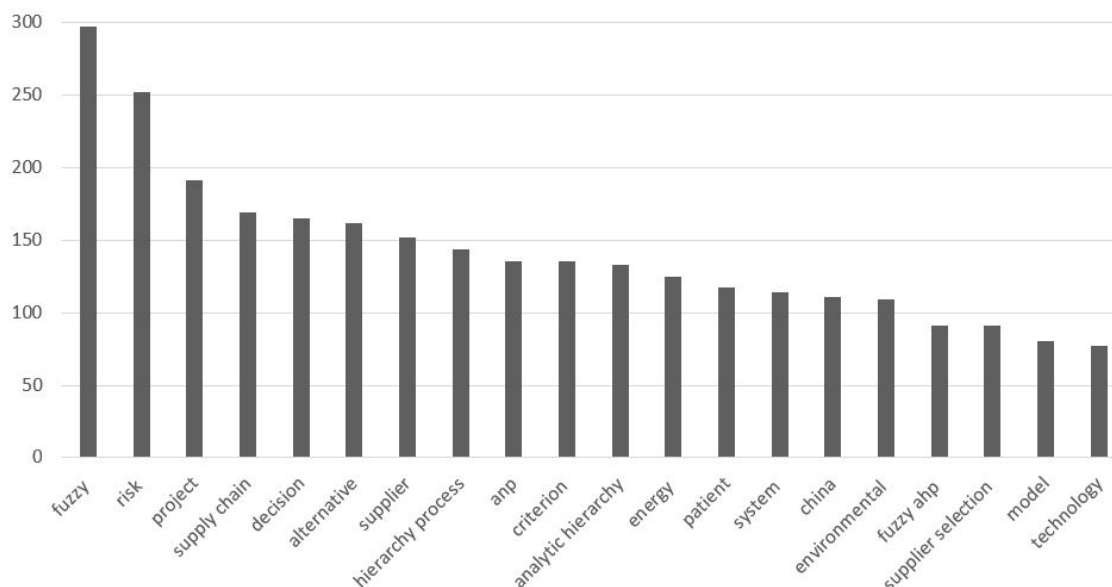


Figura 2.3: Pesquisa bibliográfica na base de dados *Science Direct*



2.1 Gestão de Risco

No contexto da história, os acidentes de trabalho passaram de eventos incontroláveis e aleatórios, para tornarem-se eventos indesejáveis e de causas conhecidas e evitáveis.

Modificando, assim, o processo tradicional de segurança, baseado-se em trabalhos estatísticos (RUPPENTHAL, 2013).

Também foi com o surgimento das primeiras indústrias que os acidentes de trabalho e as doenças profissionais se alastraram, tomando grandes proporções. Os acidentes de trabalho e as doenças eram provocados por substâncias e ambientes inadequados devido às condições em que as atividades fabris se desenvolviam. Melhoras surgiram com trabalhadores especializados e treinados para manusear equipamentos complexos que necessitavam cuidados especiais para garantir maior proteção e melhor qualidade (BIROLINI, 2014).

O termo risco é originado do latim *risicu* ou *riscu*, que significa ousar, proveniente de um pensamento embasado em algo negativo ou que pode não dar certo. Porém, atualmente esta visão foi remodelada com a inclusão da qualificação e da quantificação dos riscos e os possíveis ganhos ou perdas em um planejamento tanto em âmbito profissional quanto pessoal (SCOFANO et al., 2013).

O risco é definido como elementos incertos às expectativas, aquilo que age constantemente sobre os objetivos, as metas e os meios estratégicos (pessoas, processos, informação e comunicação), influenciando o ambiente e provocando prejuízos. Entretanto, quando bem gerenciados, criam oportunidades de ganhos financeiros, de reputação e de relacionamento (Camargo Júnior et al., 2013).

As atividades em todos os âmbitos carregam em si riscos de diversas naturezas que podem vir a gerar prejuízos ou oportunidades. Dessa forma as decisões devem ser acompanhadas de uma análise bem substanciada dos objetivos a serem alcançados analisando-se todas as contrapartidas envolvidas, permitindo assim que maiores riscos assumidos venham a resultar melhores resultados (ESTEVES, 2015).

A gerência de riscos convive com o ser humano desde os primórdios da civilização, pois o homem sempre esteve envolvido com riscos e com decisões sobre estes riscos. Antes mesmo da existência dos gerentes de risco, indivíduos tem se dedicado a tarefas e funções relacionadas à segurança do trabalho e patrimonial, proteção contra incêndios, controle de qualidade, inspeções e análises de riscos para fins de seguro, análises técnicas de seguro e outras atividades semelhantes (YOUNG, 2001).

Assim, a gerência de riscos é a ciência, a arte e a função que visa a proteção dos recursos humanos, materiais e financeiros de uma empresa. A gerência de riscos, na

indústria moderna, iniciou após a segunda guerra mundial, devido à rápida expansão das indústrias e crescimento dos riscos incorporados. Dessa forma, tornou-se imprescindível garantir a proteção da empresa em relação aos riscos de acidentes (RUPPENTHAL, 2013).

Além da avaliação das probabilidades de perdas, a necessidade de determinar quais são os riscos inevitáveis, assim como, os que poderiam ser diminuídos, passaram a ser calculados frente a relação custo e benefício das medidas de proteção a serem adotadas. Também, passou-se a levar em consideração a situação financeira da empresa para a escolha adequada do seu grau de proteção. Nesse contexto, os objetivos somente seriam atingidos por meio de uma análise detalhada das situações de risco (TANG; MUSA, 2011).

O propósito da avaliação de risco é fornecer informações baseadas em evidências e análises para tomar decisões informadas sobre como tratar riscos específicos e como selecionar os com maior severidade. Segundo Rosa e Toledo (2015), alguns dos principais benefícios da realização de avaliação de risco incluem:

- a compreensão do risco e seu impacto potencial sobre os objetivos;
- comunicação dos riscos e incertezas e seu planos de mitigação ou contingência;
- ajudar com o estabelecimento de prioridades;
- contribuir para a prevenção de incidentes com base em investigação após o incidente;
- seleção de diferentes formas de tratamento de riscos;
- cumprir os requisitos regulamentares e
- fornecer informações que ajudarão a avaliar se o risco deve ser aceito, quando comparado com critérios pré-definidos.

2.1.1 Normas sobre gerenciamento de riscos

AS/NZS 4360:2004

A primeira norma sobre sistema de gestão de riscos empresariais, criada na Austrália, é a AS/NZS 4360:2004 (Australian/New Zealand Standard). Esta norma

fornece um guia genérico para o gerenciamento de risco que pode ser aplicado a uma vasta gama de atividades, decisões ou operações em comunidades, empresas públicas ou privadas, grupos ou indivíduos (MCCARTY; POWER, 2000; KAHRAMAN; CEBECI; & Ulukan, 2003).

A norma OHSAS 18001:2007

Esta versão da norma de Sistemas de Gestão da Saúde e Segurança do Trabalho, muito aplicada em todo o planeta e também no Brasil, vai ser substituída pela norma ISO 41001. A OHSAS 18001, estabelece os requisitos para um Sistema de Gestão de Segurança e Saúde no Trabalho, por meio de uma política com objetivos e monitoramento do desempenho (RAFAELI; MÜLLER, 2007; SOUZA; EVANGELISTA, 2013).

A OHSAS 18001, é uma norma de caráter preventivo que visa a redução e controle dos riscos no ambiente de trabalho, seguindo a abordagem PDCA – Planejar, Executar, Controlar e Agir.

A norma poderá criar um maior comprometimento da organização com relação a saúde e a segurança no trabalho e atendimento às leis aplicáveis à área, contribuindo para um ambiente de trabalho mais seguro e produtivo.

Esta norma foi elaborada para ser aplicável em organizações de qualquer porte, segmento de mercado e em qualquer lugar do mundo.

ISO 31000

A série de normas ISO 31000 trata da gestão de riscos e no Brasil ela é normalizada pela ABNT (SOUZA; EVANGELISTA, 2013).

A **ISO 31000:2009** é uma norma de gestão de riscos com reconhecimento internacional e não tem finalidade de certificação, também fornece princípios e diretrizes para a gestão de riscos. Tem aplicabilidade para qualquer empresa pública, privada ou comunitária, associação, grupo ou indivíduo e não é específica para qualquer indústria ou setor. Pode ser aplicada a qualquer tipo de risco, independentemente da sua natureza, quer tenha consequências positivas ou negativas. Fornece uma abordagem comum para apoiar as normas que tratam de riscos e/ou setores específicos e, assim, não substituí-las (International Organization for Standardization, 2009).

A **ISO Guia 73:2009** fornece as definições de termos genéricos relacionados com a gestão de riscos. O objetivo é incentivar a compreensão mútua e consistente, por meio de uma abordagem coerente sobre a descrição das atividades, relacionada com a gestão do risco. Também define uma terminologia uniforme de gerenciamento de riscos em processos e estruturas que lidam com a gestão do risco (ESTEVES, 2015).

A **NBR ISO/IEC 31010:2012** – "Gestão de riscos e Técnicas para o processo de avaliação de riscos" é uma norma de apoio à NBR ISO 31000 que fornece orientações sobre a seleção e aplicação de técnicas sistemáticas para o processo de avaliação de riscos. O processo de avaliação de riscos, conduzido de acordo com essa norma, contribui para outras atividades de gestão de riscos. A aplicação de uma série de técnicas é introduzida, com referências específicas a outras normas, em que o conceito e a aplicação de técnicas são descritos mais detalhadamente (ROSA; TOLEDO, 2015).

2.1.2 O processo de gestão de riscos

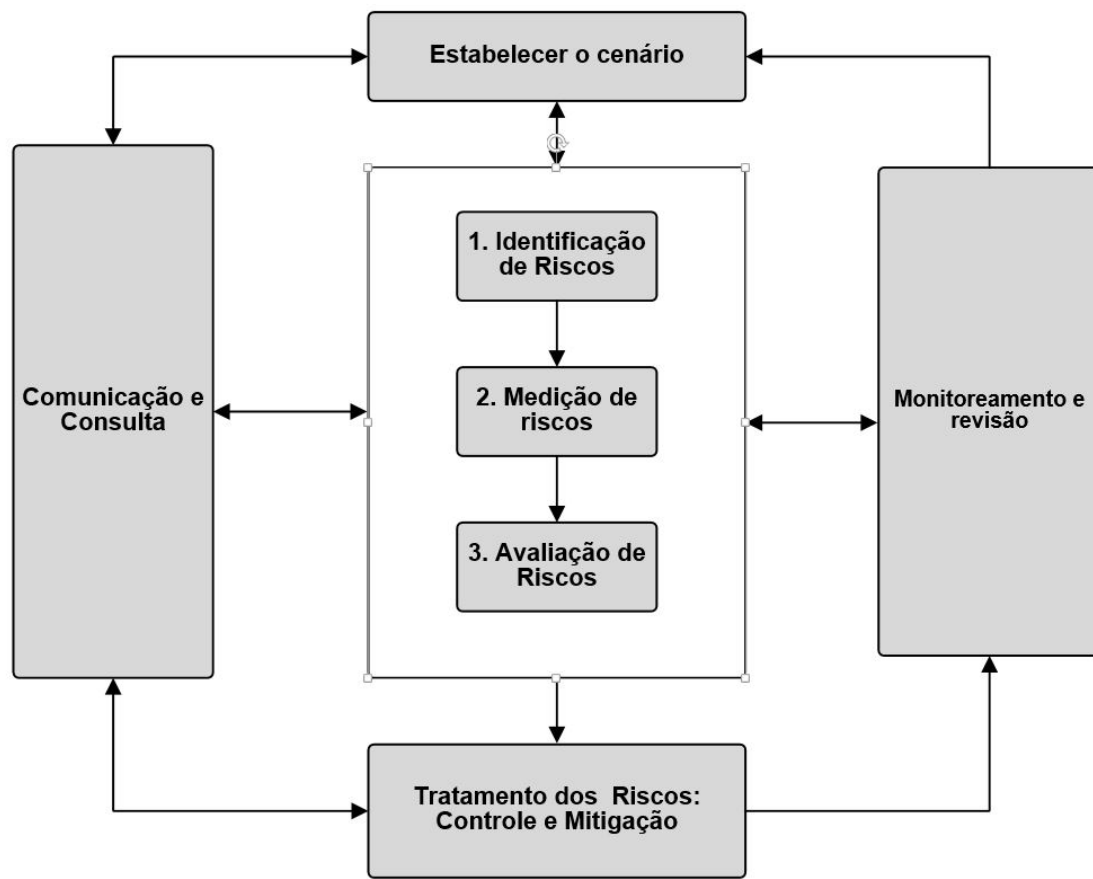
Na Figura 2.4, ilustra-se o processo contínuo e sistemático que é a gestão de riscos. Segundo a norma ABNT NBR ISO 31000:2009, o método inicia com a escolha de um contexto para em seguida identificar, analisar, estimar, tratar, monitorar e comunicar os riscos associados a alguma atividade, função ou processo da organização.

O gerenciamento deve ser visto como parte da cultura interna, tomando lugar em sua filosofia, práticas e processos, visando compor a gestão estratégica da empresa. A gestão eficaz e eficiente dos riscos tende a alavancar os objetivos organizacionais com menores custos.

Na seção de gestão de riscos no "PMBOK" sugere uma avaliação de risco feito por todas as partes interessadas e responsáveis do processo e negócio (PMI, 2013). Também pode se incluir a avaliação de outros gestores de riscos externos à empresa.

A avaliação de riscos inclui os elementos centrais do processo de gestão de riscos os quais são definidos na norma ISO 31000 e contem os seguintes elementos:

Figura 2.4: Processo de avaliação de risco



Fonte: Adaptado de International Organization for Standardization (2009)

Comunicação e consulta

Uma avaliação de riscos bem sucedida depende de uma comunicação eficaz e de consulta com as partes interessadas. As partes interessadas devem contribuir para a interface do processo de avaliação de risco com outras disciplinas da gestão, incluindo a gestão da mudança, gestão do programa, bem como da gestão financeira (GHADGE et al., 2011).

Envolver as partes interessadas no processo de gestão de riscos ajudará a: desenvolver de um plano de comunicação; definir o contexto apropriadamente; assegurar que os interesses das partes interessadas são entendidas e consideradas; reunir diferentes áreas de conhecimento para a identificação e análise de riscos; assegurar que os diferentes pontos de vista sejam devidamente considerados na avaliação dos riscos; assegurar que os riscos são devidamente identificados; e garantir apoio e suporte para um plano de tratamento.

Estabelecendo o contexto

Segundo Tomas e Alcantara (2013), estabelecer o contexto é definir os parâmetros básicos para a gestão do risco, o escopo e os parâmetros internos e externos relevantes para a organização como um todo.

Estabelecer o contexto externo envolve a familiarização com o ambiente em que a organização e o sistema opera, incluindo: fatores ambientais culturais, políticos, legais, regulatórios, financeiros, econômicos e competitivos, seja internacional, nacional, regional ou local; os principais impulsionadores e tendências que têm impacto sobre os objetivos da organização; e as percepções e valores de partes interessadas externas.

Estabelecer o contexto interno envolve a compreensão de: capacidades da organização em termos de recursos e conhecimento; fluxos de informação e processos de tomada de decisão; partes interessadas internas; os objetivos e as estratégias que estão em vigor para alcançá-los; padrões e modelos de referência adotado pela organização; e estruturas (por exemplo, governança, papéis e responsabilidades).

Identificação de riscos

A identificação dos riscos é o processo de encontrar, reconhecer e gravar riscos. O propósito da identificação de riscos é identificar o que poderia acontecer ou que situações podem existir que possam afetar a realização dos objetivos do sistema ou organização. Uma vez que o risco é identificado, a organização deve identificar quaisquer controles existentes, tais como características de design, pessoas, processos e sistemas (TOMAS; ALCANTARA, 2013).

O processo de identificação de riscos inclui a identificação das causas e fontes de risco, eventos, situações ou circunstâncias que poderiam ter um impacto material sobre os objetivos e a natureza desse risco ou impacto.

Os métodos de identificação podem incluir:

- métodos baseados em evidências, exemplos dos quais são listas de verificação e as revisões de dados históricos;
- uma equipe de especialistas seguindo um processo sistemático para identificar os riscos por meio de um conjunto estruturado de avisos e perguntas;

- técnicas de raciocínio indutivo, como *Hazard and operability* (HAZOP).

Várias técnicas de suporte podem ser usadas para melhorar a precisão e integridade na identificação de riscos, incluindo *brainstorming*, e a metodologia Delphi. Independentemente das técnicas atuais empregadas, é importante que o devido reconhecimento seja dado a fatores humanos e organizacionais na identificação de riscos. Assim, desvios de fatores humanos e organizacionais do esperado devem ser incluídos no processo de identificação de riscos (YOUNG, 2001).

Análise de riscos

A análise de risco é sobre o desenvolvimento de uma compreensão do risco. Ele fornece uma entrada para avaliação de riscos e às decisões sobre se os riscos precisam ser tratados e sobre as estratégias de tratamento mais adequadas e métodos.

A análise de risco consiste em determinar as consequências e suas probabilidades para eventos de risco identificados, tendo em conta a presença ou não, e a eficácia de quaisquer controles existentes. As consequências e suas probabilidades são então combinadas para determinar um nível de risco (ROSA; TOLEDO, 2015).

A análise de risco envolve a consideração das causas e fontes de risco, as suas consequências e a probabilidade de que essas consequências podem ocorrer. Fatores que afetam consequências e probabilidade devem ser identificados. Um evento pode ter várias consequências e pode afetar múltiplos objetivos.

Em algumas circunstâncias, podem ocorrer como um resultado de uma variedade de diferentes eventos ou condições, ou onde o evento específico não é identificado. Neste caso, o foco da avaliação de risco é ao analisar a importância e vulnerabilidade dos componentes do sistema com vista a definir os tratamentos que se relacionam com níveis de estratégias de proteção ou recuperação (PMI, 2008).

Os métodos utilizados na análise de riscos podem ser qualitativos, semi-quantitativos ou quantitativos. O grau de detalhe exigido dependerá da aplicação em particular, a disponibilidade de dados fiáveis e as necessidades da organização de tomada de decisão. Uma avaliação qualitativa define consequência, a probabilidade e o grau de risco por níveis de significância, como "alto", "médio" e "baixo", pode combinar consequência e probabilidade, e avalia o nível resultante do risco em relação a critérios qualitativos (CAETANI, 2014).

Os métodos semi-quantitativos usam escalas de avaliação numéricas por consequência e probabilidade. As escalas podem ser linear ou logarítmica, ou têm alguma outra relação; as fórmulas utilizadas também podem variar. A análise quantitativa estima valores práticos para consequências e suas probabilidades, e produz valores do nível de risco em unidades específicas definidas no desenvolvimento do contexto (HYUN et al., 2015).

Segundo Tan et al. (2014), nos casos em que a análise é qualitativa é realizada, deve haver uma explicação clara de todos os termos utilizados e a base para todos os critérios devem ser gravados. Mesmo quando a quantificação completa foi realizada, tem de ser reconhecido que os níveis de risco calculados são estimados. Os níveis de risco devem ser expressos em termos mais adequados para esse tipo de risco e de uma forma que auxilia a avaliação de risco. Em alguns casos, a magnitude de risco pode ser expressa como uma distribuição de probabilidade sobre uma gama de consequências.

A análise de consequências pode variar de uma simples descrição dos resultados da análise de modelagem ou uma análise de vulnerabilidade quantitativa detalhada. Os impactos podem ter uma baixa consequência, mas alta probabilidade, ou um alto consequência e baixa probabilidade, ou algum resultado intermediário. Em alguns casos, é adequado para se concentrar em riscos com potencial muito grandes resultados, uma vez que estas são muitas vezes de maior preocupação para os gestores. Em outros casos, pode ser importante para analisar os riscos elevados e baixos consequência separadamente.

Segundo a International Organization for Standardization (2009), três abordagens gerais são utilizados para estimar a probabilidade, eles podem ser utilizados individualmente ou em conjunto. Estes são:

1. **O uso de dados históricos relevantes**, para identificar eventos ou situações que ocorreram no passado e, portanto, ser capaz de extrapolar a probabilidade de sua ocorrência no futuro. Os dados utilizados devem ser relevantes para o tipo de sistema, instalação, organização ou atividade que está sendo considerada e também para os padrões operacionais da organização envolvida.

Se historicamente há uma muito baixa frequência de ocorrência, em seguida, qualquer estimativa de probabilidade será muito incerta. Isso se aplica especi-

almente para zero ocorrências, quando não se pode assumir o evento, situação ou circunstância não ocorrerá no futuro.

2. **Previsões de probabilidade usando técnicas preditivas**, como análise de árvore de falhas e análise de árvore de eventos. Quando os dados históricos não estão disponíveis ou insuficientes, é necessário derivar probabilidade pela análise do sistema, atividade, equipamento ou organização e seus fracassos ou sucessos. Os dados numéricos para equipamentos, humanos, organizações e sistemas de experiência operacional, ou fontes de dados publicados são então combinadas para produzir uma estimativa da probabilidade do evento topo.
3. **A opinião dos especialistas** pode ser utilizada em um processo sistemático e estruturado para estimar a probabilidade. Juízos periciais devem basear-se em todas as informações disponíveis relevantes, incluindo histórico, específico do sistema, específico-organizacional, experimental, desenho. Há uma série de métodos formais para induzir a opinião dos peritos que fornecem uma ajuda para a formulação de perguntas adequadas. Os métodos disponíveis incluem a abordagem Delphi, as comparações em pares como AHP, classificação categoria e juízos de probabilidade absolutos.

Os riscos podem ser avaliados a fim de identificar os riscos mais significativos, ou para excluir os riscos menos significativos ou menores de uma análise mais aprofundada. O objetivo é garantir que os recursos serão centrados nos riscos mais importantes. Segundo Tomas e Alcantara (2013), devem ser tomados os cuidados para não filtrar os baixos riscos que ocorrem com frequência e têm um efeito cumulativo significativo. A triagem deve ser baseada em critérios definidos no contexto. A análise preliminar determina uma ou mais das seguintes ações:

- decidir tratar riscos sem uma avaliação mais aprofundada;
- retirar o risco insignificante que não justifique um tratamento;
- proceder à avaliação mais detalhada dos riscos.

Existem muitas vezes incertezas consideráveis associadas com a análise de risco. Uma compreensão das incertezas é necessária de interpretar e comunicar os resultados de análise de risco eficaz. A análise de incertezas associadas com dados, métodos

e modelos utilizados para identificar e analisar o risco desempenha um papel importante na sua aplicação. A análise da incerteza envolve a determinação da variação de imprecisão nos resultados, resultante da variação colectiva nos parâmetros e pressupostos utilizados para definir os resultados. Uma área intimamente relacionada com a análise de incertezas é a análise de sensibilidade (PMI, 2008).

A análise de sensibilidade envolve a determinação do tamanho e da importância da magnitude de risco para mudanças nos parâmetros de entrada individuais. Ela é usada para identificar os dados que necessitam de ser precisas, e aquelas que são menos sensíveis e, portanto, têm menos efeito sobre a precisão global. A integridade e precisão da análise de risco devem ser declaradas, tanto quanto possível. As fontes de incerteza devem ser identificadas sempre que possível e deve tratar os dados e incertezas do modelo. Os parâmetros para os quais a análise é sensível e o grau de sensibilidade deve ser indicado (SALOMON, 2005).

Avaliação de risco

Os riscos podem ser avaliados em um nível organizacional, a nível departamental, para projetos, atividades individuais ou de riscos específicos. Diferentes ferramentas e técnicas podem ser apropriadas em distintos contextos. A avaliação de risco fornece uma compreensão dos riscos, suas causas, consequências e suas probabilidades (ESTEVES, 2015). Isto fornece a entrada para decisões sobre:

1. se uma atividade deve ser realizada;
2. como maximizar oportunidades;
3. se os riscos precisam ser tratados;
4. escolher entre opções com diferentes riscos;
5. priorizar as opções de tratamento de riscos;
6. a seleção mais adequada de estratégias de tratamento de riscos que vão trazer riscos adversos a um nível tolerável.

A avaliação de riscos consiste em comparar os níveis de risco estimados com critérios de risco definidos, a fim de determinar o significado do nível e tipo de risco.

A avaliação dos riscos utiliza a compreensão do risco obtida durante a análise de risco para tomar decisões sobre ações futuras.

A natureza das decisões que precisam ser feitas e os critérios que serão utilizados para tomar essas decisões foram decididos ao estabelecer o contexto, mas eles precisam ser revisitados com mais detalhes nesta fase agora que mais se sabe sobre os riscos específicos identificados.

A estrutura mais simples para a definição de critérios de risco é um único nível que divide os riscos que necessitam de tratamento daqueles que não o fazem. Isto dá resultados atraente mente simples, mas não reflete as incertezas envolvidas tanto na estimativa de riscos e na definição da fronteira entre aqueles que precisam de tratamento e aqueles que não o fazem.

Tratamento de riscos

Após ter completado uma avaliação de risco, o tratamento do risco envolve a seleção e concordando com um ou mais relevantes opções para alterar a probabilidade de ocorrência, o efeito dos riscos, ou ambos, e implementar essas opções. Isto é seguido por um processo cíclico de reavaliar o novo nível de risco, tendo em vista a determinação da sua tolerabilidade em relação aos critérios previamente definidos, a fim de decidir se o tratamento posterior é necessária (Camargo Júnior et al., 2013).

Após a análise qualitativa dos riscos (uma matriz de probabilidade e impacto) os riscos identificados como necessários de serem tratados serão abordados pelas estratégias de riscos (positivos ou negativos) descritas nos Quadros 2.1 e 2.2.

Com a seleção de uma ou mais estratégias para responder a um risco, um plano de ação deve ser elaborado, sendo identificados responsáveis e, se for o caso, prazos e custos associados à realização de cada ação de resposta.

Quadro 2.1: Estratégias para riscos positivos (Oportunidades)

ESTRATÉGIA	AÇÃO DE RESPOSTA
Melhora	Procura aumentar a probabilidade de ocorrência ou os impactos positivos sobre o projeto, identificando e maximizando as possibilidades de sua ocorrência.
Compartilhamento	Procura atribuir a propriedade a terceiros que possam capturar melhor a oportunidade (por exemplo, através de parcerias ou joint ventures)
Exploração	Procura formas de garantir que o risco positivo aconteça. Tenta eliminar a incerteza de ocorrência fazendo com que a oportunidade realmente se concretize.
Aceitação	Esta técnica indica que a equipe do projeto decidiu não mudar o Plano do Projeto para lidar com um risco ou é incapaz de identificar qualquer outra estratégia factível de resposta. Uma Aceitação Ativa pode ser o desenvolvimento de um Plano de Contingencia a ser executado, se um risco ocorrer. Uma Aceitação Passiva não requer nenhuma ação, deixando a equipe de projeto com a responsabilidade de lidar com os riscos se eles ocorrerem.

Fonte: Baseado em Montis et al. (2000)

Quadro 2.2: Estratégias para riscos negativos (Ameaças)

ESTRATÉGIA	AÇÃO DE RESPOSTA
Evitar	Evitar o risco é mudar o Plano do Projeto para eliminar o risco ou condição, ou para proteger os objetivos do projeto de seu impacto. Embora a equipe de projeto nunca consiga eliminar todos os eventos de risco, alguns riscos específicos podem ser eliminados.
Transferir	Transferência de riscos e tentar passar legalmente as consequências de um risco, assim como a responsabilidade de resposta para uma terceira parte, através de seguros ou cláusulas contratuais. Transferir o risco simplesmente coloca na outra parte a responsabilidade de gerenciá-lo, mas não o elimina.
Mitigar	A mitigação busca reduzir as consequências e/ou a probabilidade de um evento de risco adverso para uma tolerância aceitável. Tomar antecipadamente ações para reduzir a probabilidade de um risco acontecer ou o seu impacto é mais efetivo do que tentar reparar as consequências depois que elas ocorrerem. Os custos de mitigação devem ser compatíveis com a probabilidade esperada do risco e suas consequências.
Aceitar	Esta técnica indica que a equipe do projeto decidiu não mudar o Plano do Projeto para lidar com um risco ou é incapaz de identificar qualquer outra estratégia factível de resposta. Uma Aceitação Ativa pode ser o desenvolvimento de um Plano de Contingencia a ser executado se um risco ocorrer. Uma Aceitação Passiva não requer nenhuma ação, deixando a equipe de projeto com a responsabilidade de lidar com os riscos se eles ocorrerem.

Fonte: Baseado em Montis et al. (2000)

No quadro 2.3, mostra-se um exemplo desenvolvido por Montis et al. (2000), no qual descrevem a resposta ao risco dependendo do produto P x I.

Quadro 2.3: Avaliação de probabilidade de ocorrência dos Riscos.

ANÁLISE DE RISCOS					
Risco	Ocorrência		P X I	Resposta ao Risco	Descrição
	Prob.	Impacto			
Problemas Políticos	10 %	Alto	0,04	Aceitação Passiva	—
	0,1	0,4			
Problema na Licitação	30 %	Moderado	0,06	Evitação	Consulta Jurídica
	0,3	0,2			
Recursos Financeiros	50 %	Alto	0,20	Mitigação	Plano de Custos
	0,5	0,4			
Aumento dos Custos	70 %	Alto	0,28	Aceitação Ativa	Prever no Orçamento
	0,1	0,4			
Reclamações de terceiros	90 %	Moderado	0,18	Transferência	Fazer Seguro
	0,3	0,2			

Fonte: Baseado em Montis et al. (2000)

A decisão sobre a maneira de como tratar o risco pode depender dos custos e benefícios de tomar o risco e os custos e benefícios da implementação de controles melhorados. Uma abordagem comum é dividir os riscos em três faixas:

1. uma banda superior, onde o nível de risco é considerado intolerável quaisquer benefícios que a atividade pode trazer, o tratamento de riscos é essencial independentemente do seu custo;
2. a faixa do meio, onde os custos e benefícios são tidos em conta e as oportunidades equilibradas contra potenciais consequências;
3. uma banda inferior, onde o nível de risco é considerado como insignificante ou tão pequenas que não são necessárias medidas de tratamento dos riscos.

Monitoramento de riscos

O processo de avaliação de riscos deve ser documentada em conjunto com os resultados da avaliação. Os riscos devem ser expressos em termos compreensíveis, e as unidades em que o nível de risco é expresso deve ser clara. A extensão do relatório dependerá dos objetivos e escopo da avaliação.

O processo de avaliação de risco irá destacar o contexto e outros fatores que podem ser esperados para variar ao longo do tempo e que poderiam alterar ou invalidar a avaliação dos riscos. Esses fatores devem ser identificados especificamente para o monitoramento e avaliação em curso, de modo que a avaliação do risco pode ser atualizada quando necessário (TAZELAAR; SNIJDERS, 2013).

Também os dados a serem monitorados, devem ser identificados e recolhidos, a fim de aperfeiçoar a avaliação de risco. A eficácia dos controles, também devem ser monitorizados e documentadas de modo a fornecer dados para uso na análise de risco. Responsabilidades para a criação e revisão das evidências e documentação devem ser definidas. Como a atividade de rendimentos, avaliação de risco podem ser usados para fornecer informações para auxiliar no desenvolvimento de procedimentos para condições normais e de emergência.

2.1.3 Ferramentas utilizadas na gestão de riscos

Segundo a ABNT NBR ISO 31000:2009, existem muitas ferramentas utilizadas na gestão de riscos, desde a identificação de risco até a avaliação destes (PMI, 2013).

O Quadro 2.4 ajuda ao gestor de risco saber quais são ferramentas altamente aplicáveis e quais não são para cada etapa da gestão de risco. Por exemplo, a técnica de *Brainstorming* ou tempestade de ideias, é altamente aplicável para a identificação de riscos, mas não para análise ou avaliação.

Também pode destacar-se a metodologia MCDA utilizada no estudo de caso. Segundo o Quadro 2.4, o MCDA é altamente aplicável (AA) na análise do nível de risco, tendo em consideração a consequência e a probabilidade. Da mesma forma, a matriz "Probabilidade e Consequência", é altamente aplicável em todo o processo .

Quadro 2.4: Aplicabilidade das ferramentas utilizadas para a avaliação de riscos

FERRAMENTAS E TÉCNICAS	PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE RISCOS				
	IDENTIFICAÇÃO	ANÁLISE			AVALIAÇÃO
		CONSEQUÊNCIA	PROBABILIDADE	NÍVEL DE RISCO	
<i>Brainstorming</i>	AA	NA	NA	NA	NA
Entrevistas Estruturadas ou Semi-Estruturadas	AA	NA	NA	NA	NA
Técnica de Delphi	AA	NA	NA	NA	NA
<i>Checklists</i>	AA	NA	NA	NA	NA
Análise Preliminar de Perigos (APP)	AA	NA	NA	NA	NA
Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP)	AA	AA	A	A	A
Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (HACCP)	AA	AA	NA	NA	AA
Avaliação de Riscos Ambientais	AA	AA	AA	AA	AA
Técnica Estruturada de <i>What-If</i> (SWIFT)	AA	AA	AA	AA	AA
Análise de Cenários	AA	AA	A	A	A
Análise de Impactos no Negócio (BIA)	A	AA	A	A	A
Análise de Causa-Raiz (RCA)	NA	AA	AA	AA	AA
Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA)	AA	AA	AA	AA	AA
Análise de Árvore de Falhas (FTA)	A	NA	AA	A	A
Análise de Causa e Consequência	A	AA	AA	A	A
Análise de Camadas de Proteção (LOPA)	A	AA	A	A	NA
Análise de Árvore de Decisões	NA	AA	AA	A	A
Análise de Confiabilidade Humana (HRA)	AA	AA	AA	AA	A
Análise da Gravata Borboleta (<i>Bow-Tie Analysis</i>)	NA	A	AA	AA	A
Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM)	AA	AA	AA	AA	AA
Simulação de Monte Carlo	NA	NA	NA	NA	AA
Índices de Risco	A	AA	AA	A	AA
Matriz de Probabilidade/ Consequência	AA	AA	AA	AA	A
Análise de Custo-Benefício (CBA)	A	AA	A	A	A
Análise de Decisão por Multicritérios (MCDA)	A	AA	A	AA	A

AA = Altamente Aplicável, A= Aplicável, NA= Não Aplicável

Fonte: adaptado de International Organization for Standardization (2009)

2.1.4 Riscos abordados no estudo

Risco operacional ou de produção

Os riscos de produção são relativos às incertezas quanto ao processo produtivo das empresas, na fabricação de produtos ou prestação de serviços, na utilização de materiais e equipamentos, mão de obra e tecnologia (ALBERTON, 1996).

O risco operacional é definido como o risco da perda na produtividade ou que pode aumentar os custos da operação, resultado dos processos internos inadequados ou falhas, dos operadores, e dos sistemas, ou dos eventos externos (YOUNG, 2001). Eles ocasionam tempo perdidas, paradas não controladas, manutenção corretiva.

As soluções desenvolvidas para lidar com esses riscos devem ser examinadas do ponto de vista de longo e curto prazo, e deve fornecer ao gerente de projeto com um argumento forte, estruturado para defender a sua posição. Como muitos estudos têm apontado, as medidas tomadas no início do desenvolvimento de um processo tem um efeito importante sobre o desempenho global e custo.

Risco de qualidade do produto

É quando um produto não atinge as características, que exige a qualidade. Este produto pode ser re-processado ou vendido por um preço menor (TANG; MUSA, 2011).

Segundo Silva (2006), a importância da qualidade em qualquer ramo de atividade não pode ser apenas vista como um diferencial, mas sim como uma das únicas formas de manter-se competitivo, buscando a cada dia novas maneiras de melhorias na cadeia produtiva, buscando a satisfação do cliente, consequentemente um aumento nas vendas e receitas da organização.

Diante de um mundo globalizado onde as barreiras sócio-econômicas estão diminuindo, cada vez mais os clientes estão buscando produtos e serviços com qualidade e as empresas têm que se adequar a este cenário eliminando atividades que não agregam valor, oferecendo produtos com qualidade e valor reduzido (TAZELAAR; SNIJDERS, 2013).

Riscos de segurança ao ser humano

As cifras correspondentes aos acidentes do trabalho representam um grande risco para qualquer empresa e para o país também. Pois, aparecem sob a forma de gastos com assistência médica e reabilitação dos trabalhadores incapacitados, indenizações e pensões pagas aos acidentados ou suas famílias, prejuízos financeiros decorrentes de paradas na produção, danos materiais aos equipamentos, perdas de materiais, atrasos na entrega de produtos e outros imprevistos que prejudicam o andamento normal do processo produtivo.

A segurança do trabalho, para ser entendida como prevenção de acidentes na indústria, deve preocupar-se com a preservação da integridade física do trabalhador, mas também precisa ser considerada como fator de produção.

Em média, cerca de 700 mil casos de acidentes de trabalho são registrados anualmente no Brasil, sem contar os casos não notificados oficialmente, de acordo com o Ministério da Previdência. Assim, o país gasta cerca de R\$ 70 bilhões com esse tipo de acidente anualmente (ANAMT, 2012).

Entre as causas desses acidentes estão o maquinário velho e desprotegido, tecnologia ultrapassada, mobiliário inadequado, ritmo acelerado, assédio moral, cobrança exagerada, não utilização dos equipamentos de proteção individual adequados, falta de instrução, falta de conhecimento técnico, imprudência, imperícia, desrespeito às leis trabalhistas.

Segundo a ANAMT (2012), os acidentes provocando ou não lesão no trabalhador, influenciam negativamente na produção através da perda de tempo e outras consequências tais como: perdas materiais; diminuição da eficiência do trabalhador acidentado na hora de retornar ao trabalho; aumento da renovação de mão de obra; elevação dos prêmios de seguro de acidente e moral dos trabalhadores afetada.

Esses comportamentos de risco podem incluir ignorar dispositivos de segurança em máquinas ou executar uma função por meio de atalhos que resultam na eliminação dos fatores de segurança do processo de produção. O fator humano pode influenciar de maneira substancial a confiabilidade de um sistema e as perdas decorrentes de um acidente.

Os acidentes mais frequentes são os que causam fraturas, luxações, amputações e outros ferimentos. Ao mesmo tempo, são os que seria resolvidos ou evitados com

simples atualização tecnológica e adoção de algumas medidas de segurança.

Em seguida na lista de frequência, aparecem os casos de LER e Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (LER/Dort) incluindo as dores nas costas.

A prevenção vem na forma de correções posturais, adequação do mobiliário e dos instrumentos e dosagem da carga de trabalho. Em terceiro lugar, aparecem os transtornos mentais e comportamentais, como episódios depressivos, estresse e ansiedade. A prevenção é o maior fator de segurança para manutenção da saúde e da qualidade de vida do trabalhador.

Riscos de danos às propriedades

São os danos de propriedade, a reposição, reparos e manutenção de veículos, prédios, máquinas e equipamentos, matérias-primas, mercadorias e produtos; parada ou redução das operações de fabricação como consequência de danos às instalações e ao processo de fabricação. Estes riscos podem ocasionar paradas ou redução das operações de fabricação como consequência de danos às instalações e ao processo de fabricação (RUPPENTHAL, 2013).

Riscos ambientais

Os riscos ambientais são elementos ou substâncias presentes em diversos ambientes, que acima dos limites de tolerância podem ocasionar danos à saúde das pessoas. também se consideram como riscos de responsabilidade, pois de não cumprir com as normas ambientais, corre-se o risco de não renovar o alvará cada ano, tendo uma grande interrupção nas operações. Além de pagar multas, suspensão nas operações, dano na imagem da empresa, por causar um dano ambiental (RUPPENTHAL, 2013).

Em levantamento realizado pela Federação das Indústrias do Rio de Janeiro - FIRJAN (que é o 2o. maior parque industrial do país), os problemas ambientais mais sentidos pelas indústrias fluminenses foram: o lixo, consumo de energia (água e luz), ruídos, esgotos, gases e odor.

O maior risco acontecido no Brasil foi o rompimento da barragem de rejeitos da Samarco em novembro de 2015 - que destruiu o distrito mineiro de Bento Rodrigues - é o maior desastre do gênero da história mundial nos últimos 100 anos.

2.2 Métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios

2.2.1 A importância da tomada de decisão

Segundo o Campos (2011), a tomada de decisão significa tomar uma atitude que faça com que um processo evolua ou não, portanto, decidir ou tomar uma decisão pode interferir negativa ou positivamente num fluxo de rotinas de uma empresa, de um setor ou até mesmo em nossa vida pessoal.

Daí a necessidade de se avaliar bem o ato, pois as consequências irão refletir no sucesso de nossas escolhas. Decidir implica o processo de coleta de informações, avaliar a importância destas e buscar alternativas de solução. Diariamente tomamos decisões, avaliamos nossos atos baseados nas informações obtidas através de conhecimento prévio, experiência ou coleta de dados (MONTIS et al., 2000).

A tomada de decisão é o estudo da identificação e escolha de alternativas para encontrar a melhor solução com base em diversos fatores e considerando as expectativas dos avaliadores. Cada decisão é feita dentro de um ambiente de decisão, que é definida como a recolha de informação, alternativas, valores e preferências disponíveis no momento em que a decisão deve ser tomada (GOMES; GOMES, 2014).

Segundo Campos (2011), no processo decisório tenta-se levantar quais seriam os quesitos importantes e imprescindíveis para satisfação do resultado final. Num processo decisório empresarial nossas altitudes podem tornar-se mais complexas do que em decisões de cunho pessoal, considerando que o número de variáveis a conjecturar pode ser maior, e que a decisão escolhida terá repercussão coletiva.

Muitas vezes as decisões e atitudes do tomador de decisão não são tão simples e podem demandar mais tempo para análise, bem como a criação de vários critérios, buscando aperfeiçoar as escolhas.

O ponto difícil na tomada de decisões é a multiplicidade dos critérios estabelecidos para julgar as alternativas. O ser humano, muitas vezes, é limitado na percepção das possibilidades existentes para compreender ou processar todas as informações que recebe (SALOMON, 2005).

Os objetivos são geralmente conflitantes e, na maioria dos casos, os diferentes grupos de tomadores de decisão estão envolvidos no processo. Para facilitar este

tipo de análise, os MCDA ganharam terreno devido à necessidade de ter um método formal para auxiliar a tomada de decisões em situações que envolvem vários critérios.

Concordando com Caetani (2014), o homem soluciona problemas a partir de dois elementos essenciais: a informação, que permite conhecer uma determinada situação que requer sua atuação, e a concepção intelectual do problema, ou seja, suas variáveis e como elas se interagem.

Campos (2011) ressalta que a tomada de decisão num ambiente complexo caracteriza-se pela existência de pelo menos, alguns dos sete aspectos relacionados a seguir:

1. os critérios de resolução do problema são em número de, pelo menos, dois e conflitam entre si;
2. tanto os critérios como as alternativas de solução não são claramente definidos e as consequências da escolha de uma dada alternativa com relação a, pelo menos um critério, não são claramente compreendidas;
3. os critérios e as alternativas podem estar interligados, de tal forma que um dado critério parece refletir-se parcialmente em um outro, ao passo que a eficácia da escolha de uma dada alternativa depende de outra ter sido ou não escolhida, no caso, as alternativas não são mutuamente exclusivas;
4. a solução do problema depende de um conjunto de pessoas, cada uma das quais tem seu próprio ponto de vista;
5. as restrições do problema não são bem definidas, podendo mesmo haver alguma dúvida a respeito do que é critério e do que é restrição;
6. alguns dos critérios são quantificáveis, ao passo que outros só o são através de julgamentos de valor, efetuados sobre uma escala;
7. a escala para um dado critério pode ser cardinal, verbal ou ordinal, dependendo dos dados disponíveis e da própria natureza dos critérios.

A tomada de decisão deve seguir:

1. **Identificar Objetivos.** As boas decisões exigem objetivos claros. Estes devem ser específicos, mensuráveis, acordado, realista e dependente do tempo.

2. **Identificação de opções para atingir os objetivos.** Potencialmente opções sensatas, depois precisam ser desenvolvidas em detalhe.
3. **Identificar os critérios que serão utilizados para comparar as opções.** A próxima etapa é decidir sobre a forma de comparar a contribuição das diferentes opções para cumprimento dos objetivos. Isso requer a seleção de critérios para refletir o desempenho na prossecução dos objetivos. Cada critério deve ser mensurável, no sentido de que deve ser possível avaliar, pelo menos num sentido qualitativa, bem como uma opção particular está prevista para executar em relação ao critério.
4. **Análise das opções.** As formas mais comuns de análise no governo e empresas são a análise financeira, análise de custo-eficácia e, em algumas áreas, análise custo-benefício, os quais dependem totalmente ou em grande parte, em avaliações monetárias. As avaliações utilizadas na análise custo-benefício incluirá julgamentos distributivos, mas estes foram determinados numa fase mais precoce.
5. **Fazer escolhas.** A fase final do processo de tomada de decisão é a escolha real de opção. Isso precisa ser visto como um estágio separado porque nenhuma das técnicas disponíveis, sejam elas de análise financeira, análise de custo-benefício, ou as diferentes formas de análise multi-critério, pode incorporar uma análise de todo julgamento.
6. **Reavaliação.** Uma boa tomada de decisão exige uma reavaliação contínua das escolhas feitas no passado. Tomadores de decisões individuais podem aprender com seus próprios erros, mas é importante que as lições sejam aprendidas de maneira mais formal e sistemática, e comunicada aos demais, para que eles possam informar as decisões futuras.

2.2.2 MCDA

A sigla MCDA, no entanto, às vezes é utilizada para a Análise da Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios (FIGUEIRA; GRECO; ROY, 2009). Vetschera (1992) trata o MCDM como sinônimo da MADM (*Multiple Attributes Decision Making*),

distinguindo-a da MODM (*Multiple Objectives Decision Making*) . No Brasil, alguns autores preferem o uso de uma sigla traduzida: AMD (Apoio Multicritério à Decisão). Nesta dissertação as siglas AMD, MADM, MCDA e MCDM serão tratados como sinônimos (ALVES; NYKIEL; BELDERRAIN, 2007).

A MCDA é um ramo de uma classe geral de modelos da Pesquisa Operacional que é adequado para abordar problemas complexos que caracterizam-se pela elevada incerteza, objetivos conflitantes, diferentes formas de dados e informações, multi interesses e perspectivas (MONTIS et al., 2000).

A pesquisa operacional (PO) é uma abordagem científica para a análise de problemas e tomada de decisões. Onde os profissionais visam fornecer bases racionais para a tomada de decisão procurando compreender e estruturar situações complexas, e usar esse entendimento para prever o comportamento do sistema e melhorar o desempenho do sistema.

A MCDM, é uma disciplina que tem produzido um grande número de artigos e livros, desde a década de 1960 (DIABY; CAMPBELL; GOEREE, 2013). Dentre as vantagens da aplicação de métodos de MCDM, Banville et al. (1998) destacam: a análise do contexto da tomada de decisão, a identificação de atores, soluções alternativas, consequências, *stakeholders*, etc; a organização do processo de tomada de decisão, a fim de se obter coerência entre o objetivo da decisão e decisão final a que se chegou; cooperação e consenso entre os atores da tomada de decisão; e legitimação da decisão final.

Os métodos multicritério têm sido muito utilizados na solução de problemas de tomada de decisão, uma vez que procuram esclarecer ao decisor as possibilidades de escolhas. Apoiam o processo decisório, baseado nas informações existentes, incorporando valores dos agentes, na busca da melhor solução.

No campo da tomada de decisões, os métodos MCDA tornaram-se uma ferramenta generalizada, capaz de resolver problemas que envolvem mais de um objetivo. Um número de estudos teóricos (HITES et al., 2006; CHEN, 2015; MUNGLE; SAURAV; TIWARI, 2014; FERREIRA et al., 2015; BREU; GUGGENBICHLER; WOLLMANN, 2008), e estudos empíricos (STEELE et al., 2009; GOVINDAN; JEPSEN, 2016; AMBRASAITIS; BARFOD; SALLING, 2011; DEHE; BAMFORD, 2015), mostraram que MCDA fornece uma ferramenta útil para apoio à decisão neste

campo, pois permite múltiplos objetivos, para o uso de diferentes tipos de dados e o envolvimento dos diferentes intervenientes.

Dentre as vantagens da aplicação de métodos de MCDM, Banville et al. (1998), destacam: análise do contexto da tomada de decisão, identificando-se atores, soluções alternativas, consequências, stakeholders etc.; organização do processo de tomada de decisão, a fim de se obter coerência entre o objetivo da decisão e a decisão final a que se chegou; cooperação e consenso entre os atores da tomada de decisão; e legitimação da decisão final.

Figueira, Greco e Ehrgott (2005) editaram contribuições de 49 autores sobre o estado da arte teórico e prático em MCDM. Dentre os vários métodos de MCDM, podem ser citados, em ordem alfabética:

1. AHP - *Analytic Hierarchy Process*;
2. ANP - *Analytic Network Process*;
3. ELECTRE - *Elimination et Choix Traduisant la Réalité*;
4. EVAMIX - *Multi-criteria evaluation with mixed qualitative-quantitative data*
5. MACBETH - *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*;
6. MAUT - *Multiple Attribute Utility Theory*;
7. PROMETHEE - *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*;
8. TOPSIS - *Technique for Order Preference by Similarity to ideal Solution*.

No apêndice C, são explicados detalhadamente estes métodos. Os métodos MCDA diferem, no entanto, na forma como a ideia de múltiplos critérios é operacionalizada. Em particular, cada método apresenta as suas próprias propriedades, em relação à maneira de avaliar critérios, a aplicação e cálculo de pesos, o algoritmo matemático utilizado, o modelo para descrever o sistema de preferências do indivíduo frente para a tomada de decisões, a maneira de lidar com a incerteza incorporado no conjunto de dados, bem como a capacidade em permitir que as partes interessadas a participar na tomada de decisões.

Segundo Hites et al. (2006), há quatro razões partida que justificam os métodos de tomada de decisão com critérios múltiplos:

1. Eles permitem a investigação e a integração dos interesses e objetivos de múltiplos atores, desde a entrada de informação quantitativa e qualitativa de cada ator é tomado em consideração na forma de critérios e fatores de peso;
2. Trata-se da complexidade do ambiente multi-ator, fornecendo informações de saída que é fácil de se comunicar com os atores. A facilidade de uso do método reside em dois aspectos: os critérios propostos são estimados e os valores que são consistentes e comparáveis com os dados de entrada dada (como uma medida de adequação); e o formato "simples" da saída do método que faz com que os resultados do método significativo sejam diretamente aplicável para os agentes interessados;
3. É bem conhecido o método de avaliação da alternativa que também inclui versões diferentes do método desenvolvido e pesquisado para problemas específicos e/ou contextos específicos e;
4. É um método que permite a objetividade e a inclusão de diferentes percepções aplicada e interesses de ator sem ser energia e custo intensivo.

Estes métodos podem oferecer soluções para aumentar os problemas de gestão complexas. Eles oferecem uma melhor compreensão das características inerentes do problema de decisão, promover o papel de participantes nos processos de tomada de decisão, facilitar compromisso e decisões coletivas e proporcionar uma boa plataforma para entender a percepção de modelos e analistas em condições realistas (BALTAZAR et al., 2014).

Segundo Figueira, Greco e Ehrgott (2005), os métodos MCDM ajudam a melhorar a qualidade das decisões, tornando-as mais explícita, racional e eficiente. Negociar, quantificar e comunicar as prioridades também são facilitadas com o uso destes métodos. Deve-se notar que os métodos e os resultados não são necessariamente comparáveis. Cada método tem suas restrições, principalmente devido às suposições do modelo, que devem ser considerados quando o método é usado. Segundo Popi Konidari (2006), as inconsistências podem surgir porque:

1. a escolha não refletem as mesmas estruturas preferenciais;
2. as formas em que as informações de preferência são processadas podem variar entre diferentes métodos e;
3. os métodos de interpretação dos pesos com critério diferentes.

Modelo de construção

Os métodos MCDA podem ser considerados como processos complexos e dinâmicos, As principais etapas de tomada de decisão com multicritério são os seguintes:

Passo 1 - Definir o problema, gerando alternativas e estabelecendo critérios.

Um problema de tomada de decisões deve começar por definir claramente o problema, discernindo as alternativas, identificando os atores, os objetivos e quaisquer pontos em conflito, juntamente com as restrições, o grau de incerteza e as questões-chave. Após isto, o problema pode ser moldado indicando os critérios de avaliação.

Passo 2 - Atribuir critérios de pesos.

Os próximos passos incluem a atribuição de critérios de pesos. Estes pesos, que mostram a importância relativa dos critérios do problema multicritério em questão, pode ser determinada por meio do Processo Analítico Hierárquico.

Passo 3 - A construção da matriz de avaliação.

A fase em que o modelo é construído constitui um processo a partir do qual a "essência" do problema é extraído a partir da imagem complexa elaborada de modo a que o problema pode ser adequadamente avaliado. No final desta etapa, o problema MCDM pode ser expressa na forma de uma matriz como se segue:

Criteria	$C1, C2, \dots, Cn$
Pesos	$W1, W2, \dots, Wn$
Alternativas	

$$\begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,n} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \cdots & x_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m,1} & x_{m,2} & \cdots & x_{m,n} \end{bmatrix}$$

Passo 4 - Selecionar o método apropriado.

Um método multicritério deve ser selecionado e aplicado para o problema em questão, a fim de avaliar alternativas. Os dados e o grau de incerteza são fatores-chave para a escolha entre diversos métodos multicritério.

Passo 5 - Ordenação das alternativas.

Finalmente, o *ranking* das alternativas é ordenada e a alternativa melhor classificada é proposta como uma solução.

Escolha de um determinado método

Uma fonte de confusão para aqueles que são novos para o campo de tomada de decisão é a variedade de técnicas diferentes, muitas vezes com títulos sonantes bastante semelhantes, que parecem estar disponíveis, tais como análise de decisão com multi-critérios, teoria da utilidade multi-atributo, o processo de hierarquia analítica, e teoria dos conjuntos *fuzzy* (RODRIGUEZ; COSTA; CARMO, 2013).

Estas técnicas são mais susceptíveis de exigir que o analista de forneça julgamentos distributivos. Por exemplo, tanto o placar e fases de ponderação constroem-se em julgamentos sobre preferências das pontuações e pesos.

Segundo Breu, Guggenbichler e Wollmann (2008) a escolha de um determinado método depende do problema específico e das demandas dos usuários. À medida que o número de métodos já existentes é bastante grande e ainda está aumentando, a escolha do método "correto" não é uma tarefa fácil.

Para facilitar essa escolha para uma situação específica, Montis et al. (2000) desenvolve uma lista de critérios de qualidade que pode ser usado para revelar os pontos fortes e fracos dos métodos MCDA com respeito ao seu pedido de ambiente problemas (ver Quadro 2.5).

Quadro 2.5: Lista de critérios de qualidade para os métodos MCDA

Qualidade	Descrição do Critério
Componentes operacionais	
Critérios	
Interdependência	Provisão para a interdependência dos diferentes critérios
Perfeição	Necessidade de a integralidade dos critérios
Preferências não-lineares	Possibilidade de exprimir os modelos de valorização não-lineares
Pesos	
Transparência do processo, tipo de pesos	Tipo do processo de derivação de valores para os pesos
Significado	Interpretação e papel de pesos no processo de avaliação
procedimento de encontrar soluções	Tipo de procedimento utilizado para a comparação de alternativas
Questões abordadas pelos resultados	Interpretação dos resultados gerados pela utilização do método
Aplicabilidade dos métodos MCDA - Contexto de Usuário	
Restrições do projeto	
Custos	Custos de implementação na situação de usuário específico
Tempo	Tempo de implementação na situação de usuário específica
Estrutura do processo de resolução de problemas	
Participação das partes interessadas	Possibilidade de incluir mais de uma pessoa como tomador de decisão
problemas estruturação	Existência de mecanismos de apoio à estruturação do problema
Ferramenta para a aprendizagem	Apoio aos processos de aprendizagem
Transparência	Promoção da transparência no processo de tomada de decisão
Comunicação de atores	Apoio da comunicação entre as partes opostas
Aplicabilidade dos métodos MCDA - Estrutura do Problema	
Características de indicadores	
Escala geográfica	Aplicabilidade das diferentes escalas geográficas para um caso
Micro-macro-link	Aplicabilidade das diferentes escalas institucionais para um caso
Questões sociais / técnicos	Possibilidade para a consideração de ambas as questões sociais e técnicas
Combinação de métodos	Possibilidade de combinação "métodos"
Características dos dados	
Tipo de dados	Tipo de dados como valores para os indicadores
Riscos e incertezas	Possibilidade para avaliar riscos e incertezas
Quantidade de processamento de dados	Quantidade de informação necessária para compilar.
Não substituível	Possibilidade de substituir standards e não substituir.

Fonte: Montis et al. (2000)

Estes critérios de qualidade MCDA podem ser agrupadas de acordo com três aspectos principais:

a. Componentes operacionais de métodos MCDA.

O primeiro ponto importante para a caracterização do método é sua interdependência dos critérios podem ser abordados na sua aplicação. Procedimentos técnicos diferentes usados para derivar a decisão podem levar a resultados diferentes na mesma tomada de decisões, porque eles usam mecanismos diferentes para comparar critérios e alternativas.

b. Aplicabilidade dos métodos MCDA no contexto do usuário.

Ao lado dos fundamentos teóricos e os componentes técnicos do método, as propriedades específicas relativas à aplicabilidade do método com relação às situações do usuário são fatores importantes para a caracterização do método. Os critérios de qualidade relativos às restrições do projeto (custos e tempo), e outros critérios não abordando o tipo previsto da estrutura do processo de resolução de problemas (por exemplo, a possibilidade de participação das partes interessadas) são fatores relevantes.

c. Aplicabilidade dos métodos MCDA considerando a estrutura do problema.

Outro tipo de critérios que são relevantes no contexto da aplicabilidade dos métodos são critérios que oferecem informações sobre a possibilidade de consideração de questões importantes dentro da situação de resolução de problemas específicos. Um grupo destes critérios destinam-se a analisar as possibilidades para a inclusão de indicadores com características específicas necessárias para a solução do problema, por exemplo, a avaliação de indicadores em diferentes escalas geográficas.

Estas metodologias compartilham as características comuns de conflito entre os critérios, unidades incomensuráveis e dificuldades na concepção/seleção de alternativas. A principal diferença entre os dois grupos de métodos baseia-se no número de alternativas no âmbito da avaliação.

Segundo French (1997), os métodos multicritérios são divididos em três abordagens operativas:

1. Modos baseados na "utilização de um único critério sintetizadora sem incompatibilidades";
2. Métodos com base na "síntese por *outranking* com incompatibilidades";
3. Métodos baseados em "julgamentos locais interativos com iteração de tentativa e erro".

Comparativa dos métodos MCDA

Devido à grande variedade de métodos, algumas classificações foram propostas e adotadas para o estudo da MCDM. A definição de um conjunto finito de alternativas é necessária para a aplicação de alguns métodos de MCDM. Estes são classificados como "métodos discretos" de MCDM (DARJI; RAO, 2014).

Outros autores consideram apenas os métodos discretos como métodos de MCDM, excluindo a Análise Envoltória de Dados (DEA - *Data Envelopment Analysis*) dos seus estudos. No entanto, a DEA é um tema importante nos congressos e publicações promovidos pela *International Society on MCDM*.

Vincke (1992), propõe uma divisão do conjunto de métodos de MCDM em duas escolas de abordagens: Escola Norte-americana, com métodos baseados na função de utilidade; Escola Europeia, com métodos de subordinação e síntese.

A partir da classificação proposta por Vincke (1992), os métodos da Escola Norte-americana, entre os quais se inserem AHP e MAUT, continuaram a ser referenciados como métodos de MCDM; já os métodos da Escola Europeia, por exemplo, todos os da família ELECTRE, passaram a serem Métodos de Auxílio à Decisão com Múltiplos Critérios (MCDA).

Levando em consideração à capacidade para situações complexas, todos os métodos mostram desempenho semelhante em relação aos aspectos e as escalas que podem ser consideradas, mas todos eles mostram deficiências nas características dos critérios de avaliação, que devem ser utilizados como componentes operacionais.

Apenas o AHP permite a interdependência dos critérios de avaliação, enquanto apenas MAUT e NAIADE permitem que as preferências não-lineares. Por outro lado, EVAMIX, ELECTRE III, e Regime não permitem qualquer um de ambas as características.

Os tipos de dados que podem ser tratadas são, em cada caso, dados quantitativos e qualitativos. Em ELECTRE III, os dados qualitativos tem que ser transformados primeiro a uma escala quantitativa. Além disso, alguns dos métodos como GP/-MOP e NAIADE incluem recursos para lidar com os dados distorcidos e números estocásticos que é o caminho para esses métodos para lidar com riscos e incertezas.

MAUT permite lidar com o risco (não incerteza) sobre os resultados das alternativas de atribuição de probabilidades para as funções de utilidade. Todos os métodos oferecem a possibilidade de realizar uma análise de sensibilidade ou para aplicar dados qualitativos considerar incertezas e riscos.

Os aspectos de não-substituição só pode ser devidamente analisados usando GP/-MOP e ELECTRE III, que permitem definir restrições e limites explicitamente. Dentro dos métodos restantes não-substituição só pode ser considerado, atribuindo os respectivos critérios com bandeiras.

Os métodos também diferem nas possibilidades para o envolvimento fabricante de mais de uma decisão no processo. Para MOP/GP existem ferramentas para a tomada de decisão em grupo. Alguns métodos como AHP, suporta a consideração das preferências dos vários tomadores de decisão. No entanto, na prática cada decisão é feita individualmente pelo seu tomador de decisão.

No que diz respeito MAUT, se n pessoas estão envolvidas na decisão, cada pessoa é convidada para a sua função de utilidade única para qualquer atributo; estas funções individuais são, então, funções de toneladas de agregados de utilidade multi-atributo. Se eles estão em conflito uns com os outros, soluções de grupo são possíveis.

O desempenho de informar as partes interessadas a fim de aumentar os seus conhecimentos e mudar sua opinião e comportamento é satisfatória para todos os métodos. Na MOP/GP, Electre III e Regime a transparência é de apenas qualidade média que impede a participação das partes interessadas. Os outros métodos são satisfatórios ou mesmo bem sobre estes aspectos. O NAIADE não permite atribuir pesos explicitamente, mas é a única metodologia que fornece uma estrutura explícita para a participação das partes interessadas. Para MOP/GP existem ferramentas para decisão interativa decisões, bem como para a tomada de decisão em grupo.

Quanto à informação das partes interessadas, MAUT, AHP e EVAMIX proporcionam uma boa transparência e permitem dar pesos explicitamente. De uma forma

muito interessante, NAIADE apoia o envolvimento de mais de uma pessoa na tomada de decisão processo, ou seja, com referência aos seus diferentes interesses que permite uma análise do conflito explícito.

Em geral, um aspecto importante na tomada de decisão em grupo é quão transparente o processo de tomada de decisão é, pois isso aumenta as possibilidades de participação e discussão orientado ao objetivo dentro do grupo.

EVAMIX, ELECTRE III, e Regime proporcionam um desempenho satisfatório somente em situações complexas, MAUT e EVAMIX têm um desempenho aceitável em geral, no entanto carecem de aspectos importantes crucial para as questões de sustentabilidade, ou seja, a capacidade para dar conta da incerteza e não de substituição. NAIADE é um especialista para envolver mais de um tomador de decisão, enquanto GP/MOP e ELECTRE III permitem lidar com não-substituição.

Assim, é evidente que um ranking claro dos métodos relativos dos diferentes critérios de qualidade não é possível, como todos têm seus pontos fortes e fracos em diferentes áreas. A caracterização mostra, no entanto, que, dependendo do problema específico é a escolha do método de uma sobre a outra.

O resumo das avaliações dos métodos nas Tabelas 2.6, 2.7, 2.8 dão uma caracterização detalhada de cada método. Concordando com Montis et al. (2000), pode-se concluir que:

- NAIADE e AHP, fornecem o melhor desempenho no trabalho com diferentes grupos de interesses conflitantes;
- Se os tomadores de decisão envolvidos devem aprender principalmente a partir da aplicação da ferramenta MCDA, é aconselhável usar MAUT ou AHP;
- Se os limites e restrições são centrais para o problema sob investigação, significa que há não-substituição de alguns critérios, ELECTRE III ou GP / MOP deve ser escolhido;
- Se o problema é contínuo, ou seja, não há um número discreto de alternativas que sai da situação específica, GP ou MOP deve ser escolhido.
- Se um ranking completo das alternativas dadas como resultado da análise é indispensável, MAUT, AHP, Evamix, ou Regime deve ser aplicada.

Quadro 2.6: Resumo da comparação dos métodos - Componentes operacionais dos métodos

	MAUT	AHP	Evamix	Electre III	Regime	NAIADE	MOP/GP
Crítérios							
Interdependência	Não permitido	Permitido	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Não permitido
Abrangência	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido	Requerido
Preferências não-lineares	Permitido	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Não permitido	Permitido	Permitido para algumas variantes
Pesos							
Transparência do processo, tipo de pesos	pesos cardeais atribuído	pesos cardeais atribuído	pesos ordinais atribuído	pesos cardeais atribuído	pesos ordinais atribuído	Não pesos atribuídos	Pesos atribuídos para algumas variantes
Significado	Trade-offs	Importância	Importância	Importância	Importância	Sem pesos	Importância
Procedimento que encontram a solução							
ranking completo	ranking completo	ranking completo	Opções não-dominadas calculada	ranking completo	Não-dominado opção / s, calculada	Não-dominado	opções calculada

Fonte: Montis et al. (2000)

Quadro 2.7: Resumo da comparação dos métodos - Aplicabilidade no contexto do usuário

	MAUT	AHP	Evamix	Electre III	Regime	NAIADE	MOP/GP
Restrições do projeto							
Custos	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas envolvidas, etc.	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas envolvidas, etc.	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas, etc.	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas envolvidas, etc.	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas envolvidas, etc.	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas envolvidas, etc.	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas envolvidas, etc.
Tempo	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas envolvidas, etc.	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas envolvidas, etc.	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas envolvidas, etc.	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas envolvidas, etc.	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas envolvidas, etc.	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas envolvidas, etc.	Dependendo do número de atributos, as partes interessadas envolvidas, etc.
Estrutura do processo de resolução de problemas							
Participação das partes interessadas	Necessário	Necessário	suportado	suportado	suportado	Necessário	Apoiada por algumas variantes
Problemas de estruturação	Via a construção de funções de utilidade	Através da construção de hierarquias adequados	Através da construção da matriz de avaliação	Às vezes complicado	Através da construção do vector de Regime	Através da construção da matriz de avaliação	Modelo baseado
Ferramenta para a aprendizagem		apropriado	Não apropriado			apropriado	MOP interativo
Transparência	Alta	Alta	Alta	Média	Média	Alta	Baixa
Comunicação dos atores	Via a integração das partes interessadas	Via a integração das partes interessadas	Via a integração das partes interessadas	Via a integração das partes interessadas	Via a integração das partes interessadas	Via a integração das partes interessadas	Via a integração das partes interessadas

Fonte: Montis et al. (2000)

Quadro 2.8: Resumo da comparação dos métodos - Aplicabilidade para estrutura do problema

	MAUT	AHP	Evamix	Electre III	Regime	NAIADE	MOP/GP
Características dos indicadores							
Escala geográfica	Diferentes podem ser tratadas	Diferentes podem ser tratadas	Diferentes podem ser tratadas	Diferentes podem ser tratadas	Diferentes podem ser tratadas	Diferentes podem ser tratadas	Diferentes podem ser tratadas
<i>Micro-macro-link</i>	Possível	Possível	Possível	Possível	Possível	Possível	Possível
questões sociais / técnicos	questões diferentes são possíveis	questões diferentes são possíveis	questões diferentes são possíveis	questões diferentes são possíveis	questões diferentes são possíveis	questões diferentes são possíveis	questões diferentes são possíveis
Combinações de métodos	Possível	Possível	Possível	Possível	Possível	Impossível	Possível
Condições dos dados							
Tipo de dados	Qualitativa e quantitativa possível	Qualitativa e quantitativa possível	Qualitativa e quantitativa possível	principalmente quantitativa	Qualitativa e quantitativa possível	Qualitativa e quantitativa possível	Principalmente quantitativa
Risco / Incertezas	resultados dos riscos: probabilidades, análise de sensibilidade	Via análise de sensibilidade	Via critérios ordinais única	via dos limiares		Via números estocásticos e difusas	Via análise de sensibilidade e números fuzzy
Quantidade de processamento de dados	Alto	Médio	Baixo	Alto	Médio	Médio	Médio
Não-substituição	Não é possível	Não é possível	Não é possível	Não é possível	Não é possível	Não é possível	Possível através de restrições ou ordenação lexicográfica

Fonte: Montis et al. (2000)

2.2.3 AHP

Características

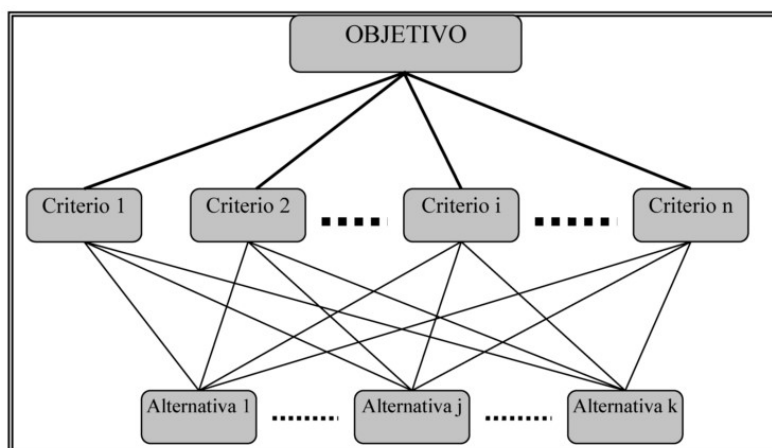
AHP foi desenvolvido por Thomas Lorie Saaty em 1970. O fundamento do método de análise hierárquica (AHP) é a decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY; VARGAS, 2012). A ideia central da teoria da análise hierárquica é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações por pares.

O *Decision Support Systems Glossary* define AHP como “uma aproximação para tomada de decisão que envolve estruturação de multicritério de escolha numa hierarquia. O método avalia a importância relativa desses critérios, compara alternativas para cada critério, e determina um ranking total das alternativas” (VETSCHERA; WALTERSCHEID, 1995).

Segundo Saaty e Vargas (2012), o benefício do método é que, como os valores dos julgamentos das comparações paritárias são baseados em experiência, intuição e também em dados físicos. O AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão.

Assim, o AHP inclui e mede todos os fatores importantes, qualitativa e quantitativamente mensuráveis, sejam eles tangíveis ou intangíveis, para aproximar-se de um modelo realista. Um exemplo se ilustra na Figura 2.5.

Figura 2.5: Hierarquia geral do AHP



Fonte: Saaty e Vargas (2012)

Escala Fundamental de Saaty

Para representar a importância relativa de um elemento em relação a outro, uma escala de avaliação adequado é introduzida, também chamada "Escala Fundamental de Saaty", ver tabela 2.1 (SAATY, 1979). Ela define e explica os valores de 1 a 9 atribuídas a decisões em comparação por pares de elementos em cada nível em relação a um critério no nível superior seguinte. Em particular, são usados os seguintes valores que exprimem a intensidade de importância entre os elementos.

Tabela 2.1: Escala Fundamental de Saaty

Valor	Definição	Explicação
1	Importância igual	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância fraca	Experiência e julgamento levemente a favor de uma atividade sobre a outra.
5	Importância essencial ou forte	Experiência e julgamento fortemente a favor de uma atividade sobre a outra.
7	Importância demonstrada	Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorecendo uma atividade em relação à outra com ordem de afirmação a mais alta possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma melhor relação de compromisso.
Recíprocos dos números não-zero acima	Se uma atividade / tem um dos números não-zero acima associados a ela quando comparada a uma atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparado com i	
Número racionais	Razões fora da escala	Se a coerência precisa ser forçada obtendo-se n valores numéricos para toda a matriz

Fonte: Adaptada de Saaty (1979)

Aplicações

Segundo Rodriguez, Costa e Carmo (2013), os métodos MCDA, especificamente o AHP tem sido utilizado para resolver problemas complexos em inúmeras áreas, tais como:

1. Tomada de Decisão na Política de Governo.

- (a) A segurança da informação;
- (b) Alocação de recursos e otimização;
- (c) Segurança Interna;
- (d) Aplicações militares e de defesa;
- (e) Política estrangeira;
- (f) Educação;
- (g) Ética;
- (h) Direitos civis;
- (i) Economia e finanças públicas;
- (j) Estratégias e políticas industriais;
- (k) Comércio;
- (l) Transporte;
- (m) Criação de emprego;
- (n) Responsabilidade social corporativa;

2. Tomada de decisão de cuidados de saúde.

- (a) Gestão de Tecnologias em Saúde;
- (b) Gestão de serviços médicos;
- (c) Qualidade e segurança avaliação de dispositivos médicos;
- (d) Engenharia clínica;
- (e) Sistemas de monitoramento de pacientes eletrônico;
- (f) Capacitação e envolvimento do paciente;

- (g) Implicações éticas, jurídicas, sociais e financeiras de Engenharia Biomédica e Informática.

3. Aplicações em Engenharia Civil e Gestão Urbana.

- (a) Gestão de Desastres;
- (b) Aplicação ambiental;
- (c) Sustentabilidade;
- (d) Elaboração de políticas;
- (e) Sistemas de Apoio à Decisão multicritério-espacial;
- (f) Sistemas de Informação Geográfica;
- (g) Gestão de resíduos.

4. Engenharia de Manufatura e Engenharia Industrial.

- (a) Gestão da cadeia de fornecimento;
- (b) Gerenciamento de Projetos;
- (c) Decisões de *marketing*;
- (d) Gerenciamento de recursos humanos;
- (e) Gestão de qualidade total;
- (f) Aplicação e sustentabilidade ambiental;
- (g) *Balanced Scorecard*;
- (h) Avaliação de desempenho;
- (i) Simulação;
- (j) Segurança;
- (k) Gestão de Desastres;
- (l) Gestão de riscos;
- (m) Logística;
- (n) Manutenção;
- (o) Gerenciamento enxuto ou (*Lean Management*).

Críticas da metodologia AHP

Nesta seção são apresentadas as principais críticas que o método sofreu e vem sofrendo no meio acadêmico. Goodwin, Wright e Phillips (2004) generalizam seis tipos de críticas ao AHP:

1. Dificuldades na conversão de comparações linguísticas em numéricas.
2. Inconsistências impostas pela escala linear de 1 a 9.
3. Entendimento das questões por quem responde as comparações.
4. Inversão na ordem de prioridade das alternativas existentes, com a exclusão ou inclusão de alternativas ou critérios.
5. O número de comparações necessárias pode ser alto.
6. Os axiomas do método.

As três primeiras críticas referem-se, principalmente, à Escala Fundamental. De fato, existem outras escalas que podem ser adotadas para a aplicação do AHP, como por exemplo, as escalas propostas por Likert (1932). Assim, este conjunto de críticas logo se tornou um tema para pesquisas.

Variantes do AHP original chegaram a ser desenvolvidas a partir de contestações da Escala Fundamental. Dois exemplos são o AHP Multiplicativo e o AHP Revisado. Além disso, existem várias aplicações que combinam AHP com Fuzzy Sets.

Saaty e Peniwati (2007), argumentam que as comparações baseadas na Escala Fundamental já incorporaram o conceito fuzzy, ao permitir a escolha de um valor numérico dentre uma sequência. Assim, "tornar fuzzy algo que já é fuzzy", não tem sentido.

Finalmente, segundo Harker e Vargas (1987) apud Saaty e Peniwati (2007), por meio de vários experimentos e pela utilização do AHP na prática, a habilidade da Escala Fundamental para capturar informação e retratar, precisamente, a intensidade de preferência de um indivíduo está demonstrada.

A inversão na ordem de prioridade das alternativas, com a exclusão ou inclusão de alternativas ou critérios, é um tema recorrente entre os críticos do AHP (SAATY, 1994; STEELE et al., 2009; Popi Konidari, 2006).

Num modelo em relação a prioridade de uma alternativa depende das outras alternativas que está a ser comparada. Se o resto é fraco, ele terá uma alta prioridade. Se o resto são fortes, sua prioridade será baixo. Isso pode levar a algo chamado "inversão do ranqueamento". Esse é um comportamento perfeitamente aceitável em um mundo relativo onde as coisas são inter-dependentes.

Há duas escolas de pensamento sobre a "inversão do ranqueamento". Uma sustenta que novas alternativas que introduzem nenhuns atributos adicionais não deve causar classificação de inversão sob quaisquer circunstâncias. A outra sustenta que existem algumas situações em que grau de inversão pode ser razoavelmente esperada.

ranking reversal e o AHP são amplamente discutidas em artigos da revista "*Operations Research*", bem como um capítulo intitulado Ranking, Preservação e reversão, no livro básico atual sobre AHP. Este último apresenta exemplos publicados de classificação de reversão devido à adição de cópias próximas de uma alternativa; devido à intransitividade de regras de decisão; devido à adição de fantasmas e de engodo alternativas e; devido ao fenômeno de comutação em funções utilitárias. Ele também discute os modos de distribuição e ideal da AHP.

O artigo de Belton (2006), é considerado como referência inicial do assunto. Saaty e Vargas (2012), cita que após sua apresentação na 17a Conferência Internacional sobre MCDM, a Professora Valerie Belton, então presidente da sociedade, deu a entender que se arrependia que seu trabalho tivesse sido utilizado de modo inconveniente, por pessoas que desejavam atacar o AHP, sem entendê-lo direito.

Segundo Saaty e Vargas (2012), existem vários exemplos de decisões reais em que situações de *ranking reversal* ocorrem. Um exemplo clássico foi a eleição para presidente dos EUA no ano 2000. Com a saída do candidato do Partido Verde, a disputa que, estava, claramente, a favor do candidato do Partido Republicano ficou, tecnicamente, empatada; pois, os candidatos dos Partidos Democrata e Verde disputavam eleitores com perfil muito parecido.

Para Dyer (1990a) apud Steele et al. (2009), o AHP é um método falho, porque seu procedimento para obtenção dos pesos das alternativas é arbitrário. E a solução para o problema seria a síntese do AHP com os conceitos da MAUT. Saaty argumenta que as comparações aos pares são de fato baseadas no comportamento racional e não foram por ele inventadas. Trabalhos em diversas áreas como Ciência Política,

Neurologia e Psicologia corroboram com esta afirmação (SAATY; VARGAS, 2012).

Grandzol (2005) afirma que por reconhecer que participantes podem estar incertos ou fazer julgamentos pobres em algumas comparações, o método de Saaty envolve comparações redundantes para melhorar a validade destas. O autor adverte que a tolerância de inconsistências não é uma limitação, mas um retrato da realidade.

Analisando a crítica do alto número de comparações, o método AHP diz respeito ao esforço para a tomada de decisão, que pode ser medido pelo número de comparações necessárias. Por exemplo para uma decisão com 9 alternativas e 5 critérios, a aplicação do método AHP necessitará de 190 comparações. Com o propósito de reduzir o número de comparações necessárias, "o *quo* permitirá ao grupo focar-se no debate e não na trabalhosa tarefa de preencher, por completo, cada matriz de comparações".

Etapas

De um ponto de vista processual esta abordagem consiste em três fases (SAATY, 1994):

1. Construir hierarquias.

Esta etapa é baseada nos resultados que indicam que na etapa da elaboração da informação, a mente humana reconhece objetos e conceitos, e identifica as relações existentes entre eles. Porque a mente humana não é capaz de perceber simultaneamente todos os fatores afetados por uma ação e suas conexões, o AHP ajuda a quebrar sistemas complexos em estruturas simples: esta simplificação é possível por meio de um processo lógico que visa a construção de hierarquias adequados.

As hierarquias podem ser ferramentas úteis que ajudam a mente humana com a tomada de decisões relacionadas com problemas complexos, construindo um quadro de diferentes e numerosos elementos, que são separados e conectados ao mesmo tempo.

2. Estabelecer prioridades entre os elementos das hierarquias por meio de comparações de pares.

Na abordagem AHP, as comparações de pares (isto é, comparando elementos em pares com relação a um determinado critério) são utilizados para o estabelecimento de prioridades (ou pesos) entre elementos do mesmo nível hierárquico. Eles são comparados em pares, com respeito aos elementos correspondentes no nível mais elevado seguinte, obtendo-se uma matriz de comparações de pares.

3. Verificar a consistência lógica de comparações de pares.

Na comparação da inconsistência de um certo grau podem surgir: na abordagem AHP, o autovalor (*Eigenvalue*) máximo ou principal (chamado λ_{max}) de cada matriz de comparações por pares é calculada para verificar o grau de inconsistência.

Fundamento matemático

Os instrumentos utilizados no método são basicamente matrizes, as quais têm que cumprir uma série de características tais como reciprocidade, homogeneidade e consistência.

Reciprocidade: Se $a_{ij} = x$, então $a_{ji} = 1/x$, com $1/9 \leq x \leq 9$.

Homogeneidade: Se os elementos i e j são considerados com igual importância, então: $a_{ij} = a_{ji} = 1$, além de $a_{ii} = 1$, para todo i .

Consistência: Satisfaz-se que $a_{ik} \cdot a_{kj} = a_{ij}$, para todo $1 \leq i, j, k \leq q$.

No método AHP e ANP, criado por Thomas Saaty, o vetor de prioridades gerado pela comparação par a par dos elementos é obtido pelo cálculo do autovetor direito associado ao autovalor máximo da matriz de decisão.

Uma matriz diz-se quadrada quando o número de linhas é igual ao número de colunas. A matriz de decisão e a super matriz são quadradas e possuem a seguinte forma genérica:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Os elementos $a_{11}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1n}$ formam a diagonal, também chamada de diagonal principal. Uma matriz A é positiva se todos os seus elementos forem reais e positivos.

Um vetor coluna não nulo W de uma matriz quadrada A é um vetor próprio à direita (autovetor à direita) se existir um escalar λ tal que:

$$AW = \lambda W \quad (2.1)$$

Portanto, λ é um valor próprio (autovalor) de A . Os valores próprios podem ser nulos. Os vetores próprios não podem ser nulos.

Da expressão 2.1, pode-se obter a equação característica da matriz:

$$AW = \lambda W \longrightarrow AW - \lambda W = 0 \longrightarrow \det(A - \lambda I)W = 0. \quad (2.2)$$

Generalizando o cálculo do determinante, obtém-se o seguinte polinômio característico, onde n é o número de ordem da matriz:

$$\det \begin{bmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} - \lambda & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & a_{nn} - \lambda \end{bmatrix} = 0$$

$$\det(A - \lambda I) = b_n \lambda^n + b_{n-1} \lambda^{n-1} + \cdots + b_2 \lambda^2 + b_1 \lambda^1 + b_0 I = 0 \quad (2.3)$$

Conforme o teorema de Cayley-Hamilton, toda a matriz quadrada satisfaz a sua própria equação característica, isto é se:

$$\det(A - \lambda I) = b_n \lambda^n + b_{n-1} \lambda^{n-1} + \cdots + b_2 \lambda^2 + b_1 \lambda^1 + b_0 I = 0 \quad (2.4)$$

então

$$b_n \lambda^n + b_{n-1} \lambda^{n-1} + \cdots + b_2 \lambda^2 + b_1 \lambda^1 + b_0 I = 0 \quad (2.5)$$

As principais propriedades dos valores e vetores próprios são:

- a soma dos valores próprios de uma matriz é igual ao seu traço, que é igual à soma dos elementos da sua diagonal principal;

- o produto dos valores próprios de uma matriz, considerando a sua multiplicidade, é igual ao determinante dessa matriz; e
- os vetores próprios correspondentes a diferentes valores próprios são linearmente independentes.

A matriz positiva goza de algumas propriedades, sendo que a principal para o AHP é a definida pelo Teorema de Perron: "Uma matriz quadrada positiva tem um valor próprio (autovalor) de multiplicidade 1 igual ao seu raio espectral ¹ não havendo nenhum valor próprio tão grande em valor absoluto. Existe, além disso, um vetor próprio (autovetor) à direita e um vetor próprio à esquerda correspondentes ao valor espectral somente com componentes positivas."

Esta última frase do teorema de Perron garante que o autovetor, associado ao autovalor de maior valor absoluto possui somente componentes positivos. Saaty (1987) demonstrou que o melhor processo para obter o vetor de prioridades dos elementos da matriz de decisão é o método do autovetor à direita. Sendo assim, quando não especificado, a expressão autovetor no AHP e ANP estará sempre associada ao autovetor à direita. Pode-se calcular o autovalor e autovetor de qualquer matriz quadrada por dois métodos: algébrico e numérico.

Razão de Coerência

A Razão de Coerência (CR - *Consistency Ratio*) é um indicador da coerência das comparações. O cálculo da CR leva em consideração o afastamento entre λ e n , conforme a Equação 2.6.

$$CR = \frac{\lambda - n}{(n - 1)RI} \quad (2.6)$$

Em particular, a consistência de uma matriz recíproca positiva $n \times n$ é equivalente à condição de que λ_{max} deve ser igual a n ; se a matriz é inconsistente $\lambda_{max} > n$, é possível estimar a saída, da consistência pela diferença ($\lambda_{max} - n$) dividido por $(n - 1)$

Na aplicação do método AHP pode-se verificar a coerência das comparações. Quando uma matriz de comparações apresenta todas as comparações coerentes entre

¹O raio espectral de uma matriz quadrada é o maior valor próprio em valor absoluto

si, tem-se $\lambda = n$, onde n é a ordem da matriz. De fato, isto se observa, com a "relação de transitividade" (TAN et al., 2014). que não se verifica entre a_{12} , e a_{13} componentes da matriz apresentada na equação 2.7 :

$$a_{13} = 1/5 \neq 1/9 = 1/3 \times 1/3 = a_{12} \times a_{23} \quad (2.7)$$

O cálculo da CR considera também um erro aleatório associado à ordem da matriz, dado pelo índice de Coerência Aleatória (RI) , obtido conforme Tabela 2.2.

Tabela 2.2: índice de Coerência Aleatória.

n	RI
3	0,52
4	0,89
5	1.11
6	1.25
7	1,35
8	1,40
9	1.45

Inicialmente, o limite $CR \leq 0,10$ foi proposto para que uma matriz de comparações pudesse ser considerada coerente. Contudo Saaty (2003), nota que a incoerência entre comparações deve servir mais como um alerta do que um fato necessariamente não desejável. Também recomenda que para valores de CR acima de 0,20, as comparações sejam revistas.

Software para resolver AHP

Alguns dos softwares existentes que automatizam os cálculos das matrizes do método dos AHP:

1. MPC 2,0.

O programa é especialmente útil nas decisões em que é necessário considerar diferentes tipos de critérios (quantificáveis ou não) e/ou muitas alternativas possíveis, bem como quando é necessário ter em conta as diferentes repetições da decisão de um ou diferentes usuários. MPC 2.0 facilita comparações de pares dos critérios (primeira fase da metodologia) e alternativas no âmbito de cada critério (segunda fase) minimizando o implícito aos mesmos preconceitos.

Define um esquema de critérios em dois níveis (critérios e subcritérios, com a possibilidade de 40 elementos em cada) e realização independente de comparar os critérios e alternativas. MPC 2.0 © automatiza todos os cálculos matriciais subsequentes para atribuir o peso de cada alternativa e calcula o grau de incoerência da decisão (indicando se o conjunto pontuação é lógico ou não). MPC 2,0 © integra uma interface gráfica para facilitar a apresentação dos resultados, bem como uma análise de sensibilidade, que proporciona informação sobre a variação nos resultados modificando os pesos dos critérios.

2. TRANSPARENT CHOICE

Ele é um software on-line que ajuda a alavancagem-ciência da decisão e de entrada de muitos tomadores de decisão a decidir racionalmente e de forma transparente. O software trabalha em um navegador da Web para usá-lo em qualquer dispositivo conectado à internet. Não há necessidade de instalar nada no computador. Isso elimina problemas com a instalação e atualizações (que tem sempre acesso à última versão).

3. SUPER DECISIONS

O software Super Decisions implementa o processo analítico de rede (ANP) e AHP para tomada de decisão com a dependência e *feedback* desenvolvido pelo Dr. Thomas Saaty. O programa foi escrito pela Equipe ANP, que trabalha para a Fundação *Creative Decisions*. Atualmente sua última versão é gratuita, somente é necessário cadastrar-se no site www.superdecisions.com (ADAMS; SAATY, 2003).

4. EXPERT CHOICE

O software “Expert Choice” é projetado para permitir aos decisores de desenvolver consenso sobre o que é realmente importante na escolha do melhor produto ou serviço. Ele é online, além de permitir usar dados em planilhas de *Microsoft Excel*, as soluções do software se concentram no fornecimento de soluções melhoradas, reduzindo custos, aumentando a transparência e comunicação organizacional, tudo ao mesmo tempo aumentando a satisfação das partes interessadas.

5. SIMPLE AHP WEB APP

SimpleAHP é uma aplicação web de código aberto desenvolvido pelo Dr. Bill Adams para a tomada de decisão em grupo. Ele foi projetado especificamente para uso por jovens participantes na conferência ISAHP 2016. Os dados das avaliações do grupo podem ser tanto de um formulário Google, uma planilha do Excel ou uma planilha do Google. O aplicativo mostra as prioridades globais, prioridades individuais e prioridades de grupo, tanto gráfica e numérica. Ele permite a informação demográfica (por exemplo, sexo, faixa etária, etc) para ver as preferências desses subgrupos de participantes.

6. MICROSOFT EXCEL: Usando esse software é possível desenvolver uma planilha, utilizando fórmulas para resolver as matrizes criadas, inclusive para obter o índice de consistência e o vetor próprio (Eigenvetor). Porém, é difícil fazer uma análise de sensibilidade e tomada de decisão em grupo.
7. PriEsT: O software "PriEst" (*Priority Estimation Tool*) é uma ferramenta de análise de decisão. Ele pode ser usado para classificar as opções, ou, alternativamente, usá-lo para a alocação de recursos como por exemplo, orçamento. Em PriEsT deve-se entrar em uma lista de opções disponíveis e, em seguida, definir os critérios para a priorização. Depois de definir critérios, PriEsT permite inserir julgamentos contra cada critério, que são usados para calcular a classificação final (ou pesos) (SIRAJ; MIKHAILOV; KEANE, 2015).

Capítulo 3

Metodologia

3.1 Classificação da pesquisa

3.1.1 Tipo de pesquisa

Devido ao seu caráter exploratório, a pesquisa pode ser classificada como um levantamento, ou *Survey Analysis* (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). Utilizaram-se questionários, para identificar os riscos e avaliar pareadamente os critérios levantados usando AHP, a partir das entrevistas e questionários realizados aos tomadores de decisão.

No que diz respeito aos objetivos, a pesquisa se classifica como exploratória e tem como objetivo realizar uma avaliação de riscos usando método de tomada à decisão numa empresa de manufatura.

3.1.2 Natureza da pesquisa

Do ponto de vista da natureza, este trabalho apresenta uma “pesquisa aplicada”, pois os conhecimentos gerados são de possível aplicação em um problema prático. Em termos de abordagem, esta pesquisa se classifica como qualitativa, já que as avaliações e discussões são baseadas na interpretação de fenômenos (RAFAELI; MÜLLER, 2007).

3.1.3 Técnicas de pesquisa

Para conduzir esta avaliação, foi desenvolvido um embasamento teórico a fim de se estabelecer uma conceituação sobre gestão de riscos, avaliando diferentes metodologias ocupadas. Posteriormente, foram estudadas as dificuldades que ocorrem

durante a avaliação de riscos.

As ocorrências identificadas no processo, foram hierarquizadas de acordo com a gravidade de sua ocorrência, tempo perdido ou ciclos perdidos utilizando-se para isso o método AHP.

3.2 Delimitação da pesquisa

A aplicação do modelo desenvolvido restringiu-se a quatro critérios que atendem as exigências do estudo, porém o modelo foi projetado para permitir a inclusão de novos riscos, desde que o número de critérios não ultrapasse 9, conforme Saaty (1994). E também restringiu-se a consulta para quatro profissionais, mas é possível ter mais profissionais envolvidos.

Segundo Santos (2003), a pesquisa pode ser classificada com base nos procedimentos técnicos utilizados pelo pesquisador e nos objetivos pretendidos. As pesquisas exploratórias são aquelas que têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou construir conjecturas. O trabalho aqui descrito pode ser classificado como se segue:

- **Descritivo e exploratório quanto a seus objetivos.** Descritivo porque uma vez que visou estabelecer uma relação entre a avaliação de riscos e os vários critérios adotados e; exploratório, pois proporcionou maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito;
- **Qualitativo e Quantitativo quanto a natureza das variáveis.** Uma vez que no instrumento de coleta de dados havia tanto questões quantitativas como qualitativas;

Muitas vezes, métodos distintos não conduzem à mesma solução, o que indica que escolha do método a ser usado influencia na resolução do problema. Cabe ao tomador de decisão conhecer cada um deles e saber compará-los, a fim de que a metodologia de resolução seja ajustada ao problema, e não o contrário. Conforme visto na seção 2.2.2, para a seleção do método MCDA, depende dos componentes operacionais, a aplicabilidade no contexto do usuário, e a aplicabilidade considerando a estrutura do problema.

Para avaliar riscos consideramos: critérios quantitativos, como a probabilidade e impacto de dados históricos e; critérios qualitativos, quando não se têm dados históricos somente da experiência do gerente de risco

Dentre os métodos desenvolvidos no ambiente das decisões multicritérios, merece destaque o AHP, que é baseado na divisão do problema de decisão em níveis hierárquicos para melhor compreensão e avaliação. Contudo, o AHP Clássico apresenta o problema de inversão de ordem (GOVINDAN et al., 2015).

Esse método é bastante difundido atualmente por ser de fácil análise e de simples manuseio. A aplicação do AHP a um problema inicia-se com a organização de uma hierarquia de objetivos ou de critérios representativa dos diferentes pontos de vista envolvidos na sua resolução. A montagem dessa estrutura hierárquica é geralmente a parte mais difícil de aplicação do AHP (RODRIGUEZ; COSTA; CARMO, 2013).

3.3 Justificativa para a escolha do método AHP

Dos diferentes métodos MCDA, foi escolhido o AHP, já que suas características são aplicáveis à estrutura do problema, e ao contexto do decisor. As características do método AHP podem ser resumidas no Quadro 3.1.

A continuação explicam-se as principais razões do uso do AHP:

1. Metodologia bem-comprovada.

Durante os últimos 30-35 anos o AHP foi exaustivamente testado por milhares de organizações de todo o mundo. Existem muitos estudos de caso que descrevem como grandes organizações utilizaram o AHP para as suas decisões estratégicas para alcançarem melhores resultados.

2. Amplo conjunto de aplicações.

Nos diferentes estudos de caso, o AHP foi usado para a variedade de problemas de tomada de decisão. Existem aplicações AHP relacionados para projetar priorização, seleção de fornecedores, seleção de tecnologia, a escolha do local, recrutamento e dentre outras aplicações. Ter uma boa abordagem permite uma inteligente tomadas de decisão diárias.

Quadro 3.1: Características do método AHP

Critérios	AHP
Entrada de dados (<i>Input</i>)	
Utilização em decisões com vários níveis	Sim
Restrições quanto à quantidade de elementos em um nível	Sim
Quantidade de julgamentos em problemas com muitos critérios e alternativas	Alta
Necessidade de processar os dados antes que estes possam ser usados	Não
Possibilidade de tratar dados quantitativos e qualitativos	Sim
Possibilidade de lidar com problemas do tipo técnico	Sim
Possibilidade de tratar critérios/alternativas dependentes	Não
Possibilidade de criar as escalas de julgamento de acordo com o contexto	Não
Saída de dados (<i>Output</i>)	
Problemas com alocação em conjuntos	Não
Problemas com avaliação de desempenho	Sim
Problemas com avaliação de desempenho em classes	Não
Proporciona ranking completo de alternativas	Sim
Proporciona soluções muito refinadas	Sim
Proporciona somente eliminação de algumas alternativas	Não
Permite a avaliação de coerência dos julgamentos	Sim
Interface tomador de decisão <i>versus</i> método	
Disponibilidade de software para download gratuito	Sim
Necessidade de um especialista no método utilizado	Média
Utilização de decisões em grupo	Sim
Permissão para a participação de mais de uma pessoa na decisão	Sim
Facilidade para estruturar o problema	Alta
Possibilita o aprendizado sobre a estrutura do problema	Sim
Nível de compreensão conceitual e detalhada do modelo e algoritmo	Alto
Nível de compreensão para o decisor referente à forma de trabalho	Alto
Transparência no processamento e nos resultados	Alta
Quantidade de aplicações praticas	Alta
Número de publicações científicas	Alta

Fonte: adaptado de Guglielmetti et al. (2003)

3. Intuitivo e fácil de usar.

É recomendado para quebrar uma decisão complexa em metas explícitas, alternativas e critérios. Usando o AHP é fácil priorizar critérios e avaliar alternativas em função deles, em contraste com algumas metodologias mais recentemente desenvolvidas consideradas "caixa preta matemática". Os decisores podem ter a confiança do resultado final usando o AHP.

4. Projetado para multicritérios.

Na tomada de decisões importantes, sempre há conflitos entre critérios. Por exemplo, "minimizar o preço" e "maximizar a qualidade" são muitas vezes objetivos contraditórios. Isto é agravado quando a tomada de decisão é colaborativa, devido que as pessoas terem pontos de vista e prioridades diferentes. As melhores práticas de tomada de decisão têm em conta todos os critérios importantes. No entanto, esta "melhor prática", é muitas vezes ignorada por uma tomada de decisão baseada apenas no preço.

5. Cria o alinhamento em torno das prioridades de critérios.

Muitas das decisões mais importante são colaborativas, e sem um processo de apoio, é difícil chegar a um consenso pelas prioridades diferentes (PMI, 2008). Segundo Ferreira et al. (2015), algumas metodologias para a tomada de decisão faltam deste mecanismo chave. No AHP, a definição de prioridades é resolvido com comparações por pares. Cada participante é convidado a responder individualmente: é A ou B é mais importante, e por quanto? Depois disso, uma comparação das avaliações é feita, com o objetivo de chegar a um consenso sobre os seus pesos. Depois disso, as comparações de forma colaborativa são unificadas usando a média geométrica. Este é um processo que está centrado em colaboração e que tem um mecanismo que ajude a eliminar impasses.

6. Validação da consistência.

No caso das tomadas de decisões colaborativas há várias pessoas que podem cometer erros e ser inconsistente. O AHP pode eliminar alguns desses problemas, mediante um algoritmo que verifica se a entrada é consistente. Um bom software de suporte pode, então, identificar essas inconsistências e ajudá-lo a lidar com os que precisam ser abordados. Igualmente uma análise de sensibilidade é essencial para verificar diferentes cenários, especialmente quando se é difícil chegar a acordo sobre um valor.

3.4 Etapas do trabalho

A Figura 3.1 ilustra a metodologia para o desenvolver o estudo de caso.

A identificação dos fatores de riscos operacionais e outros foi feita mediante uma revisão bibliográfica e na primeira entrevista realizada com o gerente da empresa.

Pós serem identificadas as causas dos riscos e os principais impactos negativos que podem paralisar operativamente o negócio, mediante um segundo questionário (ver Apêndice A.1.2) foram avaliadas quantitativamente e qualitativamente as probabilidades e seu impacto. Estes dados foram analisados mediante a matriz de "Probabilidade e Impacto" e seu resultado (o nível de severidade: baixo, moderado e intolerável) foi utilizado como avaliação das alternativas para cada critério, ocupando o método AHP.

3.4.1 Etapas da metodologia AHP

A seguir são descritas as etapas da metodologia AHP.

Etapa 1: Definição da meta e identificação dos agentes de decisão e do tomador de decisão

Ao aplicar a metodologia AHP modelo multicritério, vamos sempre precisar de ir com os especialistas por um lado e em segundo lugar também para fontes secundárias de informação de estatísticas mais relevantes. O foco das suas avaliações deve estar sempre encaminhado ao objetivo do modelo.

Etapa 2: Definição das alternativas

As alternativas, neste caso são os riscos identificados que poderiam causar atraso, ou aumentar o custo de produção, tendo como consequência o não cumprimento da meta. Estes riscos foram identificados mediante entrevista com o gerente e funcionários da empresa.

Etapa 3: Definição dos critérios e subcritérios relevantes e estruturação da hierarquia do problema

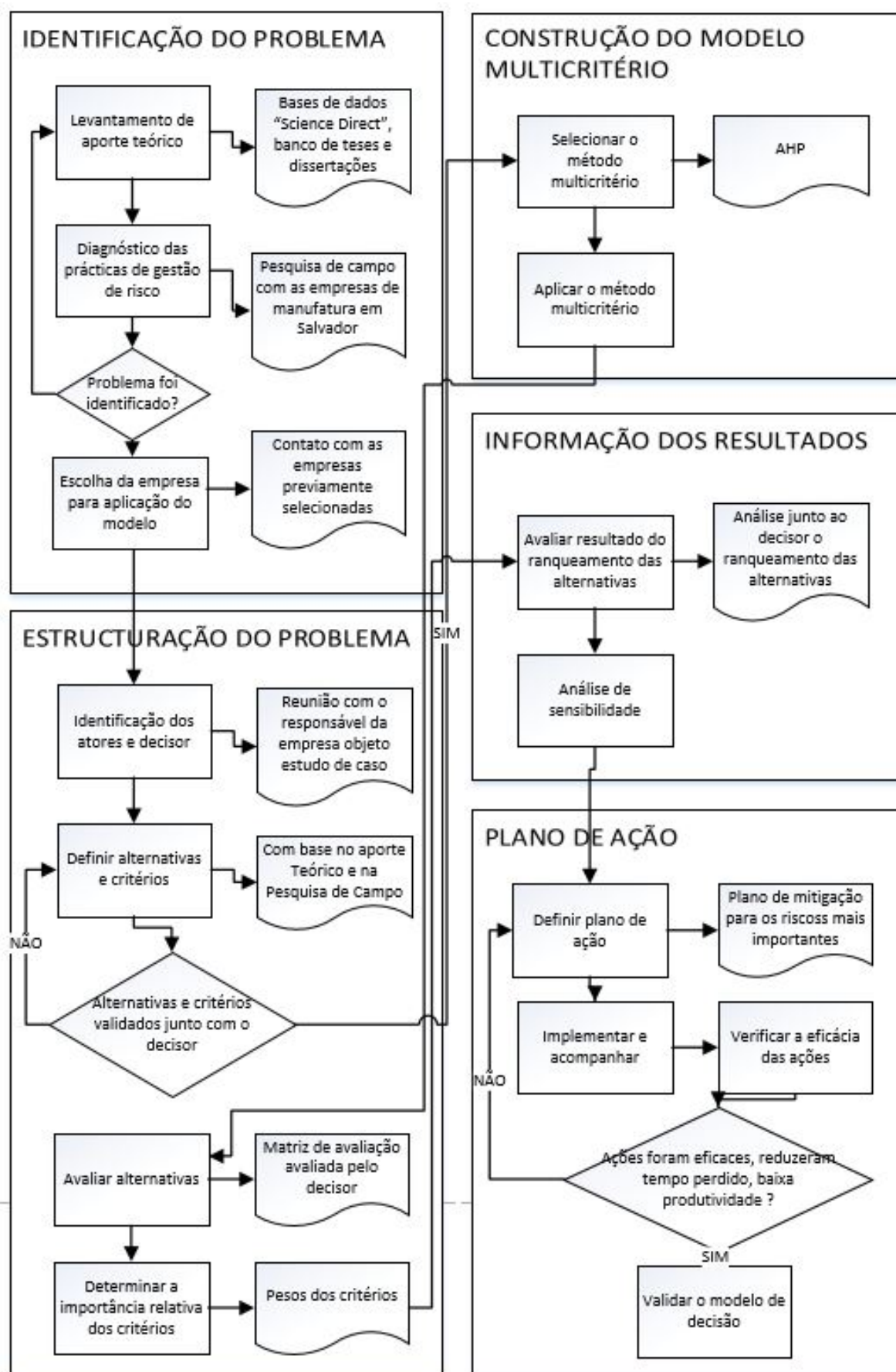
A definição dos critérios e subcritérios relevantes foram identificados mediante as entrevistas realizadas na visita de campo, da mesma forma mediante estudos de caso que abordam gestão de risco.

Segundo Saaty e Vargas (2012), uma hierarquia funcional, como a utilização neste trabalho, decompõe um problema consoante as relações essenciais existentes entre os seus elementos, para atingir a meta requerida.

Definir os critérios de risco envolve decidir: a natureza e tipos de consequências a serem incluídos e como eles serão mensurados; a maneira pela qual as probabilidades estão a ser expressas; como um nível de risco será determinado; os critérios pelos quais será decidido quando um risco precisa de tratamento; os critérios para decidir quando um risco é aceitável e/ou tolerável e; se e como as combinações de riscos serão levados em conta.

Os critérios podem ser baseados em fontes tais como: objetivos dos processos acordados; critérios identificados nas especificações; fontes de dados em geral; níveis de integridade de segurança; e requisitos legais e outros para equipamentos ou aplicações específicas.

Figura 3.1: Metodologia do trabalho



Etapa 4: Avaliar alternativas

Uma avaliação qualitativa define consequência, a probabilidade e o grau de risco por níveis de significância, como "alto", "médio" e "baixo", pode combinar consequência e probabilidade, e avalia o nível resultante do risco em relação a critérios qualitativos.

O nível de risco depende da adequação e eficácia dos controles existentes. O nível de eficácia para um controle específico, ou conjunto de controles relacionados, podem ser qualitativa, semi-quantitativamente ou quantitativamente. Na maioria dos casos, um alto nível de precisão não é garantida. No entanto, pode ser valioso para expressar e registrar uma medida de eficácia de controle de risco de modo a que as decisões podem ser feitas sobre se o esforço é melhor gasto na melhoria de um controle ou o fornecimento de um tratamento de risco diferente.

A análise de risco consiste em determinar as consequências e suas probabilidades para eventos de risco identificados, tendo em conta a presença (ou não) ea eficácia de quaisquer controles existentes. As consequências e suas probabilidades são então combinadas para determinar um nível de risco.

Etapa 5: Atingir um consenso

Em um consenso todos devem ser ouvidos e respeitados, é um processo de decisão que não conta com opções imitadas e sim com a construção de uma decisão que trabalhe com o grupo como um todo. Mediante o uso do AHP é fácil atingir o consenso, mediante o uso da media geométrica de todas as avaliações dos decisores (SAATY, 2007).

Etapa 6: Analisar resultados

Ao analisar os resultados, ou seja as classificações das alternativas, é importante também analisar os resultados das análises de sensibilidade, para tomar uma decisão tomando a vista as possíveis mudanças nas classificações (BREU; GUGGENBICHLER; WOLLMANN, 2008).

3.4.2 Análise Qualitativa e Quantitativa

Etapa de Análise Qualitativa dos Riscos

Segundo PMI (2013), a análise qualitativa dos riscos pondera a probabilidade ou plausibilidade de ocorrência, seu resultado sobre o objetivo do projeto, analisando também o intervalo de tempo para resposta e a tolerância da organização quanto às restrições de custo, escopo, cronograma e qualidade do projeto.

As classificações atribuídas aos riscos se baseiam em sua probabilidade e impacto avaliados e são demonstrados na Matriz "Probabilidade e Impacto", que especifica essas combinações, definindo os riscos como: Risco Alto; Risco Moderado e Risco Baixo, as quais servirão posteriormente para sua priorização (ver Figura 3.2).

Figura 3.2: Matriz Probabilidade x Impacto, segundo metodologia FMEA

IMPACTO	5. Catastrófico	5	10	15	20	25
	4. Alto	4	8	12	16	20
	3. Moderado	3	6	9	12	15
	2. Baixo	2	4	6	8	10
	1. Insignificante	1	2	3	4	5
		1. Remota	2. Improvável	3. Possível	4. Muito Provável	5. Quase Certa
		PROBABILIDADE				

Fonte: Adaptado do PMI (2013)

Essa matriz especifica as combinações de probabilidade e impacto que resultam em uma classificação de três áreas:

1. A área vermelha (com os números maiores) representa risco alto o intolerável;
2. a área amarela (com os números intermediários) representa risco moderado;
3. e a área verde (com os números menores) representa baixo risco.

Etapas de Análise Quantitativa dos Riscos

Na análise quantitativa de riscos se analisam o efeito numérico dos riscos nos objetivos, servindo para tomada de decisões, focando nas consequências conjuntas e no impacto global dos riscos, realizando a análise somente nos riscos priorizados de impacto substancial (PMI, 2013).

Scofano et al. (2013) destacam a utilização de três diferentes técnicas para quantificar os riscos:

- a) VME: técnica de cálculo do valor esperado definido pela multiplicação entre a Probabilidade e o Impacto;
- b) Árvore de Decisão: técnica que considera riscos, probabilidades e impactos associados, para tomada de decisões. Envolve modelos de situações reais considerando eventos futuros buscando decisões no tempo presente; e
- c) Simulação de Monte Carlo: técnica que utiliza modelo ou software para a conversão automática das incertezas determinadas na identificação do projeto, considerando seu possível impacto.

3.4.3 Seleção do software

O software para automatizar as operações matemáticas foi software *Super Decisions*, porque facilita a tomada de decisão, no primeiro lugar ao corroborar o índice de consistência na hora para cada avaliação. Além disso, é fácil fazer mudanças como adicionar o eliminar critérios ou alternativas, além de cambio de avaliações. No momento de analisar os resultados, este software oferece uma análise de sensibilidade para uma melhor tomada de decisão.

Este software é de domínio público, tem uma boa interface do usuário, somente não oferece uma interface para a entrada de avaliações para mais de um decisor. Porém, esta pode ser obtida utilizando a média geométrica para cada peso por decisor.

Capítulo 4

Estudo de caso

4.1 Contexto

Segundo Tomas e Alcantara (2013), a busca pela racionalização dos processos construtivos, visando redução de custos e garantia da qualidade tem sido uma constante entre as empresas construtoras brasileiras. Nesse contexto, os fornecedores devem participar de forma ativa desta evolução, modernizando sua linha de produção, adicionando inovações e facilidades, contribuindo para a garantia da qualidade do produto final.

Na pesquisa bibliográfica, explicou-se a importância da gestão de riscos, sejam estes internos ou externos à empresa. Segundo Colledani et al. (2014), os critérios mais importantes na gestão e desenho de sistemas de manufatura são o controle de qualidade; planejamento da produção; e manutenção preventiva dos equipamentos.

Porém a gestão de riscos envolve certo grau de incerteza acerca do ambiente externo e dos processos internos, como a relação com fornecedores e clientes. Um risco tradicional na manufatura é o risco operacional, aquele que pode causar descontinuação no processos de manufatura ou aumentar o custo operacional. Também as decisões operacionais são atingidas por outros riscos, igualmente importantes, embora difícil de mensurá-los ou de pronosticá-los quantitativamente.

Este estudo de caso aborda a aplicação da metodologia de decisão multicritério, especificamente o uso do AHP, na gestão de riscos numa empresa industrial de pré-moldados, na Bahia, Brasil. Porém, essa hierarquia pode ser aplicada em qualquer empresa. Propõe-se um modelo para avaliar riscos, tanto de maneira quantitativa como de forma qualitativa, comparando os resultados com métodos tradicionais de avaliação de riscos. Porque decisões deste tipo envolvem alta complexidade e sua

efetividade requer controles detalhados no nível operacional, demandando tempo e recursos limitados. O tempo de estudo foi de 14 meses.

4.1.1 Definição do problema

A empresa do estudo de caso é CIVIL PRÉ-MOLDADOS, parte do grupo CIVIL uma das maiores empresas de pré-fabricados de concreto da Bahia, ingressou no mercado de pisos intertravados de concreto, fornecendo um produto de alta qualidade, produzido numa moderna planta industrial.

A empresa, através de uma equipe técnica composta por engenheiros e técnicos especializados, fornecem o suporte aos clientes. Sua produção é puxada, planejada pelas vendas. Para controle da produção, eles têm relatórios diários de ocorrência (ver Figura B.5) e relatórios diários de produção (ver Figura B.6). No primeiro relatam-se os minutos da jornada produtiva e a quantidade de ciclos realizados, assim como as falhas ocorridas nos subprocessos. No Apêndice B está explicado de forma mais detalhada seus processos, produtos.

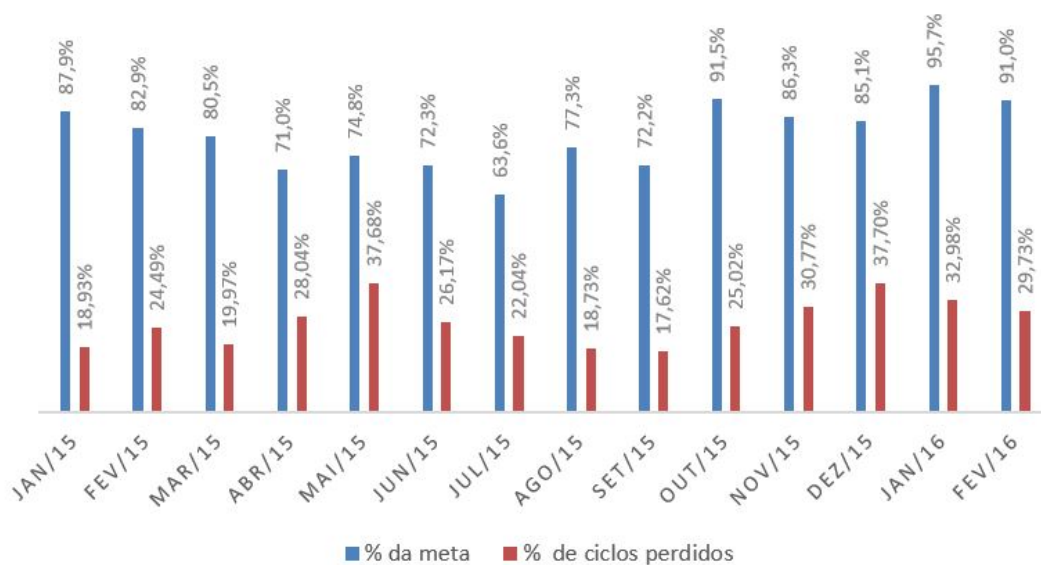
Algumas das ocorrências que acontecem são: manutenção corretiva da máquina; paradas nos subprocessos de mistura, dosagem, na prancheta; e falta de matérias-primas como cimento, água, energia elétrica, areia.

No relatório diário de produção, que é basicamente uma *dashboard*, (ver Figura B.5) são controlados indicadores de desempenho, tais como: a meta diária, semanal e mensal por produto; as matérias-primas ocupadas; a porcentagem de ciclos perdidos; a porcentagem de perda no palete; a equipe na jornada de trabalho; a disponibilidade do equipamento; e as ocorrências.

O risco da concorrência desleal, não foi objeto de estudo, porém é um importante risco, pois oferecem produtos com menor qualidade a menor preço. Roubam uma quantia importante no mercado.

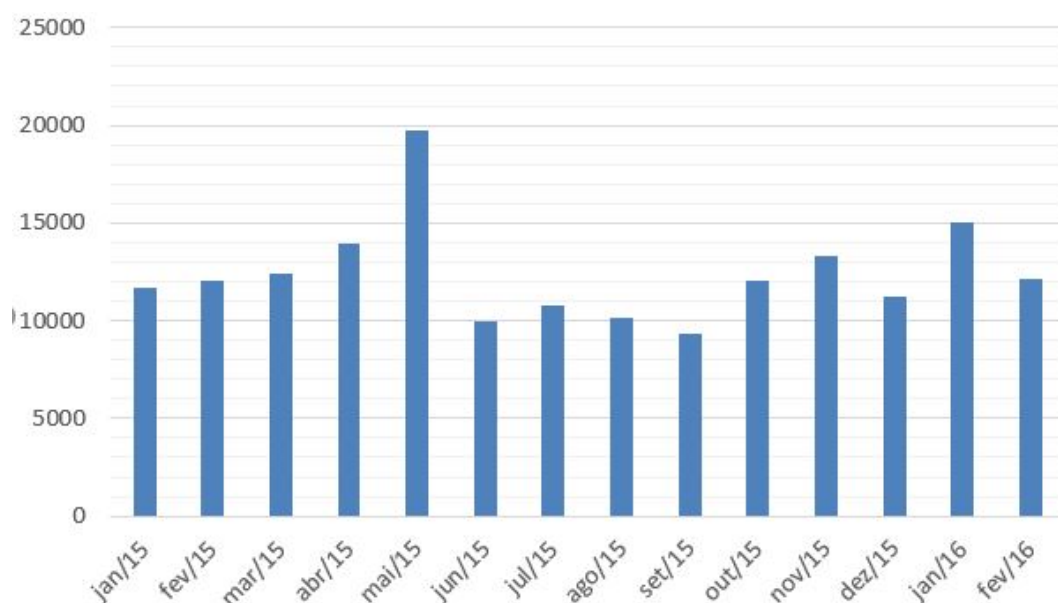
Na Figura 4.1, ilustra-se que em nenhum mês, dos 14 meses em estudo, a meta de produção foi atingida ao 100%, pelas paradas por manutenção corretiva pelo pessoal da equipe ou outras causas. Para ter em conta o prejuízo a nível operativo, estes minutos perdidos foram convertidos em ciclos de produção não feitos. Observa-se uma relação entre a porcentagem de meta para ser cumprida e a porcentagem de ciclos perdidos.

Figura 4.1: Gráfico de barras do cumprimento da meta de produção



A Figura 4.2 ilustra o número de ciclos perdidos. A média foi de 11.000 ciclos perdidos, O mês com a máxima foi maio/2015 com quase 20.000 ciclos perdidos.

Figura 4.2: Número de ciclos perdidos



Mediante os dados de ocorrência no ultimo ano, Jan/15 até Fev/16, é possível constatar que a ocorrência que causa o maior tempo perdido é a manutenção corretiva das maquinas, contabilizando-se esse tempo 395 horas perdidas, com uma media de 28 horas perdidas por mês. Especificamente com a prancheta, foram contabilizadas 131 horas perdidas, com uma media de 9 horas perdidas por mês (ver Figura 4.3). Outro fato, para levar em consideração é os dados (tempo perdido), são randômicos, ou aleatórios, por exemplo, no subprocesso de transportar o produto com a prancheta foi a principal causa no mês de maio/15, contudo, em outros meses, foram falhas nos subprocessos diferentes as principais causas de baixa produtividade.

Na Figura 4.4, ilustra-se o custo aproximado pelas ocorrências na produção, esses dados foram obtidos do produto custo por ciclo e o número de ciclos perdidos.

Figura 4.3: Gráfico de linhas sobre tempo perdido por subprocessos

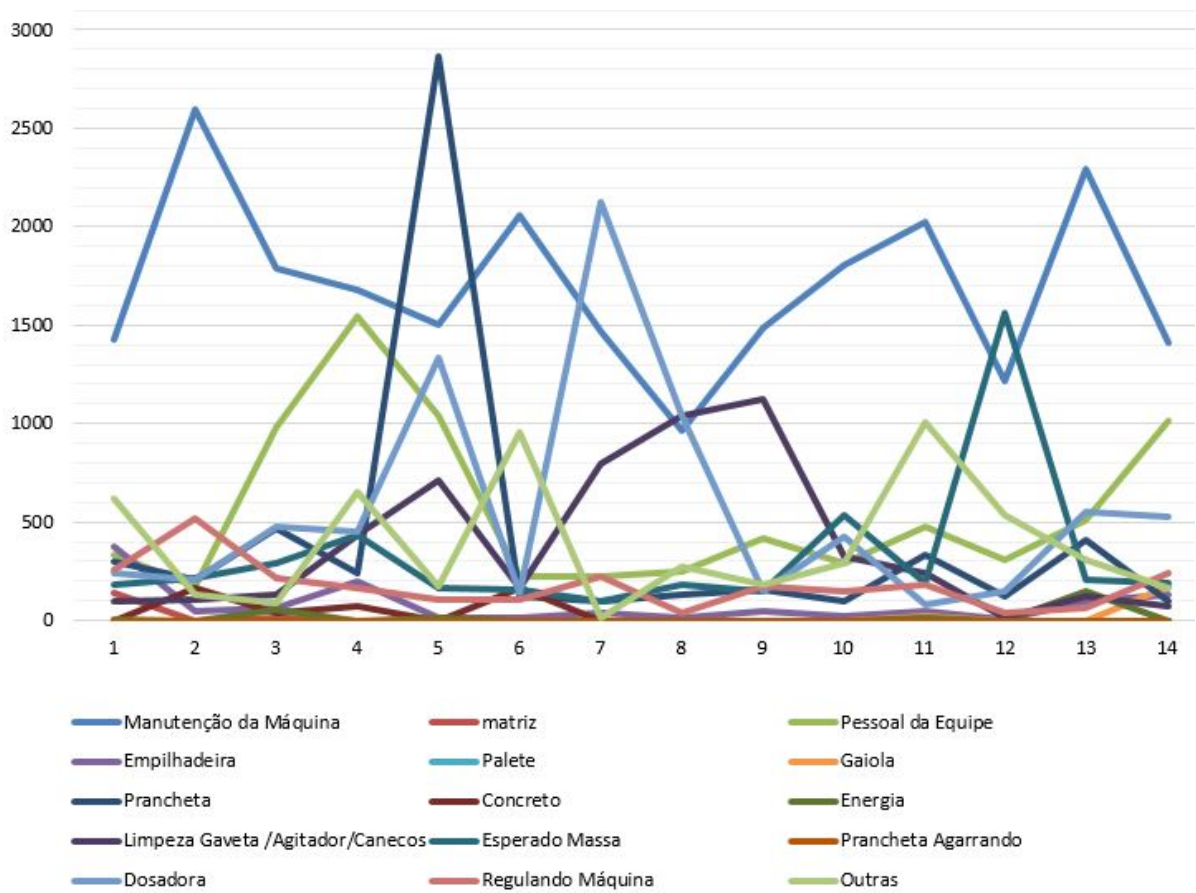
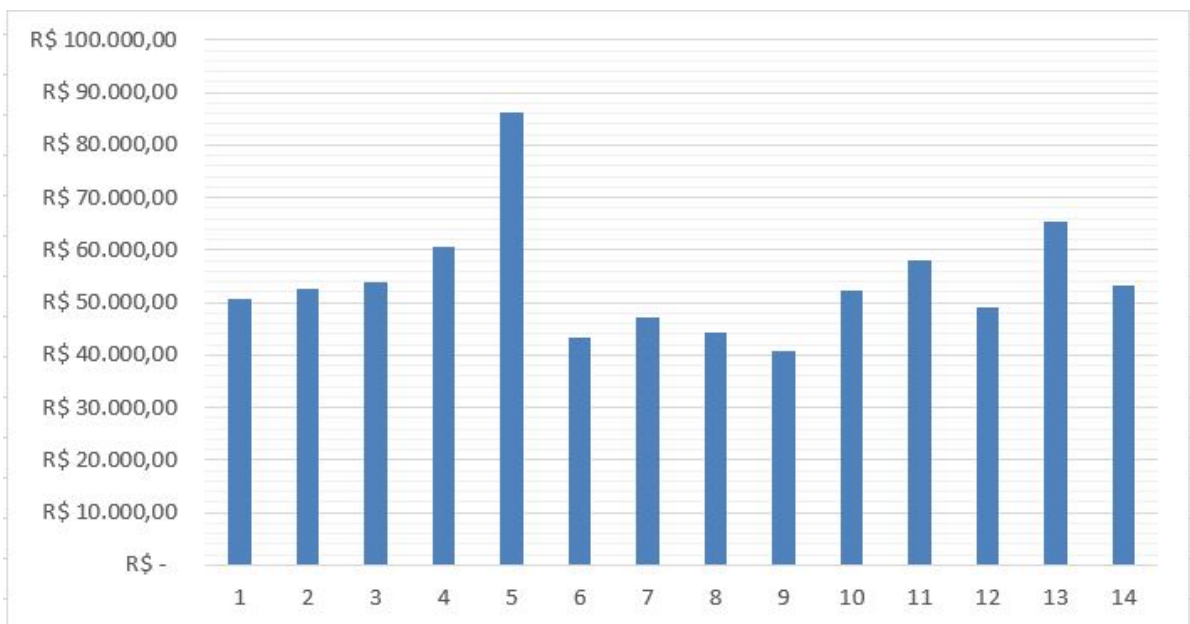


Figura 4.4: Gráfico de barras do custo aproximado por perdas na operação



4.2 Tomada da decisão usando o AHP

Usar o método AHP para a tomada de decisão operacional tendo em conta as causas que paralisam ou demoram a operação, tendo como consequência o não cumprimento das metas de produção, e os possíveis impactos que podem ser causados pelas operações como ambiental, à segurança do ser humano, danos a propriedades, custo extra pela retirada de produto com baixa qualidade.

O AHP é uma das metodologias mais usadas para a tomada de decisão com multicritérios. Este método foi selecionado pela inclusão de vários decisores, além de avaliar as alternativas de maneira qualitativa e quantitativa. Os diferentes critérios são os diferentes impactos que as causas dos riscos poderiam ter, isso é útil para se identificar as causas com muitas consequências.

4.2.1 Atores no processo decisório

Apesar de que o método AHP é útil para tomada de decisão em grupo e obter uma resposta consensual. Neste caso somente se tem um único decisor quem foi o Gerente Industrial. Quem tem mais de quatro anos de trabalho na indústria. Mesmo assim as respostas obtidas são válidas e são úteis para uma tomada de decisão operacional.

4.2.2 Formulação das alternativas

As alternativas foram as causas identificadas mediante entrevistas realizadas anteriormente. As causas, são subprocessos críticos dentro da operação donde o maior número de paradas da operação acontece, as quais são:

A 1 - Falta de matéria-prima (água, concreto ou outros);

A 2 - Problemas por falta de energia;

A 3 - Falhas no subprocesso de estocagem de agregados;

A 4 - Falhas no subprocesso de dosagem de agregados;

A 5 - Falhas no subprocesso de mistura;

A 6 - Falhas no subprocesso de dosagem de moldagem na vibro-prensa;

- A 7 - Falhas no subprocesso de cura;
- A 8 - Falhas no subprocesso de palatização e estocagem;
- A 9 - Manutenção da máquina não planejada e;
- A 10 - Paradas pelo pessoal da equipe não planejada ou programada.

As causas externas são:

- A 11 - Falta de licença ambiental da maquinaria;
- A 12 - Greve de funcionários;
- A 13 - Falta de trabalhadores qualificados;
- A 14 - Crise financeira e política;
- A 15 - Aumento no preço de matérias-primas e;
- A 16 - Problemas causados por fenômenos naturais, como tempestades.

4.2.3 Estruturação da hierarquia do problema e definição dos critérios e subcritérios relevantes

Estruturação da hierarquia do problema

Para fazer nossa análise, as alternativas na hierarquia são as causas internas (ver Figura 4.5), e causas externas (Figura 4.6). As causas internas afetam nas operações, processos, controles dentro da empresa (VILKO; HALLIKAS, 2012). E as causas externas são causados pelos fornecedores, ou pela demanda, inclusive mudanças no cenário, como leis ambientais, política, desastres naturais (YOUNG, 2001).

Figura 4.5: Hierarquia com riscos internos

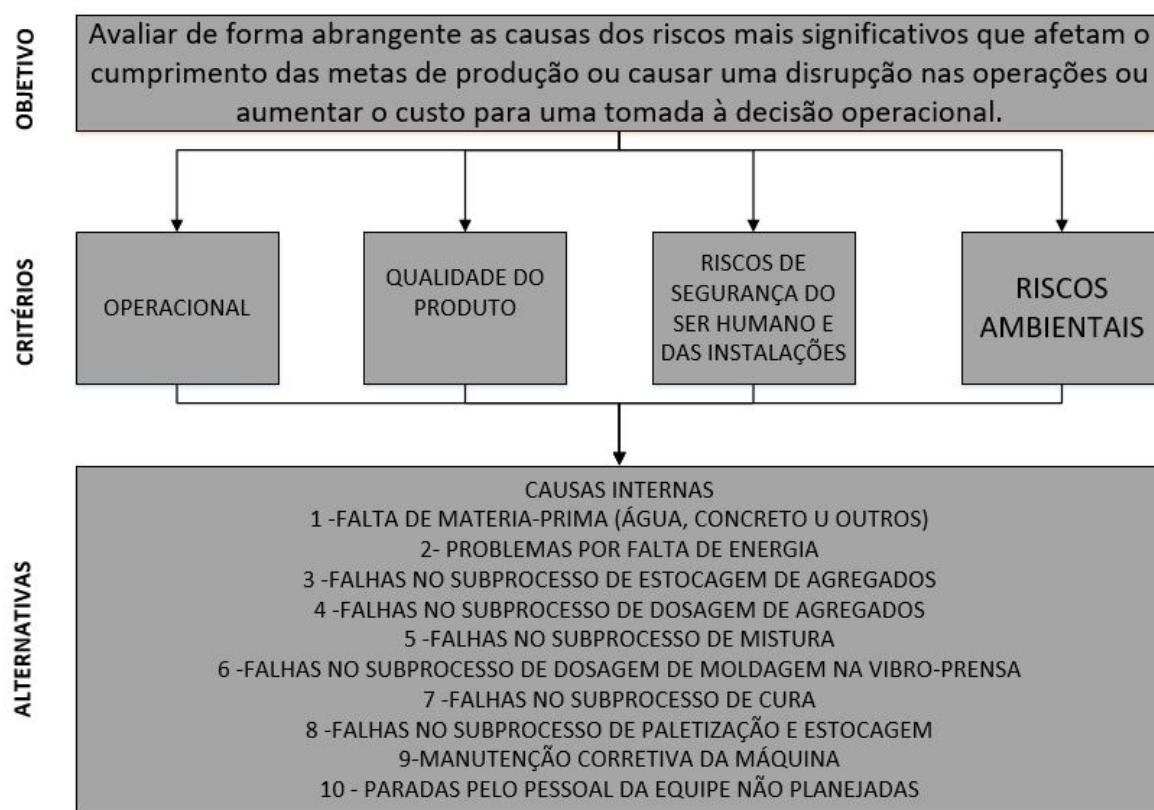
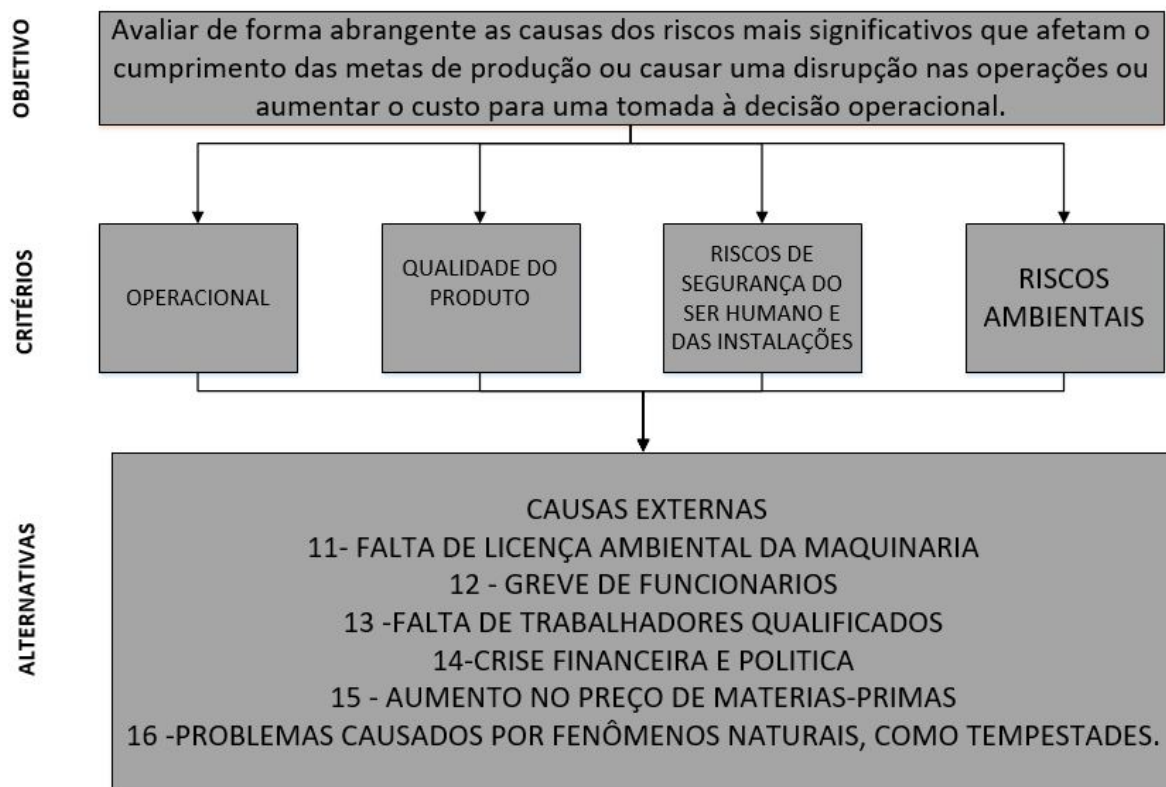
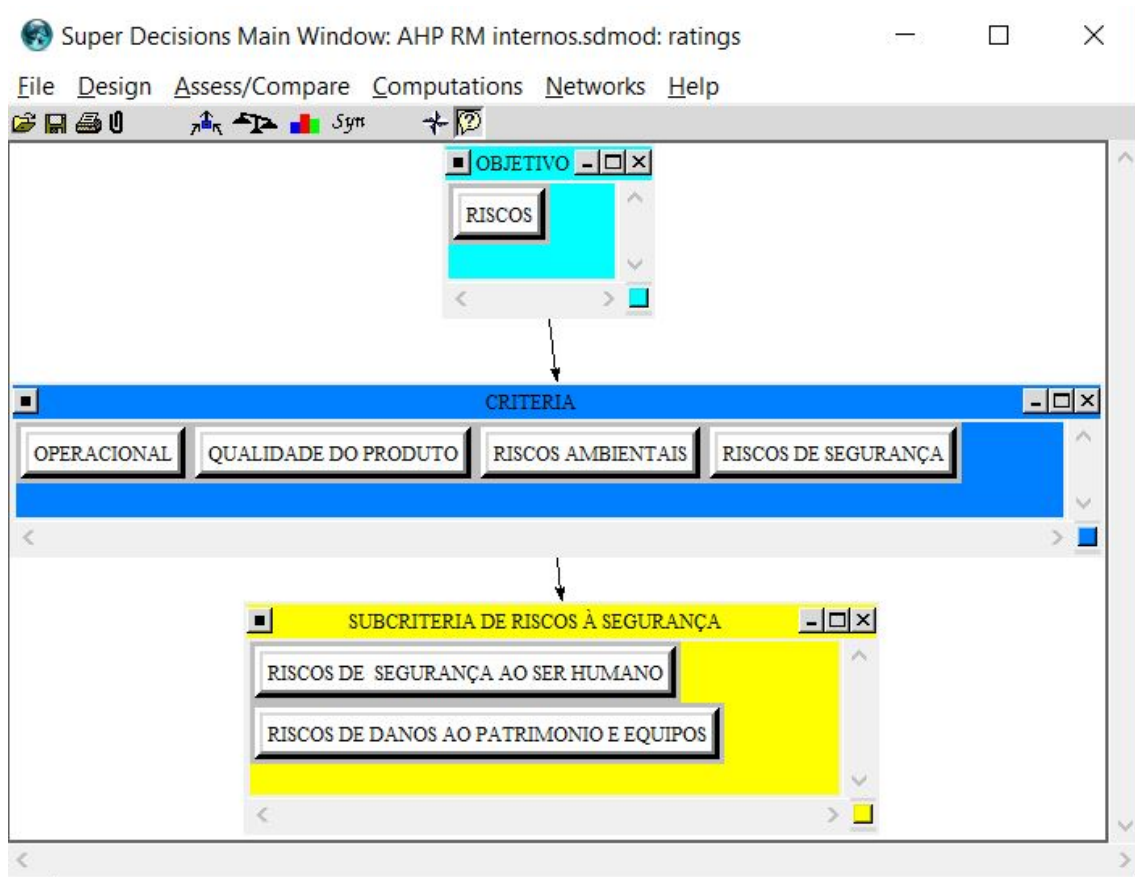


Figura 4.6: Hierarquia com riscos externos



Na Figura 4.7, ilustra-se o modelo AHP gerado pelo software *Super Decisions*, para obter os resultados das avaliações. A modelagem da hierarquia no software Super Decisions foi feita usando três *clusters*, uma para o objetivo; outra para os critérios e; a última para os subcritérios.

Figura 4.7: Modelo Hierárquico gerado pelo software *Super Decisions*



Definição dos critérios e subcritérios

Os critérios e suas definições estão previamente descritas na seção 2.1.4.

R-1. Risco operacional ou de produção.

R-2. Risco de qualidade do produto.

R-3. Riscos de segurança.

R-4. Riscos ambientais.

Os riscos à segurança foram divididos em:

R3-A. Riscos de segurança ao ser humano (acidentes laborais ou de trabalho).

R3-B. Riscos de danos as propriedades.

4.2.4 Ponderação da importância relativa dos critérios

O próximo passo, é avaliar por pares os critérios e os subcritérios, considerando sua importância relativa respeito ao objetivo. Esta avaliação foi feita mediante uma planilha oriunda do Microsoft Excel, (ver Figuras A.7 e A.8) logo os cálculos foram realizados mediante o software Super Decisions (ver Figura 4.8).

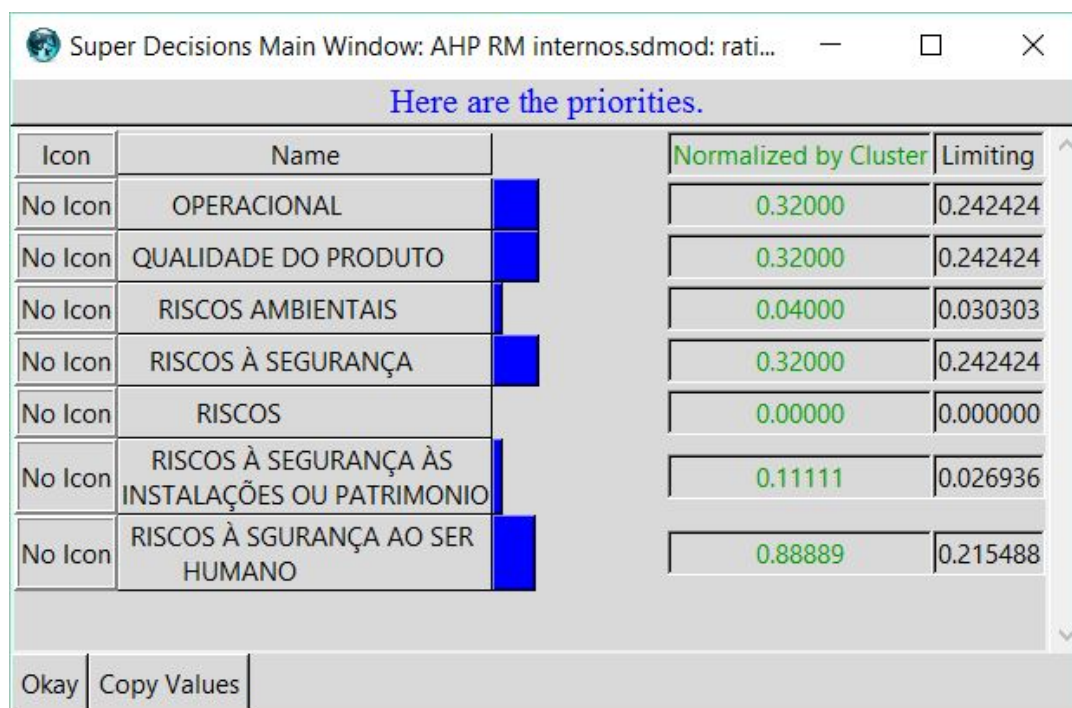
Figura 4.8: Avaliação dos critérios gerado pelo software *SuperDecision*

2. Node comparisons with respect to RISCOS			
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct			
Comparisons wrt "RISCOS" node in "CRITERIA" cluster			
OPERACIONAL is 1 times more important than QUALIDADE DO PRODU			
Inconsistency	QUALIDADE	RISCOS AM~	RISCOS DE ~
OPERACIONAL	← 1	← 8	← 1
QUALIDADE		← 8	← 1
RISCOS AM~			↑ 8

Na Figura 4.9, mostra-se os pesos para cada critério, segundo a avaliação do gerente geral da empresa. Estes resultados foram: 32% para os riscos operacionais, os riscos a qualidade do produto e riscos à segurança; e um 4% para os riscos ambientais. Isso não quer dizer que eles menosprezam estes últimos riscos, segundo o gerente, ao aprimorar e ter planos de mitigação e contingência nos processos, eles podem eliminar os riscos ambientais. Segundo o relatório de acidentes, somente tem ocorrido 1 nos últimos 5 anos, ou seja a probabilidade é insignificante e o impacto também é desprezível.

Os riscos de segurança, se categorizam em riscos de segurança ao ser humano (acidentes laborais) e riscos de danos às propriedades de instalação, máquinas e equipamentos e patrimônio. Segundo a avaliação feita pelo gerente, a importância dos acidentes laborais é predominante com 88%. Isso é verificado na prática, todos os funcionários utilizam equipamentos de segurança, recebem o Diário de Segurança

Figura 4.9: Ponderação dos critérios



Icon	Name		Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	OPERACIONAL		0.32000	0.242424
No Icon	QUALIDADE DO PRODUTO		0.32000	0.242424
No Icon	RISCOS AMBIENTAIS		0.04000	0.030303
No Icon	RISCOS À SEGURANÇA		0.32000	0.242424
No Icon	RISCOS		0.00000	0.000000
No Icon	RISCOS À SEGURANÇA ÀS INSTALAÇÕES OU PATRIMONIO		0.11111	0.026936
No Icon	RISCOS À SGURANÇA AO SER HUMANO		0.88889	0.215488

Okay Copy Values

(DDS) no qual os técnicos de segurança param de 10 ao 15 minutos a produção, para ensinar técnicas de segurança.

4.2.5 Avaliação das alternativas

Depois de se avaliar os critérios, avaliam-se as alternativas. Mediante os relatórios diários de ocorrência e de produção foi possível avaliar quantitativamente os riscos operacionais para os riscos internos. Para isso foram ponderados os dados (tempo perdido em minutos para cada subprocesso). Os demais critérios foram avaliados utilizando o questionário (ver Apêndice A), preenchido com base do conhecimento do gerente geral, mensurando a probabilidade e o impacto para cada causa do risco.

Avaliação quantitativa das alternativas

Para avaliar as alternativas conforme o critério de risco operacional, os dados dos tempo perdidos(em minutos), no período de janeiro do 2015 até fevereiro do 2016 foram ponderados. Ilustra-se na Tabela 4.1 como foram obtidos os pesos das alternativas conforme o critério de risco operacional.

Tabela 4.1: Ponderação das Alternativas, conforme o critério de risco operacional

Causa	Tempo perdido em minutos	Tempo perdido em horas	Peso ponderado
A1- Falta de matéria prima	0	0,00	0,0%
A2 - Problemas por falta de energia	235	3,92	0,4%
A3 - Falhas no subprocesso de estocagem de agregados	0	0,00	0,0%
A4 - Falhas no subprocesso de dosagem de agregados	4567	76,12	7,0%
A5 - Falhas no subprocesso de mistura	5862	97,70	9,0%
A6 - Falhas no subprocesso de dosagem de moldagem na vibro-prensa	7851	130,85	12,1%
A7 - Falhas no subprocesso de cura	5663	94,38	8,7%
A8 - Falhas no subprocesso de paletização e estocagem	9199	153,32	14,2%
A9 - Manutenção da máquina não planejada	23722	395,37	36,6%
A10 - Paradas pelo pessoal da equipe não planejadas	7771	129,52	12,0%

Avaliação qualitativa das alternativas

Outra grande vantagem do AHP, é poder avaliar qualitativamente as alternativas mediante opiniões subjetivas das gestores. Na avaliação dos riscos foram ocupados questionários para avaliar a probabilidade e ocorrência das causas em relação aos riscos de segurança, riscos da qualidade do produto e risco ambiental. Em estes casos que não se tem relatórios específicos para cada área na mão, a probabilidade e o impacto foi avaliada segundo a experiência e conhecimento da chefia.

Utilizando a matriz "Probabilidade e Impacto" (ver Figura 3.2) foi obtido o nível de severidade, o qual para cada nível foi designado um peso (Ver Figura 4.10). Por exemplo, a alternativa C1 que tem uma avaliação de severidade baixa nos impactos ambientais, de segurança e qualidade equivale um peso de 0,05. Nesta avaliação nenhuma das causas obteve um nível de severidade alta, o qual equivale a 0,70.

Figura 4.10: Avaliação por pares do nível de severidade dos riscos

Hi	0.70087
Med	0.24298
Lo	0.05616

A Figura 4.11 resume as avaliações feitas para as causas internas. Se a avaliação das alternativas é feita utilizando *Ratings* ou escalas, não é necessário o *cluster* das alternativas. Neste caso, optou-se por usar avaliação por *Ratings*, visto que facilita os julgamentos das avaliações, e usar um número maior de alternativas.

Figura 4.11: Avaliação das Alternativas Quantitativamente e Qualitativamente

	Totals	OPERACIONAL 0.320000	QUALIDADE 0.320000	RISCOS AMBIENTAIS 0.040000	RISCOS DE SEGURANÇA 0.284444	RISCOS DE DANOS 0.035556
C1-	0.054485	0.000000	Lo	Lo	Lo	Lo
C2-	0.054485	0.000000	Lo	Lo	Lo	Lo
C3-	0.054485	0.000000	Lo	Lo	Lo	Lo
C4-	0.080085	0.080000	Lo	Lo	Lo	Lo
C5-	0.165383	0.080000	Med	Lo	Lo	Lo
C6-	0.178183	0.120000	Med	Lo	Lo	Lo
C7-	0.171783	0.100000	Med	Lo	Lo	Lo
C8-	0.136705	0.020000	Lo	Lo	Med	Lo
C9-	0.245505	0.360000	Lo	Lo	Med	Lo
C10-	0.099285	0.140000	Lo	Lo	Lo	Lo

É importante ressaltar que o nível de impacto é relativo à exposição a um risco

como causa de um acidente e dos danos resultantes. O nível de severidade varia de acordo com as medidas de controle adotadas, ou seja:

$$\text{Nível de severidade} = \text{Risco} / \text{Medidas de controle adotadas}$$

Validação do modelo

Para validar o modelo é necessário corroborar os índices de consistência, dado que as avaliações são subjetivas, podem ter um índice de consistência fora do esperado. Na avaliação dos critérios os índices de consistência foi de 0,000 (Ver Figura 4.12). (O índice de consistência está explicado mais detalhadamente na seção 2.2.3).

Figura 4.12: Inconsistência gerada pelo software Super Decisions

Inconsistency: 0.00000			
OPERACION~			0.32000
QUALIDADE~			0.32000
RISCOS AM~			0.04000
RISCOS DE~			0.32000

4.2.6 Análise dos resultados

Discussão sobre o ranking

Na Figura 4.13, mostra-se os resultados do modelo proposto para o estudo de caso e que serve para a tomada de decisão das quais as causas focalizam os recursos para minimizar os riscos de forma abrangente.

Observa-se quatro causas internas mais importantes, as quais são: RI 5 - Falhas no subprocesso de mistura; RI 6 - Falhas no subprocesso de dosagem de moldagem na vibro-prensa; RI 7 - Falhas no subprocesso de cura, no momento de utilizar a prancheta para mobilizar os produtos, assim como a estiba e; RI 9 - Manutenção corretiva da máquina.

Na Figura 4.14, mostra-se os resultados do modelo proposto para as causas externas. Neste caso, o maior risco possível que pode causar uma interrupção nas operações é a falta da licença o alvará ambiental.

Figura 4.13: Rankings das causas internas

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
C1- Falta de materia prima		0.221930	0.043926	0.043926
C2 - Problemas por falta de energia		0.221930	0.043926	0.043926
C3 - Falhas no subprocesso de estocagem~		0.221930	0.043926	0.043926
C4 - Falhas no subprocesso de dosagem d~		0.326205	0.064565	0.064565
C5 - Falhas no subprocesso de mistura		0.673643	0.133332	0.133332
C6 - Falhas no subprocesso de dosagem d~		0.725780	0.143651	0.143651
C7 - Falhas no subprocesso de cura		0.699711	0.138492	0.138492
C8 - Falhas no subprocesso de paletizaç~		0.556833	0.110212	0.110212
C9 - Manutenção da máquina não planejada		1.000000	0.197927	0.197927
C10 - Paradas pelo pessoal da equipe não pl~		0.404411	0.080044	0.080044

Figura 4.14: Rankings das causas externas

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
C11 - Falta de licença ambiental da maquinaria		1.000000	0.286515	0.286515
C12 - Greve de funcionários		0.441734	0.126563	0.126563
C13 - Falta de trabalhadores qualificad~		0.694816	0.199075	0.199075
C14 - Crise financeira e politica		0.441734	0.126563	0.126563
C15 - Aumento no preço de matérias-primas		0.441734	0.126563	0.126563
C16 - Problemas causados por fenômenos naturais. ~		0.470206	0.134721	0.134721

Análise de sensibilidade

O resultado da classificação das alternativas dependem dos pesos correspondentes aos critérios. Uma pequena mudança neles, pode alterar o ranqueamento. Segundo Saaty e Vargas (2012), é muito importante fazer esse teste e enxergar as mudanças

Tabela 4.2: Análise de sensibilidade

Critérios	Limite inferior	Limite Superior	Intervalo de estabilidade
Operacional	0,01	0,05	0,04
Qualidade	0,00	0,46	0,46
Ambiental	0,00	1,00	1,00
Segurança	0,06	1,00	1,00

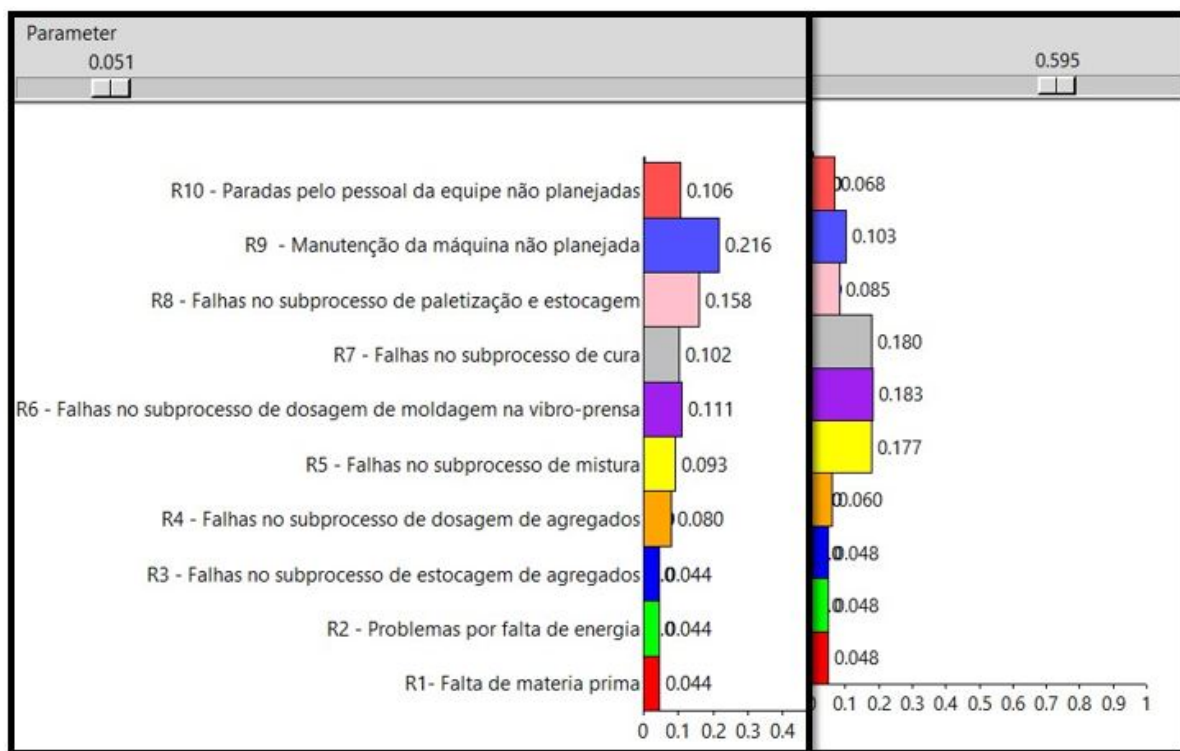
no ranking para considerar na tomada de decisão, já que os pesos dependem de julgamentos subjetivos pelos decisores. Uma análise de sensibilidade é importante para o tomador de decisão, pois fornece informações adicionais sobre a robustez do modelo.

A Tabela 4.2, mostra os valores mínimos e máximos pelos quais podem haver alterações nos pesos dos critérios sem que haja mudanças na hierarquia das alternativas. Para o cálculo do intervalo de sensibilidade dos critérios, ou seja, dos limites superiores e inferiores foi utilizado o software Super Decisions®.

Na análise para o critério de Risco Operacional, observa-se predominância pelas alternativas RI 5, RI 6, RI 7, e RI 9. Nas análises para o critério de Risco à Segurança, observa-se um predomínio do RI 9. Na análise para o critério de Risco Ambiental, observa-se a mesma predominância das alternativas do que o resultado final.

Na Figuras 4.15, mostra-se a análise para o critério de Risco à qualidade do produto, observa-se uma mudança no *ranking* dependendo do peso deste critério, abaixo do 46%, as alternativas principais são RI 8 e RI 9. Quando o peso do critério é maior do 46%, as alternativas principais são RI 5, RI 6, RI 7.

Figura 4.15: Mudança no Ranking no análise de sensibilidade para o critério Risco de qualidade do produto



Desenvolvimento do plano de ação

Uma das causas de baixa produtividade são as manutenções corretivas e as paradas pelo pessoal; um bom controle das operações, como a automação da maioria dos subprocessos garante a qualidade dos produtos, baixo índice de acidentes e pouca probabilidade de danos às instalações e; na mensuração dos impactos dos riscos foram considerados os planos de contingência ou de mitigação.

Também existem outros estudos de casos, nos quais usando o AHP para identificar os subprocessos com problemas de manutenção. Neste estudo de caso, os subprocessos com maior risco foram a vibro prensa e a prancheta, para estes subprocessos é necessário manutenção preditiva.

Sugere-se também continuar com o uso do Diário de Segurança, já que foi demonstrado que o risco laboral foi minimo, porquê durante estes 14 meses o número de acidentes foi nulo.

Capítulo 5

Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

5.1 Conclusões

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um estudo de Tomada de Decisão para auxiliar no planejamento das operações considerando os riscos operacionais, ambientais e riscos relacionados à segurança do trabalho e sobre as propriedades e equipo. o qual é a combinação de duas áreas muito importantes na Engenharia de Produção, os quais são a Gestão de Risco e Pesquisa Operacional, especificamente sobre Tomada de Decisão Multicriterial. Os julgamentos dos critérios e alternativas foram obtidos numa entrevista presente, no qual o próprio autor foi o facilitador da aplicação do método. Foram usadas ferramentas como formulários online, planilhas em Microsoft Excel e o software Super Decisions.

Este trabalho indica as vantagens e limitações do uso de métodos MCDA, tal como vários estudos anteriores corroboraram. Algumas das vantagens são: uma hierarquia simples facilita uma tomada de decisão eficiente, considerando todos os critérios e alternativas importantes; os problemas de decisão complexas são mais fáceis de serem resolvidos; o método é de fácil aprendizagem e existem muitos softwares para a obtenção das soluções e; um consenso da decisão tomando em conta diferentes objetivos e preferências.

Também demonstra as fraquezas do método: a tomada da decisão pode ser afetada pela seleção parcial de critérios que não estão alinhados ao objetivo; também pela seleção de tomadores de decisão que não sejam experientes com o problema e objetivo da hierarquia; em muitos casos não pode existir uma solução única ou

conclusiva.

A hierarquia proposta e o questionário feito podem ser utilizados por gerentes de operações e gerentes de manutenção. Neste caso a tomada de decisão foi feita somente pelo um tomador de decisão, mas recomenda-se a inclusão de mais decisores para futuros casos.

Percebe-se que foi evidente a vantagem de mensurar mais objetivamente os riscos, e selecionar aqueles com maior impacto dentro da organização para serem reduzidos ou ter um plano de contingência, especialmente quando a quantidade de riscos é grande, e o orçamento para planos de mitigação e contingência é limitado.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para continuação desse trabalho, sugere-se o uso de outros indicadores na avaliação quantitativa como:

- indicador do reprocesso (quantidade de produtos que retornam à linha para serem retrabalhados/quantidade total de produzidos);
- porcentagem de refugo (quantidade de produto que não se consegue retrabalhar/quantidade total de produzidos);
- número de acidentes (grave, médio e leves)/horas-homem de trabalho no ano;
- número de acidentes (incêndios, e outros desastres naturais) a empresas da região;
- risco de enchente em áreas perto à instalação;
- custo das máquinas, galpão e outros ativos imobiliários danificados por acidentes e;
- multas acontecidas de acordo com a legislação ambiental.

O modelo também poderia ser aplicado em mais empresas de manufatura ou outros sectores, para verificar se surgiriam outros critérios ou alternativas na gestão de risco. Também é possível utilizar outros métodos MCDA como ANP, Fuzzy AHP, PROMETHEE, ELECTRE e outros.

Uma das causas de baixa produtividade são as paradas por manutenções corretivas, sugere-se usar o método AHP junto com as técnicas de manutenção preditiva, especialmente em aqueles processos complexos, por exemplo, as refinarias ou setores de construção.

Referências

ABCP. *Manual de Pavimento Intertravado*. [S.l.], 2010.

ADAMS, W.; SAATY, R. *Super Decisions Software Guide*. 2003.

ALBERTON, A. Uma metodologia para auxiliar no gerenciamento de riscos e na seleção de alternativas de investimentos em segurança. *Florianópolis: UFSC*, 1996.

ALMEIDA, A. T. de; CAVALCANTE, C. A. V.; ALENCAR, M. H.; FERREIRA, R. J. P.; ALMEIDA-FILHO, A. T. de; GARCEZ, T. V. *Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis*. [s.n.], 2015. v. 231. 351–390 p. ISSN 08848289. ISBN 978-3-319-17968-1. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84954564473{&}partnerID=tZOtx>>.

ALVES, L. G. K.; NYKIEL, T. P.; BELDERRAIN, M. C. N. Comparação analítica entre métodos de apoio multicritério à decisão (AMD). p. 4–7, 2007.

AMBRASAITÉ, I.; BARFOD, M. B.; SALLING, K. B. MCDA and risk analysis in transport infrastructure appraisals: The Rail Baltica case. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 20, p. 944–953, 2011. ISSN 18770428.

ANAMT. *270 milhões de acidentes de trabalho ocorrem por ano em todo o mundo, aponta estudo*. 2012. Disponível em: <http://www.anamt.org.br/site/noticias{_}detalhes.aspx?notid=2>.

BALTAZAR, M. E.; JARDIM, J.; ALVES, P.; SILVA, J. Air Transport Performance and Efficiency: MCDA vs. DEA Approaches. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Elsevier B.V., v. 111, n. Lcc, p. 790–799, 2014. ISSN 18770428.

BANVILLE, C.; LANDRY, M.; MARTEL, J.; BOULAIRE, C. A Stakeholder Approach to MCDA. *Syst. Res. Behav. Sci*, v. 15, n. March 1996, p. 15–32, 1998. ISSN 01679236.

BEAUCHAMP-AKATOVA, E.; CURRAN, R. From initial risk assessments to system risk management. *Journal of Modelling in Management*, v. 8, n. 3, p. 262–289, 2013. ISSN 1746-5664.

BELTON, V. *MCDM*. 2006. 2002–2004 p. Disponível em: <<http://www.mcdmsociety.org/intro.html{\#}Miss>>.

BERNARDES, B. Competitividade da indústria aeronáutica: uma comparação internacional. *Revista Eletrônica de Jornalismo Científico com Ciência.*, 2007.

BIROLINI, A. *Reliability Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. v. 10. 640 p. ISSN 0919-4398. ISBN 0792325249.

- BRASIL. *Desastre em Mariana é o maior acidente mundial com barragens*. 2016. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/brasil/desastre-em-mariana-e-o-maior-acidente-mundial-com-barragens-em-100-anos,874a54e18a812fb7cab2d7532e9c4b72ndnwm3fp.html>>.
- BREU, F.; GUGGENBICHLER, S.; WOLLMANN, J. *A Strategy for Using Multicriteria Analysis in Decision-Making*. [S.l.: s.n.], 2008. ISBN 9789400715110.
- CAETANI, A. P. *Uso De Método Multicritério Para Seleção De Estratégia De Reconversão Industrial Em Uma Refinaria De Petróleo*. 2014.
- Camargo Júnior, J. B. D.; Vitorino Filho, V. A.; PIRES, S. R. I.; VIVALDINI, M. *Utilização da Coopetição na Gestão de Riscos em Cadeias de Suprimentos*. *anpad.org.br - Enanpad*, v. 13, p. 1–16, 2013. ISSN 21760756.
- CAMPOS, M. B. A. *Métodos Multicritérios Que Envolvem a Tomada De Decisão*. 2011. 51 p.
- CHATTERJEE, P.; ATHAWALE, V. M.; CHAKRABORTY, S. Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods. *Materials & Design*, Elsevier Ltd, v. 32, n. 2, p. 851–860, 2011. ISSN 02613069.
- CHEN, T. Y. An interval type-2 fuzzy PROMETHEE method using a likelihood-based outranking comparison approach. *Information Fusion*, Elsevier B.V., v. 25, p. 105–120, 2015. ISSN 15662535.
- COLLEDANI, M.; TOLIO, T.; FISCHER, A.; IUNG, B.; LANZA, G.; SCHMITT, R. Design and management of manufacturing systems for production quality. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 63, n. 2, p. 773–796, 2014. ISSN 17260604.
- COSTA, H. G.; SOARES, A. C.; OLIVEIRA, P. F. de. Avaliação de Transportadoras de materiais Perigosos Utilizando O Método Electre Tri. *Gestão & Produção*, v. 11, n. 2, p. 221–229, 2004. ISSN 0104-530X.
- DAELLENBACH, H. G.; GEORGE, J. A.; MCNICKLE, D. C. *Introduction to operations research techniques*. [S.l.: s.n.], 1983.
- DARJI, V.; RAO, R. Intelligent Multi Criteria Decision Making Methods for Material Selection in Sugar Industry. *Procedia Materials Science*, Elsevier B.V., v. 5, p. 2585–2594, 2014. ISSN 22118128.
- De Cicco, F. M. G. A. F.; FANTAZZINI, M. L. *Tecnologias Consagradas de Gestão de Riscos*. 2. ed. [S.l.: s.n.], 2003. 194 p.
- DEHE, B.; BAMFORD, D. Development, test and comparison of two Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) models: A case of healthcare infrastructure location. *Expert Systems with Applications*, Elsevier Ltd, v. 42, n. 19, p. 6717–6727, 2015. ISSN 09574174.
- DIABY, V.; CAMPBELL, K.; GOEREE, R. Multi-criteria decision analysis (MCDA) in health care: A bibliometric analysis. *Operations Research for Health Care*, Elsevier Ltd, v. 2, n. 1-2, p. 20–24, 2013. ISSN 22116923.

- DOMINGUES, A. R.; MARQUES, P.; GARCIA, R.; FREIRE, F.; DIAS, L. C. Applying multi-criteria decision analysis to the life-cycle assessment of vehicles. *Journal of Cleaner Production*, Elsevier Ltd, v. 107, p. 749–759, 2015. ISSN 09596526.
- ESTEVEES. *a Gestão Do Risco E As Normas Iso*. 2015.
- FERREIRA, F. A. F.; MARQUES, C. S. E.; BENTO, P.; FERREIRA, J. J. M.; JALALI, M. S. Operationalizing and measuring individual entrepreneurial orientation using cognitive mapping and MCDA techniques. *Journal of Business Research*, Elsevier Inc., v. 68, n. 12, p. 2691–2702, 2015. ISSN 01482963.
- FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. [S.l.: s.n.], 2005. v. 78. 1045 p. ISBN 038723067X.
- FIGUEIRA, J. R.; GRECO, S.; ROY, B. ELECTRE methods with interaction between criteria: An extension of the concordance index. *European Journal of Operational Research*, Elsevier B.V., v. 199, n. 2, p. 478–495, 2009. ISSN 03772217.
- FINCH, P. Supply chain risk management. *Supply Chain Management An International Journal*, Elsevier, v. 9, n. 2, p. 183–196, jun 2005. ISSN 13598546.
- FRENCH, S. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. [S.l.: s.n.], 1997. v. 48. 1257–1258 p. ISSN 0160-5682. ISBN 079234166X.
- GHADGE, A.; FANG, X.; DANI, S.; KINGDOM, U.; KINGDOM, U. a Fuzzy Risk Assessment Approach for Process Quality Risks. 2011.
- GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. *Tomada de decisões em cenários complexos*. [S.l.]: Thompson, 2011. 168 p. ISBN 978-85-221-0354-6.
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. *Tomada de Decisão Gerencial - Enfoque Multicritério*. [S.l.]: Atlas, 2014. 264 p.
- GOODWIN, P.; WRIGHT, G.; PHILLIPS, L. *Decision analysis for management judgment*. [S.l.: s.n.], 2004. 492 p. ISBN 0470861088.
- GOVINDAN, K.; JEPSEN, M. B. ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, Elsevier Ltd., v. 250, n. 1, p. 1–29, 2016. ISSN 03772217.
- GOVINDAN, K.; RAJENDRAN, S.; SARKIS, J.; MURUGESAN, P. Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, Elsevier Ltd, v. 98, p. 66–83, 2015. ISSN 09596526.
- GRANDZOL, J. R. Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process. IR Applications. Volume 6. *Association for Institutional Research*, n. 2002, p. 13, 2005.
- GUGLIELMETTI, F. V.; GUGLIELMETTI, F. V.; MARINS, F. a. S.; MARINS, F. a. S.; SALOMON, V. a. P.; SALOMON, V. a. P. Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios. *Pesquisa Operacional*, n. 1977, p. 1–6, 2003.

- HINLOOPEN, E. *De Regime Methode*. Tese (Doutorado) — Free University Amdterdam, 1985.
- HINLOOPEN, E.; NIJKAMP, P. Qualitative multiple criteria choice analysis - The dominant regime method. *Quality and Quantity*, v. 24, n. 1, p. 37–56, 1990. ISSN 00335177.
- HINLOOPEN, E.; NIJKAMP, P.; RIETVELD, P. Qualitative discrete multiple criteria choice models in regional planning. *Regional Science and Urban Economics*, v. 13, n. 1, p. 77–102, 1983. ISSN 01660462.
- HITES, R.; De Smet, Y.; RISSE, N.; SALAZAR-NEUMANN, M.; VINCKE, P. About the applicability of MCDA to some robustness problems. *European Journal of Operational Research*, v. 174, n. 1, p. 322–332, 2006. ISSN 03772217.
- HYUN, K. C.; MIN, S.; CHOI, H.; PARK, J.; LEE, I. M. Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Elsevier Ltd, v. 49, p. 121–129, 2015. ISSN 08867798.
- International Organization for Standardization. Risk management – Risk assessment techniques. v. 2009, p. 92, 2009.
- JANEIRO, R. D. *Modelo de análise de crédito fundamentado no electre tri*. Tese (Dissertação de Mestrado Profissionalizante apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração das Faculdades Ibmecc, 2008.) — Faculdades Ibmecc, 2008.
- KAHRAMAN, C.; CEBECI, U.; & Ulukan, Z. Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management*, Springer US, v. 16, n. 6, p. 382–394, 2003. ISSN 0957-6053.
- LI, X.; CHANDRA, C. A knowledge integration framework for complex network management. *Industrial Management and Data System*, 2007.
- LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, v. 22, n. 140, p. 1–55, 1932. ISSN 0006-8993.
- LUIZ, J.; MAIA, G. O Uso Do Método Ahp Para a Dados De Uma Determinada Empresa. In: *XII SEGET*. [S.l.: s.n.], 2014.
- MCCARTY, L.; POWER, M. Approaches to developing risk management objectives: an analysis of international strategies. *Environmental Science & Policy*, v. 3, n. 6, p. 311–319, 2000. ISSN 14629011.
- MONTIS, A. D.; TORO, P. D.; DROSTE-FRANKE, B.; OMANN, I.; STAGL, S. Criteria for quality assessment of MCDA methods. *3rd Biennial Conference of the European Society for Ecological Economics*, n. section 5, p. 30, 2000.
- MUNDA, G.; NIJKAMP, P.; RIETVELD, P. Qualitative multicriteria methods for fuzzy evaluation problems: An illustration of economic-ecological evaluation. *European Journal of Operational Research*, v. 82, n. 1, p. 79–97, 1995. ISSN 03772217.

MUNGLE, S.; SAURAV, S.; TIWARI, M. K. *Applications of Multi-Criteria and Game Theory Approaches*. [S.l.: s.n.], 2014. 83–105 p. ISSN 1860-5168. ISBN 978-1-4471-5294-1.

OGLE, R. A.; DEE, S. J.; COX, B. L. Resolving inherently safer design conflicts with decision analysis and multi-attribute utility theory. *Process Safety and Environmental Protection*, Institution of Chemical Engineers, v. 97, p. 61–69, 2015. ISSN 09575820.

PECK, H. Drivers of supply chain vulnerability: an integrated framework. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 35, n. 3/4, p. 210–232, 2005. ISSN 1472-0701.

PMI. *Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos*. Fifth. [S.l.: s.n.], 2008. ISBN 978-1-933890-70-8.

PMI. *A guide to the project management body of knowledge*. 5. ed. [S.l.]: Project Management Institute, 2013. v. 1. ISBN 978-1-935589-67-9.

Popi Konidari, D. M. *Multi-criteria evaluation of climate policy interactions*. [S.l.: s.n.], 2006. v. 14. 35–53 p. ISSN 10579214. ISBN 1099-1360.

QUAYLE, M. *Purchasing and supply chain management: Strategies and realities*. [S.l.: s.n.], 2006. XIII, 360 S. : graph. Darst. p. ISSN 09644733. ISBN 1591408997.

RAFAELI, L.; MÜLLER, C. J. Estruturação de um índice consolidado de desempenho utilizando o AHP. *Gestão & Produção*, v. 14, n. 2, p. 363–377, 2007. ISSN 0104-530X.

RODRIGUEZ, D. S. S.; COSTA, H. G.; CARMO, L. F. R. R. S. do. Métodos de auxílio multicritério à decisão aplicados a problemas de PCP : Mapeamento da produção em periódicos publicados no Brasil. *Gestão & Produção*, v. 20, n. 1, p. 134–146, 2013. ISSN 0104-530X.

ROSA, G. M.; TOLEDO, J. C. de. Gestão de riscos e a norma ISO 31000: importância e impasses rumo a um um consenso. *V Congresso Brasileiro De Engenharia De Produção*, 2015.

RUPPENTHAL, J. E. *Gerenciamento de riscos ambientais*. 2013. 1–120 p.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, v. 9, n. 3-5, p. 161–176, 1987. ISSN 02700255.

SAATY, T. L. Mathematical modeling of dynamic decisions; priorities and hierarchies with time dependence. *Mathematics and Computers in Simulation*, v. 21, n. 4, p. 352–358, 1979. ISSN 03784754.

SAATY, T. L. Highlights and critical points in the theory and application of the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, v. 74, n. 3, p. 426–447, 1994. ISSN 03772217.

SAATY, T. L. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*, v. 145, n. 1, p. 85–91, 2003. ISSN 03772217.

SAATY, T. L. Time dependent decision-making; dynamic priorities in the AHP/ANP: Generalizing from points to functions and from real to complex variables. *Mathematical and Computer Modelling*, v. 46, n. 7-8, p. 860–891, 2007. ISSN 08957177.

SAATY, T. L.; PENIWATI, K. *Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences*. [S.l.: s.n.], 2007. ISBN 978-1-888603-08-8.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. *How to make a decision*. [S.l.: s.n.], 2012. v. 175. 1–21 p. ISSN 08848289. ISBN 0884-8289.

SALOMON, V. A. P. Utilização de matrizes de julgamentos na modelagem da análise do controle da produção. *Tempo*, p. 2996–3002, 2005.

SANTOS, I. E. *Textos selecionados de métodos e técnicas de pesquisa científica*. [S.l.]: Impetus, 2003.

SCOFANO, C.; FELISBERTO, R.; ABRAHAM, E. D. F.; SILVA, L. D. S.; TEIXEIRA, M. A. Risk Management in Projects : Analysis of Pmi - Pmbok Steps (Project Management Institute). In: *convibra*. [S.l.: s.n.], 2013. v. 8602233334, p. 1–18.

SILVA, R. D. A. A IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE DOS PRODUTOS PARA MANTER A COMPETITIVIDADE DAS ORGANIZAÇÕES. 2006.

SIRAJ, S.; MIKHAILOV, L.; KEANE, J. A. PriEsT: an interactive decision support tool to estimate priorities from pairwise comparison judgments. *International Transactions in Operational Research*, v. 22, n. 2, p. 217–235, 2015. ISSN 1475-3995.

Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional. *Métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios: aplicações na indústria aeroespacial*. [S.l.: s.n.], 2010. ISBN 978-85-61209-92-6.

SOUZA, P. H. P. d. A.; EVANGELISTA, A. C. J. *Análise de produção, moldagem e execução de painéis alveolares pré-fabricados em concreto armado utilizados em sistemas de alvenaria*. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2013.

STEELE, K.; CARMEL, Y.; CROSS, J.; WILCOX, C. Uses and misuses of multicriteria decision analysis (MCDA) in environmental decision making. *Risk Analysis*, v. 29, n. 1, p. 26–33, 2009. ISSN 02724332.

TAN, R. R.; AVISO, K. B.; HUEL GAS, A. P.; PROMENTILLA, M. A. B. Fuzzy AHP approach to selection problems in process engineering involving quantitative and qualitative aspects. *Process Safety and Environmental Protection*, Institution of Chemical Engineers, v. 92, n. 5, p. 467–475, 2014. ISSN 09575820.

TANG, O.; MUSA, S. N. Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 133, n. 1, p. 25–34, 2011. ISSN 09255273.

- TAZELAAR, F.; SNIJDERS, C. Operational risk assessments by supply chain professionals: Process and performance. *Journal of Operations Management*, Elsevier B.V., v. 31, n. 1-2, p. 37–51, 2013. ISSN 02726963.
- TOMAS, R. N.; ALCANTARA, R. L. C. Modelos para gestão de riscos em cadeias de suprimentos : revisão , análise e diretrizes para futuras pesquisas. *Gestão e Produção*, v. 20, p. 695–712, 2013. ISSN 0104530X.
- VETSCHERA, R. A preference-preserving projection technique for MCDM. *European Journal of Operational Research*, v. 61, n. 1-2, p. 195–203, 1992. ISSN 03772217.
- VETSCHERA, R.; WALTERSCHEID, H. A process-oriented framework for the evaluation of managerial support systems. *Information and Management*, v. 28, n. 3, p. 197–211, 1995. ISSN 03787206.
- VILKO, J. P. P.; HALLIKAS, J. M. Risk assessment in multimodal supply chains. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 140, n. 2, p. 586–595, 2012. ISSN 09255273.
- VINCKE, P. *Multicriteria decision-aid*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1992.
- VOOGD, H. *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. [S.l.: s.n.], 1983. 125 p. ISBN 978-0850861068.
- VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case reseach in operations management. *Intenational Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 2, p. 195–219, 2002.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. *The machine that changed the world*. [S.l.: s.n.], 1992. v. 35. 81–82 p. ISSN 00076813. ISBN 1847370551.
- YOUNG, A. E. *Risk management*. [S.l.: s.n.], 2001. v. 88. 1027–1028 p. ISSN 00071323. ISBN 0007-1323.

Apêndice A

Arquivos desenvolvidos no estudo de caso

A.1 Questionário

A.1.1 Objetivos do questionário

O questionário realizado com base as entrevistas realizadas, tem os seguintes objetivos:

- Obter um contexto do cenário da empresa, seus processos críticos, % de meta cumprida, a produtividade;
- obter um contexto sobre as ferramentas de gestão empregadas;
- conhecer sobre seus planos de contingência utilizados para reduzir riscos;
- avaliar por categorizações as alternativas, segundo a hierarquia proposta, .

A.1.2 Questionário

Este questionário é respondido somente pelos decisores e partes interessadas, segundo as boas praticas do MCDA, os decisores são pessoas que tem tempo de trabalhar na empresa, conhecem os processos, e são parte da equipe gerencial.

Muito obrigado pelo seu tempo, para responder este questionário respeito a análise de risco nas operações da empresa, na qual você é parte da equipe gerencial. Toda a informação é de caráter para análise acadêmico para a dissertação de mestrado em Engenharia Industrial, na Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Nome da empresa:
Nome do respondente:
Cargo do respondente:
Tempo de trabalhar na empresa:
Atividade principal da empresa:

A.1.3 Seção 1. Contextualização da empresa

Nesta primeira seção, é sobre as ferramentas de qualidade e produtividade, conhecendo seu grau de conhecimento delas e sua aplicação delas no processo de controle na operação. Primeiramente conhecendo os gargalos o onde se gera o maior número de falhas no seu processo

1. Como define o tamanho da empresa, segundo o número de funcionários?

1. Pequena
2. Media
3. Grande

2. Quanto é a produção total mensal aproximada da empresa?

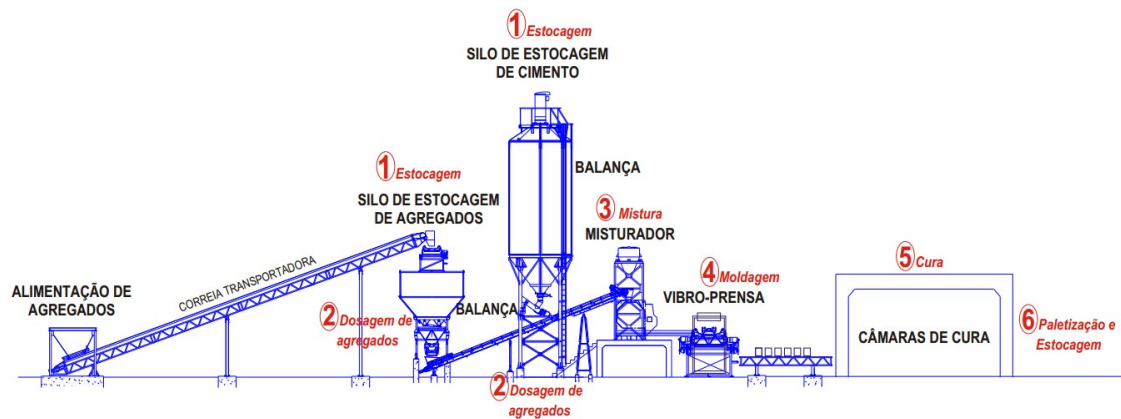
1. 0 - 10000 itens
2. 10001 - 50000 itens
3. 50001 - 100000 itens
4. mais de 100000 itens

Processo de fabricação

3. Segundo sua experiência, qual é o subprocesso que gera maior número de falhas na produção? ver Figura A.1

1. Estocagem

Figura A.1: Processo geral de fabricação de blocos pré-moldados



2. Dosagem de agregados na balança

3. Misturador

4. Moldagem

5. Cura

6. Paletização o estocagem

4. Segundo sua experiência, qual é o subprocesso que gera o gargalo na produção?

ver Figura A.1

1. Estocagem

2. Dosagem de agregados na balança

3. Misturador

4. Moldagem

5. Cura

6. Paletização o estocagem

5. Segundo sua experiência, qual é o subprocesso que gera maior risco de acidente laboral? ver Figura A.1

1. Estocagem

2. Dosagem de agregados na balança

3. Misturador
4. Moldagem
5. Cura
6. Paletização o estocagem

Ferramentas de controle e qualidade

6. Marque todas as ferramentas de controle e qualidade nas quais você tem algum grau de conhecimento da sua aplicação.

1. FMEA - Analise de modo e efeito de falha, que permite identificar e prevenir problemas ou falhas em processos e/ ou produtos
2. TPM - Manutenção produtiva Total, um sistema para eliminar perdas, reduzir paradas, garantir a qualidade e diminuir custos nas empresas com processos contínuos
3. Lean Manufacturing - Manufatura Enxuta, filosofia de gestão focada na redução de desperdícios
4. Seis Sigma, conjunto de práticas desenvolvidas para maximizar o desempenho dos processos dentro da empresa
5. ISO 31000:2009. Técnicas para Gestão de Riscos
6. Analise estatístico.
7. Otro:

7. Marque todas as ferramentas de controle e qualidade nas quais atualmente são utilizadas para identificar os riscos operacionais.

- FMEA - Analise de modo e efeito de falha, que permite identificar e prevenir problemas ou falhas em processos e/ ou produtos
- TPM - Manutenção produtiva Total, um sistema para eliminar perdas, reduzir paradas, garantir a qualidade e diminuir custos nas empresas com processos contínuos

- Lean Manufacturing - Manufatura Enxuta, filosofia de gestão focada na redução de desperdícios
- Seis Sigma, conjunto de práticas desenvolvidas para maximizar o desempenho dos processos dentro da empresa
- ISO 31000:2009. Técnicas para Gestão de Riscos
- Análise estatística.
- Outro:

A.1.4 Seção 2. Mensuração de riscos

Mediante as entrevistas prévias se identificaram as causas dos riscos ou ocorrências que podem parar ou demorar a produção, afetando o cumprimento das metas.

As causas internas são:

1. Falta de matéria-prima (água, concreto u outros)
2. Problemas por falta de energia
3. Falhas no subprocesso de estocagem de agregados
4. Falhas no subprocesso de dosagem de agregados
5. Falhas no subprocesso de mistura
6. Falhas no subprocesso de dosagem de moldagem na vibro-prensa
7. Falhas no subprocesso de cura
8. Falhas no subprocesso de palatização e estocagem
9. Manutenção da máquina não planejada
10. Paradas pelo pessoal da equipe não planejada ou programada

As causas externas são:

1. Falta de licença ambiental da maquinaria
2. Greve de funcionários

3. Falta de trabalhadores qualificados
4. Crise financeira e política
5. Aumento no preço de matérias-primas
6. Problemas causados por fenômenos naturais, como tempestades

Estos riscos estão classificados em diferentes áreas: operacionais, qualidade do produto, risco humano (acidente laboral), risco ao patrimônio, instalação e equipamento risco ambiental.

A continuação, passo do AHP, é avaliar as alternativas segundo os critérios. esta avaliação sera composta por duas perguntas interligadas entre si,

A probabilidade e o possível impacto serão mensurados. Para mensurar a probabilidade é importante tomar a vista a existências de planos de mitigação ou controles que reduzam a ocorrência . Para mensurar o impacto é importante tomar a vista a existências de planos de mitigação ou controles que reduzam a severidade.

Riscos Operacionais

O risco operacional é definido como o risco da perda na produtividade ou que pode aumentar os custos da operação, resultado dos processos internos inadequados ou falhas, dos operadores, e dos sistemas, ou dos eventos externos. Eles ocasionam tempo perdidas, paradas não controladas, manutenção corretiva.

8. Segundo a sua experiência e controles de ocorrências, avalie a **probabilidade da ocorrência no último ano**, tomando em conta a existência de planos de mitigação ou contingência para cada possível causa de risco.

	1-Remota	2-Improvável	3-Possível	4-Provável	5-Quase certa
CE 1					
CE 2					
CE 3					
CE 4					
CE 5					
CE 6					

9. Segundo a sua experiência e controles de ocorrências, mensure o **impacto (tempo -minutos perdidos totais) no último ano**, tomando em conta a existência de planos de mitigação ou contingência para cada possível causa de risco.

	1-Insignificante	2- Baixo	3-Moderado	4-Alto	5-Catastrófico
CE 1					
CE 2					
CE 3					
CE 4					
CE 5					
CE 6					

10. Mencione brevemente seus planos de contingência ou mitigação para minimizar o tempo perdido o custo extra ocasionado.

Riscos na Qualidade do Produto

A importância da qualidade em qualquer ramo de atividade não pode ser apenas vista como um diferencial, mas sim como uma das únicas formas de manter-se competitivo, buscando a cada dia novas maneiras de melhorias na cadeia produtiva, buscando a satisfação do cliente, consequentemente um aumento nas vendas e receitas da organização.

O risco na qualidade do produto final é quando um produto não atinge as características, que exige a qualidade. Este produto pode ser re-processado ou vendido por um preço menor.

Neste caso, de blocos pré-moldados, a qualidade é muito importante porque a pesar de estar regulados pelas normas NBR 9780 e NBR 9781, os danos causados na construção pela baixa qualidade do produto pode levar a multas e danos à imagem da empresa.

11. Segundo a sua experiência e controles de ocorrências, avalie a **probabilidade da ocorrência no último ano**, tomando em conta a existência de planos de mitigação ou contingência para cada possível causa de risco.

	1-Remota	2-Improvável	3-Possível	4-Provável	5-Quase certa
CI 1					
CI 2					
CI 3					
CI 4					
CI 5					
CI 6					
CI 7					
CI 8					
CI 9					
CI 10					
CE 1					
CE 2					
CE 3					
CE 4					
CE 5					
CE 6					

12. Segundo a sua experiência e controles de ocorrências, mesure o **impacto (produtos fora de qualidade, ou produtos com reprocesso) no último ano**, tomando em conta a existência de planos de mitigação ou contingência para cada possível causa de risco.

	1-Insignificante	2- Baixo	3-Moderado	4-Alto	5-Catastrófico
CI 1					
CI 2					
CI 3					
CI 4					
CI 5					
CI 6					
CI 7					
CI 8					
CI 9					
CI 10					
CE 1					
CE 2					
CE 3					
CE 4					
CE 5					
CE 6					

13. Mencione brevemente seus planos de contingência ou mitigação para minimizar o eliminar os custos extras causados por produto fora de qualidade estabelecida ou produto fora de padrão, ou reprocesso.

Riscos a segurança ao ser humano ou Acidentes laborais

As cifras correspondentes aos acidentes do trabalho representam um grande risco para qualquer empresa e para o país também. Pois, aparecem sob a forma de gastos com assistência médica e reabilitação dos trabalhadores incapacitados, indenizações e pensões pagas aos acidentados ou suas famílias, prejuízos financeiros decorrentes de paradas na produção, danos materiais aos equipamentos, perdas de materiais,

atrasos na entrega de produtos e outros imprevistos que prejudicam o andamento normal do processo produtivo.

A segurança do trabalho, para ser entendida como prevenção de acidentes na indústria, deve preocupar-se com a preservação da integridade física do trabalhador, mas também precisa ser considerada como fator de produção.

14. Segundo a sua experiência e controles de ocorrências, avalie a **probabilidade da ocorrência no último ano**, tomando em conta a existência de planos de mitigação ou contingência para cada possível causa de risco.

	1-Remota	2-Improvável	3-Possível	4-Provável	5-Quase certa
CI 1					
CI 2					
CI 3					
CI 4					
CI 5					
CI 6					
CI 7					
CI 8					
CI 9					
CI 10					
CE 1					
CE 2					
CE 3					
CE 4					
CE 5					
CE 6					

15. Segundo a sua experiência e controles de ocorrências, mensure o **impacto (acidentes leves, graves, catastrófico- morte humana) no último ano**, tomando em conta a existência de planos de mitigação ou contingência para cada possível causa de risco.

	1-Insignificante	2- Baixo	3-Moderado	4-Alto	5-Catastrófico
CI 1					
CI 2					
CI 3					
CI 4					
CI 5					
CI 6					
CI 7					
CI 8					
CI 9					
CI 10					
CE 1					
CE 2					
CE 3					
CE 4					
CE 5					
CE 6					

16. Mencione brevemente seus planos de contingência ou mitigação para minimizar o eliminar os custos extras causados por acidentes laborais, podem ser em indenização temporal ou permanente, tempo perdido por incapacidade, baixa produtividade por lesão.

Riscos á Instalação, maquinaria, propriedade

São os danos à propriedade – reposição, reparos e manutenção de veículos, prédios, máquinas e equipamentos, matérias-primas, mercadorias e produtos; parada ou redução das operações de fabricação como consequência de danos às instalações e ao processo de fabricação.

17. Segundo a sua experiência e controles de ocorrências, avalie a **probabilidade da ocorrência no último ano**, tomando em conta a existência de planos de mitigação ou contingência para cada possível causa de risco.

	1-Remota	2-Improvável	3-Possível	4-Provável	5-Quase certa
CI 1					
CI 2					
CI 3					
CI 4					
CI 5					
CI 6					
CI 7					
CI 8					
CI 9					
CI 10					
CE 1					
CE 2					
CE 3					
CE 4					
CE 5					
CE 6					

18. Segundo a sua experiência e controles de ocorrências, mesure o **impacto (reposição, reparos ou perda total nas instalações ou máquinas e equipamentos) no último ano**, tomando em conta a existência de planos de mitigação ou contingência para cada possível causa de risco.

	1-Insignificante	2- Baixo	3-Moderado	4-Alto	5-Catastrófico
CI 1					
CI 2					
CI 3					
CI 4					
CI 5					
CI 6					
CI 7					
CI 8					
CI 9					
CI 10					
CE 1					
CE 2					
CE 3					
CE 4					
CE 5					
CE 6					

19. Mencione brevemente seus planos de contingência ou mitigação para minimizar o eliminar os custos extras causados por danos à propriedade, máquinas e equipamentos, veículos.

Riscos ambientais

Os riscos ambientais são elementos ou substancias presentes em diversos ambientes, que acima dos limites de tolerância podem ocasionar danos à saúde das pessoas. também se consideram como riscos de responsabilidade, pois de não cumprir com as normas ambientais, corre-se o risco de não renovar o alvará cada ano, tendo uma

grande interrupção nas operações. Além de pagar multas ,suspensão nas operações, dano na imagem da empresa, por causar um dano ambiental.

20. Segundo a sua experiência e controles de ocorrências, avalie a **probabilidade da ocorrência no último ano**, tomando em conta a existência de planos de mitigação ou contingência para cada possível causa de risco.

	1-Remota	2-Improvável	3-Possível	4-Provável	5-Quase certa
CI 1					
CI 2					
CI 3					
CI 4					
CI 5					
CI 6					
CI 7					
CI 8					
CI 9					
CI 10					
CE 1					
CE 2					
CE 3					
CE 4					
CE 5					
CE 6					

21. Segundo a sua experiência e controles de ocorrências, mensure o **impacto ambiental (multas por esgotos prejudiciais no ar, água ou solo - toxicidade) no último ano**, tomando em conta a existência de planos de mitigação ou contingência para cada possível causa de risco.

	1-Insignificante	2- Baixo	3-Moderado	4-Alto	5-Catastrófico
CI 1					
CI 2					
CI 3					
CI 4					
CI 5					
CI 6					
CI 7					
CI 8					
CI 9					
CI 10					
CE 1					
CE 2					
CE 3					
CE 4					
CE 5					
CE 6					

22. Mencione brevemente seus planos de contingência ou mitigação para minimizar o eliminar os custos extras causados por esgotos prejudiciais no ar, água ou solo - toxicidade, o risco de não renovar o alvará cada ano.

A.2 Planilha no Microsoft Excel

A.2.1 Objetivos da planilha no Excel

A planilha feita no Excel , tem os seguintes objetivos:

- Explicar a hierarquia proposta para obter uma classificação dos riscos, para uma tomada de decisão dos riscos a serem focalizados;

- Criar uma planilha que facilite uma avaliação por pares os critérios, assim como uma descrição deles;
- Obter os pesos dos critérios automaticamente.

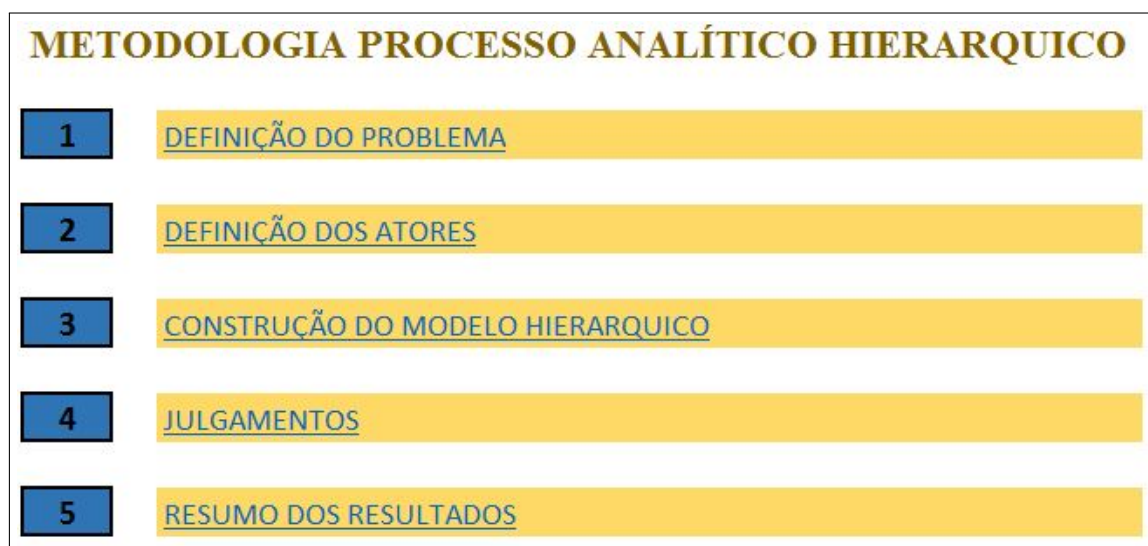
A criação dessa planilha feito no programa Microsoft Excel, foi visando uma ajuda para os tomadores de decisão usando o método AHP. Cabe ressaltar que existem muitos outros softwares para solução do AHP (ver Anexo 2.2.3)

Com conhecimentos básicos é possível criar uma planilha para resolver as matrizes criadas, segundo as avaliações feitas. Para fazer o análise de sensibilidade, é necessário conhecimentos avançados do Microsoft Excel, e melhor utilizar outros softwares como Super Decisions, Expert Choice, Traspresent Choice, etc.

A.2.2 Planilha

Inicia-se descrevendo os passos para avaliar os primeiros passos do AHP (ver Figura A.2). Os quais são: definição do problema, definição dos atores, construção do modelo hierárquico, caracterização dos critérios e subcritérios, descrição das alternativas.

Figura A.2: Método AHP em Microsoft Excel



Fonte: próprio autor.

Na definição do problema , passo principal do método AHP, é importante definir de maneira clara o objetivo da tomada de decisão, a seleção dos critérios e alternativas devem estar acorde ao objetivo. Nosso caso é conhecer quais são os riscos mais

importantes, e que devem de ser resolvidas.

Uma grande vantagem do uso do método AHP, e a participação de vários decisores na tomada de decisão. É importante que estes decisores conheçam os fundamentos do método, para poder avaliar os critérios e alternativas de uma forma objetiva. Na Figura A.3 é solicitado os dados do decisor.

Figura A.3: Informação do decisor

Nome	Cargo
Alessandro Carvalho	Gerente Industrial

Fonte: próprio autor.

É importante que o decisor participe na construção da hierarquia, na seleção dos critérios e sua respetiva justificativa, assim como as alternativas a serem avaliadas. Na Figura A.4, mostra-se os critérios e alternativas do modelo, melhor explicadas nas seções 4.2.2 e 4.2.3 (ver Figura A.5).

O seguinte passo é avaliar aos pares os critérios, para obter os pesos (Ver Figuras A.7 e A.8). É importante que os índices de consistência das matrizes de avaliação, sejam menor do que 10%. Na Figura A.6, mostra as avaliações a serem feitas, neste caso, só os critérios e subcritérios foram avaliados por pares. As alternativas foram avaliadas por médio do questionário (ver anexo A.1) e por médio da matriz de Probabilidade-Impacto.

Figura A.4: Critérios e Alternativas do modelo proposto

Modelo Hierárquico	
Meta	Avaliar de forma abrangente os riscos mais significativos que afetam o cumprimento das metas de produção
Criterios	1 RISCO OPERACIONAL 2 QUALIDADE DO PRODUTO (QUANTIDADE NÃO CONFORME) 3 RISCOS Á SEGURANÇA 4 RISCOS AMBIENTAIS
Subcriterios	3A RISCOS Á SEGURANÇA AO SER HUMANO (ACIDENTES) 3B RISCOS Á SEGURANÇA Á INSTALAÇÃO (CUSTO R\$)
Alternativas	1 FALTA DE MATERIA-PRIMA (ÁGUA, CONCRETO U OUTROS) 2 PROBLEMAS POR FALTA DE ENERGIA 3 FALHAS NO SUBPROCESSO DE ESTOCAGEM DE AGREGADOS 4 FALHAS NO SUBPROCESSO DE DOSAGEM DE AGREGADOS 5 FALHAS NO SUBPROCESSO DE MISTURA 6 FALHAS NO SUBPROCESSO DE DOSAGEM DE MOLDAGEM NA VIBRO-PRENSA 7 FALHAS NO SUBPROCESSO DE CURA 8 FALHAS NO SUBPROCESSO DE PALETIZAÇÃO E ESTOCAGEM 9 MANUTENÇÃO DA MÁQUINA NÃO PLANEJADA 10 PARADAS PELO PESSOAL DA EQUIPE NÃO PLANEJADA OU PROGRAMADA 11 FALTA DE LICENÇA AMBIENTAL DA MAQUINARIA 12 GREVE DE FUNCIONARIOS 13 FALTA DE TRABALHADORES QUALIFICADOS RISCOS EXTERNOS 14 CRISE FINANCEIRA E POLITICA 15 AUMENTO NO PREÇO DE MATERIAS-PRIMAS 16 PROBLEMAS CAUSADOS POR FENÔMENOS NATURAIS, COMO TEMPESTADES.

Fonte: próprio autor.

Figura A.5: Caracterização dos critérios

CARACTERIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS		
CRITÉRIOS	CARACTERIZAÇÃO	IMPACTO
R1 - RISCO OPERACIONAL	Risco operacional é definido como o risco da perda na produtividade resultando dos processos internos inadequados ou falhados, dos operadores, e dos sistemas, ou dos eventos externos. (Ocasionalmente HORAS-HOMEM perdidas, PARADAS NÃO CONTROLADAS)	A maior número de horas-homem perdidas, causadas por paradas de produção não programadas
R2 - RISCO AO QUALIDADE DO PRODUTO	É quando um produto não atinge as características, que exige a qualidade. Este produto pode ser re-processado ou vendido por um preço menor	A maior número de produtos fora do padrão-qualidade, é maior severidade do risco
R3 - RISCOS À SEGURANÇA	Acidentes que causam incapacidade nos funcionários, causadas durante o processo de produção ou falha dos mesmos funcionários. Assim mesmo estes acidentes podem denificar às instalações da fábrica.	
R4 - RISCOS AMBIENTAIS	Os agentes ambientais ou riscos ambientais são elementos ou substâncias presentes em diversos ambientes, que acima dos limites de tolerância podem ocasionar danos à saúde das pessoas. Neste caso também se consideram os riscos de não renovar a licença ambientais para operar (alvará).	
SUBCRITÉRIOS		
R3A - RISCOS À SEGURANÇA AO SER HUMANO (	Acidentes que causam incapacidade nos funcionários, causadas durante o processo de produção ou falha dos mesmos funcionários.	A maior número de acidentes e incapacidades, maior é o risco ao ser humano
R3B - RISCOS À SEGURANÇA À INSTALAÇÃO (CUS	Assim mesmo estes acidentes podem denificar às instalações da fábrica.	Entre maior é a probabilidade e o impacto de danos ambientais, maior é a severidade do risco

Fonte: próprio autor.

Figura A.6: Aba "Julgamentos dos critérios"

Compare a relevância relativa a: **Avaliar os riscos mais significativos que afetam o cumprimento das metas de produção**

CRITÉRIOS	RISCO OPERACIONAL	RISCO AO QUALIDADE DO PRODUTO	RISCOS Á SEGURANÇA	RISCOS AMBIENTAIS
1 RISCO OPERACIONAL		1 Comparar	1 Comparar	8 Comparar
RISCO AO QUALIDADE DO				
2 PRODUTO		1 Comparar	8 Comparar	8 Comparar
3 RISCOS Á SEGURANÇA				8 Comparar
4 RISCOS AMBIENTAIS				

Fonte: próprio autor.

Figura A.7: Avaliação dos critérios aos pares

RISCO OPERACIONAL		9	Importância Absoluta
		8	
		7	Importância Demonstrada
		6	
		5	Importância Essencial ou Forte
		4	
		3	Importância Moderada
		2	
	x	1	Importância Igual
		2	Importância Moderada
RISCO AO QUALIDADE DO PRODUTO		3	
		4	Importância Essencial ou Forte
		5	
		6	Importância Demonstrada
		7	
		8	Importância Absoluta
		9	

Fonte: próprio autor.

Figura A.8: Avaliação dos subcritérios por pares

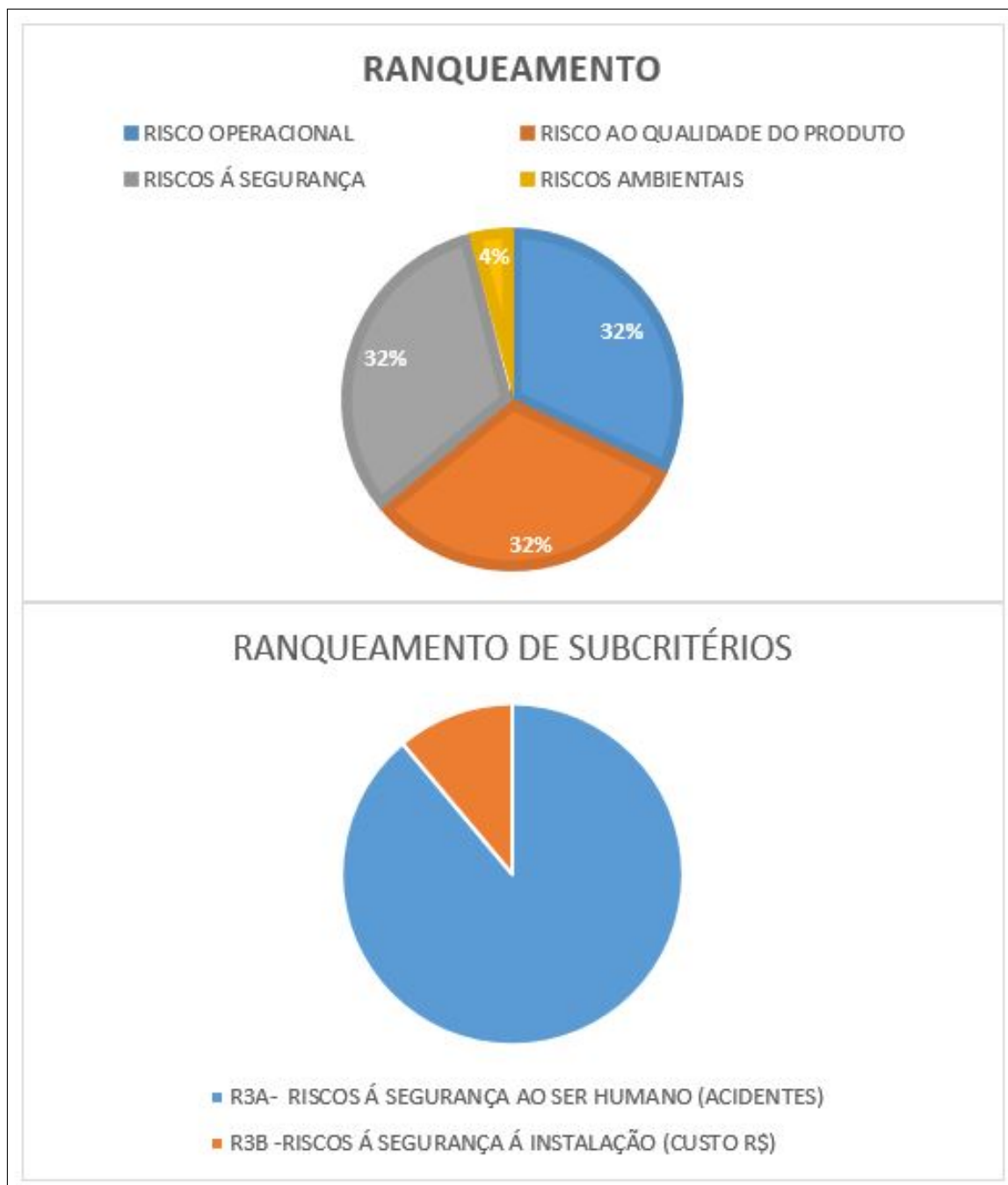
SUBCRITERIOS		
R3A- RISCOS Á SEGURANÇA AO SER HUMANO (ACIDENTES)		9
	x	8
		7
		6
		5
		4
		3
		2
		1
		2
R3B -RISCOS Á SEGURANÇA Á INSTALAÇÃO (CUSTO R\$)		3
		4
		5
		6
		7
		8
		9
		9

Fonte: próprio autor.

O resultado é o *Eigenvector* da matriz das avaliações dos critérios, o qual indica os pesos para cada critério. O produto X da matriz deste Eigenvetor dos critérios e das alternativas é o resultado final do processo AHP, obtendo a classificação das alternativas.

Na Figura A.9, mostra-se os pesos obtidos para os critérios.

Figura A.9: Pesos dos criterios



Apêndice B

Informação da empresa

B.1 Dados da empresa

Nome da empresa: CIVIL PRÉ-MOLDADOS.

Endereço: Via Ipitanga , S/N, Cia Sul, CEP 43700-971, Simões Filho- Bahia-Brasil.

Historia:

Nasce no ano 2001, pertence ao Grupo CIVIL, composto por CIVIL PEDREIRA y CIVIL CONSTRUTORA. Esta instalada em um terreno de 60.000 m². A CIVIL PRÉ-MOLDADOS é uma das maiores empresas da Bahia no segmento de blocos de concreto, pisos Inter travados e meios-fios. Tem medidas que otimizam os processos de produção e distribuição dos materiais. A empresa atende projetos de todas as construtoras, com produtos de qualidade certificada e sustentáveis, com o compromisso da preservação ambiental. Motivados pela carência do mercado, que demanda por produtos de alta qualidade, Têm máquinas de última geração ,uma planta automatizada, com baixíssimo índice de erros em sua linha produtiva e com o Padrão CIVIL de Qualidade. Além de ter implementado sistema de gestão da qualidade ISO9001:2008, além da certificação de qualidade da BLOCOBRASIL.

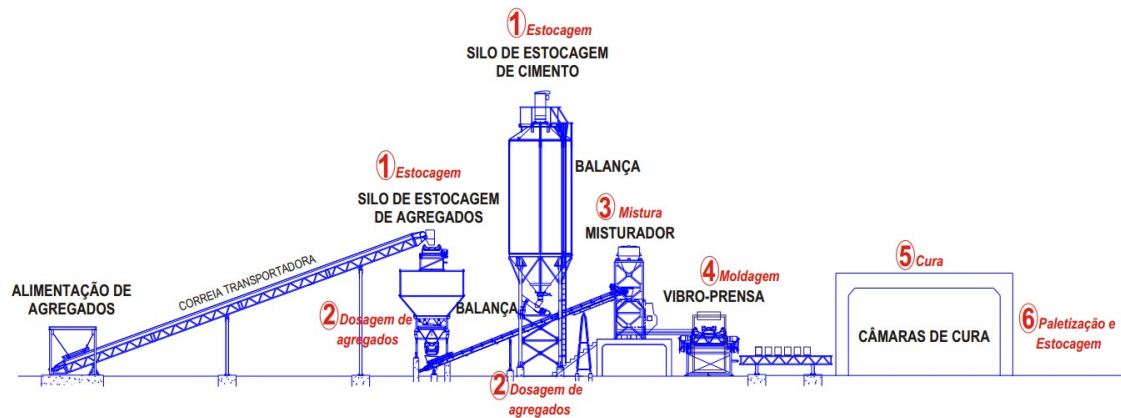
Missão da empresa:

Servir cada vez melhor aos nossos clientes, buscando através da melhoria contínua superar as expectativas, construindo dentro do mais alto padrão de qualidade.

B.2 Operações

Na figura B.1 se ilustra o sistema de fabricação de pisos intertravados de concreto. A maioria dos subprocessos são automatizados .

Figura B.1: Processo de fabricação de pisos intertravados



O processo de fabricação pode ser dividido em 5 etapas principais:

1. Dosagem: Os agregados, aglomerante, água e o aditivo são dosados em peso automaticamente em proporções previamente definidas, de acordo com o traço já definido pela equipe técnica e o laboratório, tendo em vista o produto a ser fabricado. Na Figura B.2 se ilustra como o processo é controlado automaticamente.

Figura B.2: Controle do processo



2. Mistura: Toda a matéria-prima é transferida automaticamente para o misturador para ser homogeneizada e transformada em concreto.

3. Moldagem: é a etapa de vibro-prensagem do produto. Do misturador, o concreto segue para alimentação da máquina, onde ocorrerá a prensagem e a vibração, que devem ser realizadas com grande energia de compactação. É necessário uma limpeza da gaveta, agitador e os canecos. Para cada tipo produto, a máquina é regulada. Após esse processo, as peças estão prontas para a cura.
4. Cura: Após a moldagem das peças na vibro-prensa, elas são agarradas pela prancheta operada pelo funcionário, e colocadas em gaiolas para serem transportadas para as câmaras de cura. As câmaras de cura são estanques com temperatura e umidade controlados. As peças devem permanecer nestas câmaras pelo tempo necessário para garantir a maior hidratação do cimento e consequentemente a qualidade final do produto. Dependendo do tempo de permanência na câmara e da temperatura externa, pode ser necessário realizar uma cura acelerada para a qual é utilizado vapor de água.
5. Estocagem: Depois da retirada das peças das câmaras de cura, estas são dispostas pela prancheta em paletes de madeira e identificadas no lote. Em seguida, elas seguem estocadas no pátio onde ficarão até serem transportadas para os clientes

As vantagens no processo de fabricação são:

- Fabricação industrializada em série através de processos mecânicos e automáticos, garantindo um baixo custo, uniformidade e uma qualidade elevada;
- Consomem menos energia no processo de fabricação, principalmente se comparados aos pavimentos asfálticos.

As vantagens no estocagem do produto são:

- A estocagem dos pisos pode ser feita por um longo período de tempo, inclusive expostas às intempéries.

B.2.1 Equipamento

Sua tecnologia é moderna, sua principal máquina produtora é automatizada, além de ter controles em todo seu processo pelo um software. Na Figura B.3 se mostra a

maquina principal Piorotti, esta maquina também possui a capacidade para fabricar estruturas pré-moldadas para grandes construções.

Figura B.3: Maquina Vibro-prensa



B.2.2 Matérias-primas

Suas matérias primas são Areia, Brita, Cimento e água. As duas primeiras são fornecidas pela sua companhia sócia CIVIL PEDREIRA. Água é obtida pelo poço que tem na instalação. Só cimento é fornecido por uma companhia terciaria.

A lista completa das matérias-primas é:

1. Cimento Portland;
2. Areia fina natural;
3. Areia média natural;
4. Pó de pedra;

5. Água;
6. Aditivos;
7. e Pigmentos.

B.2.3 Produtos

Os pisos intertravados são pequenas peças de concreto produzidos industrialmente através de processos mecânicos, garantindo um baixo custo, uma qualidade controlada e um alto desempenho mecânico. Devidamente assentados e compactados formam uma pavimentação intertravada (ABCP, 2010).

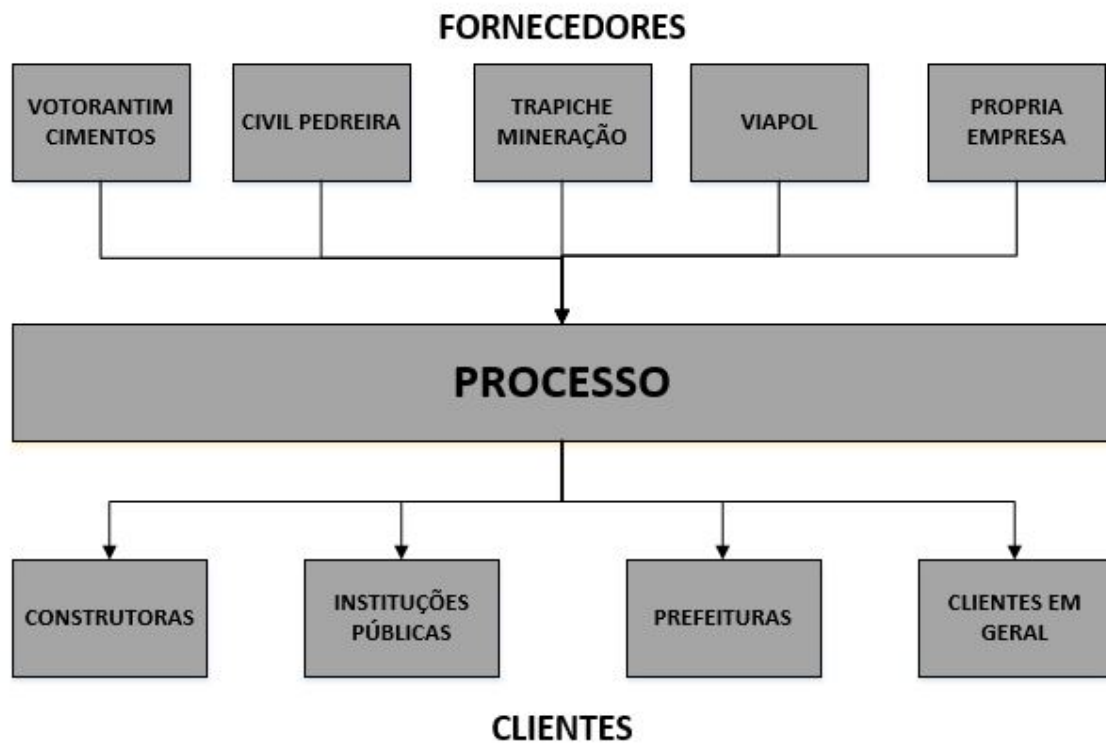
O intertravamento do piso é a capacidade que a peça tem de resistir e transmitir às peças vizinhas os esforços oriundos do tráfego, sejam eles esforços verticais, horizontais ou de rotação e giração.

O pavimento intertravado de concreto foi originado na Europa do pós-guerra e somente na década de 1960 foi introduzido no Brasil, onde até hoje é utilizado com grande sucesso. Além de apresentar inúmeras vantagens técnicas, possui um custo muito competitivo ou inferior quando comparado com outras alternativas como o pavimento flexível e rígido.

B.2.4 Fornecedores e clientes

Na Figura B.4 se mostra os diferentes fornecedores e clientes, da empresa em estudo. A vantagem é que existem vários fornecedores de matéria-prima, em caso de interrupção na cadeia de suprimentos.

Figura B.4: Mapa dos fornecedores e clientes da CIVIL PRÉ-MOLDADOS



Fonte: Próprio autor.

B.2.5 Controles de Qualidade do Produto

O controle de qualidade na fabricação de pisos é de extrema importância, pois é com ele é a garantia da qualidade das peças. Segundo a NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação, pode-se verificar os seguintes parâmetros a serem seguidos para que se obtenha um produto de qualidade:

1. Amostragem: No mínimo 6 peças para cada lote de até 300m² e uma peça adicional para cada 50m² suplementar, até perfazer o lote máximo de 32 peças.
2. Dimensões:
 - Comprimento Máximo de 400 mm, com variação máxima permitida de 3mm;
 - Largura Mínima de 100 mm, com variação máxima permitida de 3mm;
 - Espessura Mínima de 60 mm, com variação máxima permitida de 5mm.
3. Resistência à Compressão:

- 35MPa: para pisos sujeitos ao tráfego de veículos comerciais de linha;
- 50MPa: para pisos sujeitos ao tráfego de veículos que provoquem elevados esforços de abrasão.

B.2.6 Normas Técnicas e selo de qualidade

Fundada em 1940, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), é o órgão responsável pela normalização técnica no país, fornecendo a base necessária ao desenvolvimento tecnológico brasileiro. É uma entidade privada e sem fins lucrativos reconhecida como Fórum Nacional de Normalização ÚNICO através da Resolução n.º 07 do CONMETRO, de 24.08.1992.

Os pisos intertravados de concreto possuem propriedades e características técnicas definidas pelas normas da ABNT, segundo ela, as normas prescrevem o método de determinação da resistência à compressão, e fixa as condições exigíveis para aceitação das peças.

Atualmente só se tem uma norma vigente para piso intertravado, a NBR 9781 – Peças de Concreto para Pavimentação – Especificação e Métodos de Ensaios.

Hoje, o mercado de pisos intertravados conta com o Selo de Qualidade da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Essa entidade integra o Conselho Empresarial Mundial de Desenvolvimento Sustentável, formado por 10 maiores grupos de cimento mundiais. Este selo de qualidade é concedido empresas que garantem a adequação (peças de concreto para pavimentação) às normas técnicas brasileiras elaboradas pela ABNT. Por isso os pisos intertravados com Selo de Qualidade da ABCP apresentam dimensões regulares, boa aparência, maior durabilidade e resistência, atestando sua qualidade para os mais variados fins. Além disso, como a qualificação é reavaliada a cada seis meses, os processos de melhoria do produto são constantes.

B.2.7 Manutenção

Mediante a entrevista com o gerente geral da fábrica, eles têm planos de manutenção na sua máquinas. O plano de manutenção preventiva acontece fora do horário laboral, para não atrapalhar a produção programada. Mas sempre acontece falhas

nas máquinas, parando a operação toda, fazendo o uso de manutenção corretiva.

B.3 Relatório Diário de Ocorrências e de Produção

Figura B.5: Relatório Diário de Ocorrências

Relatório Diário de Ocorrências

Data: 25/02/2016 - quinta-feira Máquina: 01 Turno: 1º

	No dia			No mês		
	1º Turno	2º Turno	Total	1º Turno	2º Turno	Total
Jornada Produtiva (minutos)	749	0	749	12.558	0	12.558
Intervalo --	1	0	1	372	0	372
Total	750	0	750	12.930	0	12.930
Nº de ciclos realizados	1.835	0	1.835	35.614	0	35.614
Ciclo médio	Total	24,5 s	-	24,5 s	21,2 s	-
	Efetivo	16,3 s	-	16,3 s	15,3 s	-

Cód.	Descrição da Ocorrência	No dia				No Mês			
		Quant.	%	Tempo	%	Quant.	%	Tempo	%
1	Manutenção da Máquina	6	20,0%	99	39,4%	80	27,5%	1.254	36,1%
2	Matriz	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Pessoal da Equipe	2	6,7%	15	6,0%	69	23,7%	910	26,2%
4	Empilhadeira	5	16,7%	45	17,9%	6	2,1%	49	1,4%
5	Paleta	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Gaiola	-	-	-	-	1	0,3%	170	4,9%
7	Prancheta	3	10,0%	5	2,0%	25	8,6%	59	1,7%
8	Concreto	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Energia	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Limpeza Gaveta / Agitador / Canecos	1	3,3%	9	3,6%	7	2,4%	71	2,0%
11	Esperando massa	1	3,3%	28	11,2%	10	3,4%	189	5,4%
12	Prancheta Agarrando	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Dosadora	9	30,0%	28	11,2%	68	23,4%	449	12,9%
14	Regulando Máquina	1	3,3%	6	2,4%	7	2,4%	206	5,9%
15	Outras	2	6,7%	16	6,4%	18	6,2%	115	3,3%
Total		30	100%	251	100%	291	100%	3.472	100%

Observação:
Empilhadeira fraca, empilhadeira 02 parou, atraso no misturador durante toda a produção, cabo de comando do TE partiu.

Líder Manutenção

Sup. Produção

Gerência

Apêndice C

Métodos MCDA

C.1 EVAMIX

Método de avaliação de dados mistos (EVAMIX) foi criado principalmente por Voogd em 1983, e mais tarde defendida por Martel e Matarazzo. Ele baseia-se na determinação da pontuação de dominância de uma alternativa no critério base-por-critério. Este método é especialmente projetado para lidar com os dados mistos (quantitativo e qualitativo) (BEAUCHAMP-AKATOVA; CURRAN, 2013).

A principal diferença entre EVAMIX e outros métodos MCDM é que ele pode tratar os critérios ordinais ou qualitativa e critérios cardinais ou quantitativos separadamente. Ambos os dados ordinais e cardinais são normalizados separadamente na gama de 0-1 utilizando procedimento de normalização linear (CHATTERJEE; ATHAWALE; CHAKRABORTY, 2011).

O grau de domínio par a par para cada par de alternativas é calculado, como a diferença de score recebido pela alternativa de melhor desempenho em comparação com a alternativa de mais pobre desempenho. A soma ponderada das pontuações de dominância é então atribuído a cada alternativa.

Os pesos dos critérios pode ser obtido aplicando qualquer uma das técnicas de ponderação, por exemplo, AHP e método de entropia. O resultado deste procedimento de agregação é semelhante ao resultado do método da soma ponderada; o desempenho relativo das alternativas é o mesmo, mas não há diferença na escala de a medida do desempenho (MONTIS et al., 2000).

Segundo Voogd (1983), de um ponto de vista processual esta abordagem consiste em cinco fases:

- a. Fazer uma distinção entre os critérios ordinais e cardinais.

- b. Calcular a pontuação de dominância para todos os critérios ordinais e cardinais.
- c. Calcular a pontuação de dominância padronizados para todos os critérios ordinais e cardinais.
- d. Calcular pontuação geral de dominância.
- e. Calcular a pontuação de avaliação.

C.2 ELECTRE

Os métodos ELECTRE compõem uma família que abrange 6 métodos e foram os primeiros concebidos pela Escola Francesa do AMD. Considerando, segundo Gomes, Araya e Carignano (2011), pelo número de parâmetros a fixar, surge a relutância em aplicar os métodos da família ELECTRE.

Roy desenvolveu um dos pacotes de software mais difundido, conhecido como Electre, que está disponível em quatro diferentes versões principais (ELECTRE I, II, III, IV) e duas outras versões (ELECTRE IS e ELECTRE TRI) (GOVINDAN; JEPSEN, 2016).

Baseia-se em princípios relativamente flexíveis, na medida em que admite a possibilidade de que algumas alternativas não sejam comparáveis entre si e, além disso, dispensam a propriedade de transitividade, nas comparações alternativas. É possível, com esse método, indicar qual a alternativa que o tomador de decisão possui melhor afinidade, ou seja, pode-se expressar uma opinião diante do contexto. O problema deste método está na dificuldade em tentar comparar duas alternativas ou por falta de informação ou pelo excesso de subjetividade por parte do tomador de decisão, gerando grande imprecisão em sua resposta. Outro problema, está relacionado ao grande número de parâmetros presentes em seu desenvolvimento, deixando o método bastante complexo e de difícil aplicabilidade.

O princípio subjacente da abordagem ELECTRE decorre no processamento de um sistema de comparações de pares das alternativas. Este procedimento envolve a utilização de um sistema de relações de preferência (SPR), que se baseia na exploração da relação de classificação superior (*outranking*).

De acordo com esta relação, uma ação vai possuir nível superior a outro, se a primeira ação é considerada pelo menos tão bom como o segundo.

Roy (1996) define um sistema como este, como um sistema de base de superior à de relações (BSOR). Recentemente, foi apontado que o ELECTRE III é notável entre a família ELECTRE, uma vez que leva em conta explicitamente os limiares de indiferença e preferência, além disso, ele se baseia numa relação *outranking*, que é menos sensível à variação dos dados de entrada. O sistema resolve os problemas de classificação, dividindo o conjunto A de ações em classes equivalentes

O método ELECTRE significa Eliminação e Escolha como Expressão da Realidade. Bernard Roy na década de 1960 com a finalidade de resolver um problema de escolha de uma melhor ação (alternativas) de um conjunto de ações, levando em consideração vários critérios que influenciavam na escolha, desenvolveu e aplicou pela primeira vez o conceito do modelo ELECTRE (COSTA; SOARES; OLIVEIRA, 2004).

A principal característica do procedimento mencionado é a da incomparabilidade (quando não há ênfase) e da fundamentação não compensatória, ou seja, o resultado de um critério pode não se equilibrar em outro (JANEIRO, 2008).

Existem várias versões do método ELECTRE (I, II, III, IV, IS e TRI), porém todas partem do mesmo princípio diferenciando-se apenas nos procedimentos matemáticos finais, fazendo com que cada versão possua um resultado específico.

Os métodos de classificação tradicionais partem da relação de preferência e indiferença para compararem alternativas. Por exemplo, ao comparar duas alternativas “A” e “B”, para se dizer que “A” supera “B”, significa dizer que “A” é, pelo menos, tão bom quanto “B”. Em cima do raciocínio dos métodos tradicionais, os métodos ELECTRE introduziram o conceito de limites de indiferença, q , que significam o limiar que uma alternativa pode transitar até ser indiferente à outra.

Segundo Janeiro (2008), as principais vantagens do ELECTRE, além da atribuição de pesos também existente no AHP, são as definições do relacionamento de dominância, abrindo uma maior possibilidade para a análise de sensibilidade, além de que cada versão do ELECTRE possui um resultado específico entre seleção, ordenação e classificação, podendo ou não utilizar peso para os critérios (ELECTRE

IV, não utiliza pesos).

Guglielmetti et al. (2003), identifica como desvantagem para o ELECTRE a necessidade de tratamento preliminar de dados, transformação da escala cardinal para a escala ordinal, dificuldade de implementação em alguns tipos de problemas devido à quantidade de informação necessária acarretando também em problemas na definição dos limites de preferência e indiferença, que podem ser atribuídos aleatoriamente comprometendo a modelagem do problema.

Electre III baseia-se no pressuposto de que o sistema de relações de preferências individuais pode ser descrito por meio de uma análise sofisticada das relações de preferência, indiferença, e incomparabilidade. Por uma questão de fato, a incomparabilidade entra como um fator intrigante para o ranking final.

Por um lado, esta análise complexa que envolve a avaliação de vários limiares e relações preferenciais pode ser julgado como um esforço notável. Por outro lado, pode levar a um trabalho complicado.

Muitas vezes é muito difícil de expressar valores limiares credíveis e da consequente classificação pode acabar de ser dificilmente compreensível. Na situação em que os resultados foram descritos por um gráfico de Kernel, o significado complexo originado por esse tipo de representação dificilmente seria transmissível a um grupo de leigos, como uma comunidade local (DOMINGUES et al., 2015).

C.3 Fuzzy MCA

Métodos MCA difusos estão no momento em grande parte limitado à literatura acadêmica ou para aplicações experimentais, embora ideias sobre MCA com base em conjuntos fuzzy têm sido discutidas há mais de vinte anos.

Conjuntos fuzzy, conceituado por Zadeh nos anos 1960, estão globalmente equivalente a encontrados na matemática convencional e na teoria da probabilidade com uma exceção importante. A exceção é que, em vez de a adesão de um conjunto de ser nítido (isto é, um elemento é ou definitivamente um membro de um determinado conjunto ou não é), a adesão definida é distorcida ou imprecisa.

Conjunto de filiação é definido por uma função de pertinência, $\mu(x)$, tendo valores entre zero e um. Assim, uma questão em particular pode ser considerada como um

membro do conjunto de grandes preocupações sociais com um valor de adesão de 0,8. Um valor função de pertinência de 0 transmite definitivamente não é um Membro do conjunto, enquanto $\mu = 1$ transmite definitivamente um membro do conjunto. $\mu = 0.8$ sugere bastante um forte grau de convicção de que o problema é um grande, mas não completa certeza.

Os proponentes do difuso MCA diria que um dos pontos fortes da abordagem difusa é que ela reconhece a realidade de que muitos dos conceitos envolvidos na tomada de decisões estão longe de ser clara e precisa para os envolvidos.

Os conjuntos difusos oferecem uma maneira explícita de representar aquela imprecisão na mente do tomador de decisões de modo explícito. Desenvolvendo essa linha de argumentação tem levado a muitas sugestões para extensões fuzzy para MCDA, tais como métodos sobre classificação fuzzy e teoria da utilidade difusa.

Algumas dificuldades para fuzzy MCA são:

- A falta de argumentos convincentes de que a imprecisão captada através de conjuntos fuzzy e as operações matemáticas que podem ser levadas a cabo sobre eles, na verdade, corresponde a imprecisão real da percepção que os seres humanos exibem tipicamente em relação aos componentes de problemas de decisão;
- falha no estabelecimento de formas de calibrar funções de pertinência e manipulação dos valores difusa que têm uma lógica transparente do ponto de vista da não-especialistas.

A nova matriz de comparação difusa difere com a do Saaty que usamos escalas de adesão, em vez das 1-9 escalas, como os valores dos elementos.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1 + w_1} & \frac{w_1}{w_1 + w_2} & \frac{w_1}{w_1 + w_3} & \cdots & \frac{w_1}{w_1 + w_n} \\ \frac{w_2}{w_2 + w_1} & \frac{w_2}{w_2 + w_2} & \frac{w_2}{w_2 + w_3} & \cdots & \frac{w_2}{w_2 + w_n} \\ \frac{w_3}{w_3 + w_1} & \frac{w_3}{w_3 + w_2} & \frac{w_3}{w_3 + w_3} & \cdots & \frac{w_3}{w_3 + w_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_n + w_1} & \frac{w_n}{w_n + w_2} & \frac{w_n}{w_n + w_3} & \cdots & \frac{w_n}{w_n + w_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \cdots & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & \cdots & r_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}$$

Se esta comparação é consistente matriz, deve satisfazer:

$$r_{ii} = 0.5 * (r_{ij} + r_{ji}) \quad (C.1)$$

Este método compara pesos em pares e é mais simples e mais fácil de usar para os decisores. Os significados das escalas de adesão também podem ser expressas na mesma forma como escala de Saaty, ver tabela XXX.

Tabela C.1: Escala para comparação difusa por pares

Valores	A importância relativa dos dois subelementos
0.5	Igualmente importante
0.55	Um pouco importante
0.65	Importante
0.75	Fortemente importante
0.85	Muito fortemente importante
0.95	Extremamente importante

Teoricamente, as escalas de associação fuzzy e escalas de Saaty devem satisfazer o seguinte:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{a_{ij} + 1} \quad (C.2)$$

C.4 MAUT

Marcante por sua solidez e consistência, a Teoria da Utilidade Multi-atributo (MAUT - *Multi-Attribute Utility Theory*), procede o surgimento da visão atual e mais abrangente do apoio multicritério à decisão.

As raízes da MAUT foram lançadas pelo Daellenbach, George e McNickle (1983), que primeiro trataram um problema de decisão multicritério usando um método aditivo de ponderação simples. Foi desenvolvido utilizando um aditivo e quase função de utilidade multi-linear Seu desenvolvimento inicial é atribuído a obras de Fishburn (1968, 1970, 1978).

Desde então, o método foi desenvolvido na maneira que as metodologias para obter as funções de utilidade, foram elaborados e posteriormente para agregar as funções de utilidade baseado num único critério para uma função de utilidade multi-atributo e fornece agora um mecanismo formal para lidar com múltiplos objetivos,

os fatores intangíveis, risco, dados qualitativos e efeitos de sequência de tempo em apreciações com base nas preferências do decisor (OGLE; DEE; COX, 2015).

MAUT é baseado na teoria de utilidade, ela se baseia em axiomas básicos von Neumann-Morgenstern de preferência e, assim, em cima de uma função de utilidade, o que permite a comparação de resultados de risco através do cálculo da utilidade esperada.

MAUT usa preferências diretamente avaliadas com agregação geral; isso envolve questionamento direto das partes interessadas e a escolha com base em uma medida agregada para cada alternativa. Pode ser visto como uma extensão da utilidade subjectiva procedimentos comuns esperado para o caso de escolha entre alternativas multi-atribuídas (ALMEIDA et al., 2015).

A fim de preparar uma decisão multi-atributo pelo uso de MAUT, requer as seguintes etapas:

1. Especificar as alternativas de projeto (incluindo combinações) como entidades discretas.
2. Provocar por parte do decisor um conjunto de distribuições de probabilidades para os resultados associados a cada alternativa de projeto em cada atributo, se houver risco.
3. Provocar função utilidade do tomador de decisão $u(x_i)$ para a gama de resultados em cada atributo.
4. Utilizar a função de utilidade adequada multi-atributo global $U(x)$ para encontrar a utilidade esperada de cada alternativa de projeto.
5. Escolher a combinação ou projeto com a maior utilidade esperada; assim, a função de U deve ser maximizada.

Um software utilizado com frequência, que é baseado na estimativa de uma função de utilidade aditiva e na interação com o tomador de decisão é o chamado software PRECALC. "Decide Right" é um software de apoio à decisão baseado em SMART. HIPRE 3+ é um software de apoio à decisão integrando dois métodos de análise de decisão e resolução de problemas, "AHP" e "SMART".

C.5 MOP

De um ponto de vista formal MOP consiste em duas fases:

1. Identificação de soluções eficientes de Pareto (também chamado de não-dominado).

O problema é formulado como uma tarefa de simultânea maximização / minimização dos vários objetivos sujeitos a um conjunto de restrições. Uma vez que a otimização simultânea de todos os objetivos não é possível - dado um certo nível de conflito entre eles, na maioria dos problemas reais - MOP tenta encontrar o conjunto de soluções eficientes de Pareto.

De acordo com Ballesteros e Romero (1998) uma condição necessária para garantir a racionalidade de qualquer solução para um problema MCDA é o seguinte: "Um conjunto de soluções em um problema MCDA é Pareto eficiente (também chamado de não-dominado), quando os seus elementos são soluções viáveis tais que nenhuma outra solução viável pode conseguir o mesmo ou um melhor desempenho para todos os critérios sendo estritamente superior para, pelo menos, um critério ". O objetivo é, portanto, dividir o conjunto viável para o subconjunto de soluções eficientes de Pareto eo subconjunto de soluções ineficazes Pareto.

2. Identificação da alternativa mais preferida juntos com o tomador de decisão.

Qualquer escolha de entre o conjunto de soluções eficientes é uma solução "razoável"aceitável e, enquanto não temos informações adicionais sobre a estrutura de preferência do decisor.

A solução final é chamada de "a solução mais preferida". Ele é uma solução preferido pelo DM para todas as outras soluções (Korhonen, 2000). Uma vez que estamos enfrentando em problemas multicritério sempre um número de objetivos conflitantes, uma solução nunca pode ser a ideal (ou ideal), mas sim um compromisso.

No início da pesquisa MOP a expectativa era de que o problema pode ser resolvido através do cálculo todos os pontos extremos eficientes, e depois pedir os tomadores de decisão para examinar seus vetores critério para selecionar o melhor.

Contudo, após códigos vector-máximos tornou-se disponível, verificou-se que o número de pontos extremos eficientes gerados por MOP foi de longe maior do que se esperava. Como resultado, procedimentos interativos para explorar conjuntos eficientes para a melhor solução tornou-se popular. Muitos procedimentos de pontos não-referência e ponto de referência diferentes já estão disponíveis (Steuer e Gardiner, 1990).

C.6 NAIADE

A Nova abordagem para avaliação imprecisa e ambientes de decisão (NAIADE) é um método MCDA, desenvolvido por Munda, Nijkamp e Rietveld (1995) cuja matriz de impacto (ou avaliação) pode incluir dados quantitativos e qualitativos; em particular, os valores atribuídos aos critérios para cada alternativa pode ser expressa sob a forma nítida, estocástica, números difusos ou expressões linguísticas.

Por isso, permite a utilização de informação afetada por diferentes tipos de incerteza. É um método discreto, e nenhuma ponderação dos critérios é usado explicitamente. O método é implementado por uma aplicação de software chamado NAIADE.

De um ponto de vista processual o método consiste em três fases (MUNDA; NIJKAMP; RIETVELD, 1995):

1. A comparação paritária de alternativas. A matriz de avaliação E vai ser caracterizada pelos seus componentes qualitativos e quantitativos e a comparação paritária de alternativas (com referência a cada critério) é levada a cabo por meio do conceito de "distância semântica" entre dois conjuntos fuzzy. A comparação par a par de alternativas é baseado em seis "relações de preferência" expressa para cada critério, a partir da distância entre as alternativas.: (1) muito maior do que ($\gg$) (2) maior que ($>$) (3) aproximadamente igual a ($\cong$) (4) muito igual a ($=$) (5) menor do que ($<$) (6) muito menor do que ($\ll$).
2. A soma de todos os critérios. In order to take into account all criteria simultaneously, it is necessary to aggregate the evaluations related to the pairwise performance of alternatives according to each single criterion.

3. A avaliação das alternativas.

NAIADE pode dar as seguintes informações:

- Classificação das alternativas de acordo com o conjunto de critérios de avaliação (solução de compromisso técnico);
- Indicações da distância das posições dos vários grupos de interesse (possibilidades de convergência de interesses ou formações da coalizão);
- Classificação das alternativas de acordo com impactos ou preferências (solução de compromisso social) dos atores.

Os principais componentes do método de NAIADE pode ser resumido como:

- A comunicação com o tomador de decisão é necessária para elucidar diferentes parâmetros relevantes, assim, um quadro de apoio à decisão construtiva é implícitas;
- O método é baseado em alguns aspectos do axioma comparabilidade parcial, em particular, uma comparação paritária entre alternativas é realizado, e as relações incomparabilidade são permitidos;
- intensidade de preferência é tomado em consideração, o que implica que um certo grau de compensação entre os critérios é permitido, dadas as características do método que podem ser classificados entre parcial;
- Para a relação indiferença não transitividade é implícita, a relação de preferência é max-min transitivo;
- A ordem parcial (ou total) de alternativas viáveis é fornecida. A classificação final é uma função de todos os alternativas consideradas, isto implica que, se um dominado ou uma ação dominante é introduzido, o ranking pode alterar; Além disso, se a melhor ação é eliminado, o ranking das outras alternativas também podem mudar, assim NAIADE não respeita a independência do axioma irrelevante alternativas.

C.7 PROMETHEE

O método PROMETHEE consiste em construir e explorar uma relação de sobreclassificação de valores. Os métodos PROMETHEE foram propostos pela primeira vez em 1982 e desde então não cessaram de ser objeto de desenvolvimento e adaptações complementares.

A família de métodos PROMETHEE se divide em:

1. PROMETHEE I – Pré-ordem parcial, problemática de escolha;
2. PROMETHEE II – Estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas, podendo ser utilizado também na problemática de escolha;
3. PROMETHEE III – Ampliação da noção de indiferença, tratamento probabilístico dos fluxos (preferência intervalar);
4. PROMETHEE IV – Pré-ordem completa ou parcial. Problemática de escolha e ordenamento. Destinado as situações em que o conjunto de soluções viáveis é contínuo;
5. PROMETHEE V – Nesta implementação, após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas (PROMETHEE II), são introduzidas restrições, identificadas no problema, para as alternativas selecionadas; incorpora-se uma filosofia de otimização inteira;
6. PROMETHEE VI – Pré-ordem completa ou parcial. Problemática de escolha e ordenamento. Destinado as situações em que o decisor não consegue estabelecer um valor fixo de peso para cada critério;
7. PROMETHEE – GAIA – Extensão dos resultados do PROMETHEE, através de um procedimento visual e interativo.

Algumas vantagens do método PROMETHEE são: a facilidade dos decisores entenderem os conceitos e parâmetros inerentes aos métodos, o que simplifica o processo de modelagem de preferências e, conseqüentemente, aumenta a efetividade da aplicação do método multicritério; também é facilmente implementado em uma linguagem de computador.

C.8 REGIME

O método Regime foi introduzido por Hinloopen, Nijkamp e Rietveld (1983), avaliada por Hinloopen (1985) e refinada por Hinloopen e Nijkamp (1990). Este método pode ser considerada como um quadro de avaliação multicritério pertencente à família das abordagens de análise de dominância, mesmo que estudos recentes apontam que é bastante distintas daquelas por várias razões.

O método Regime pertence à família de avaliação multicritério qualitativa. Referindo-se a este conjunto de métodos, Hinloopen e Nijkamp (1990) listam vários métodos que são úteis em abordar situações complexas, como eles são impossíveis de ser modelados por meio de informações quantitativas:

- (a) O método de extremo valor esperado
- (b) O método de permutação
- (c) O método de frequência
- (d) O método de escalonamento multidimensional
- (e) O método de dados mistos

As atividades humanas e os acordos são caracterizados por fenômenos que são muitas vezes impossível de medir, estudos têm-se centrado na construção de técnicas capazes de lidar com a informação "soft" e "distorcido (*fuzzy*)".

Como em Evamix uma tabela de avaliação é composta por e_{ij} pontuações de um número n de cenários alternativos no que diz respeito aos critérios m . No caso de informação ordinal, o peso pode ser representado por meio de hierarquia em ordens w_j no vetor de peso w . Quanto maior for o valor do peso, melhor o critério correspondente.

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_j)^T$$

As seguintes características principais caracterizam o método regime de múltipla escolha:

1. Este método permite a utilização de dados cardinais, bem como ordinais na tabela de avaliação; isto é conseguido por tratar informações cardinais como ordinal, com referência à posição da classificação de cada alternativa.

2. A base do método é o vector de Regime. Por duas opções de escolha alternativas i e i' , a diferença das pontuações dos critérios é avaliada de acordo com a seguinte fórmula: $s_{ii'j} = e_{ij} - e_{i'j}$

O vector de Regime, composto por sinais + ou - , ou eventualmente zeros, reflete um certo grau de domínio (por pares) da opção de escolha i com respeito aos i' efeitos não ponderados para todos os critérios de julgamento J .

Normalmente, o vector de regime não é composto completamente por uma série de "+" ou uma série de "-". Em vez disso, muitas vezes, é composto por ambos sinais. Informações adicionais tem de ser processada por meio de valores ordinais, no pressuposto de que a natureza ordinal dos pesos reflete a incapacidade de medir as preferências humanos, que em princípio são cardinais. Este vector de ponderação pode ser considerado como uma "ordem de ranking de um vetor de pesos estocásticas subjacentes cardinais".

Em comparação com a análise de dominância mais ampla, Regime difere em alguns pontos importantes: Enquanto ELECTRE requer rankings cardinais, o método Regime permite a utilização de dados mistos para que critérios cardinais e ordinais possam ser incluídos. O método Regime adapta pesos ordinais: esse recurso parece descrever sistemas reais de preferências melhor do que outros métodos de ponderação multicritério. Esta abordagem é baseada em hipóteses mais prudentes, pois evita a difícil tarefa de fixar valores cardinais para medir a intensidade de critérios de importância.

Em termos de deficiências e benefícios, este método é, em certo sentido a contrapartida de ELECTRE III. Ele tem uma estrutura mais simples do modelo de preferência do que o ELECTRE III, desde que os dados qualitativos e quantitativos podem ser utilizados a critérios.

Em outras palavras, este método é capaz de processar dados mistos, porque ele pode adotar uma escala ordinal para os escores de impacto. O resultado do processo de avaliação com Regime é um ranking completo das alternativas. O resultado da análise é bastante fácil de comunicar e discutir. O método Regime não admite incomparabilidades entre as alternativas: Por conseguinte, ele mostra todas as vantagens de a relação *outranking* para modelar o sistema de preferência individual acoplada à possibilidade de produzir um conjunto de alternativas completamente

comparáveis.

No entanto, alguns aspectos continuam por resolver. Por exemplo, não é clara a forma como o sistema opera no domínio estocástica. Isto é devido, principalmente, ao sistema de geração aleatória adotado para o vector de peso: o analista, envolvido na tarefa de explicar o mecanismo exato do algoritmo, pode encontrar dificuldades importantes na comunicação do significado e no envolvimento da comunidade decisional. Assim, apesar de a estrutura aparentemente simples do método Regime, o processo resultante de tomada de decisão pode não ser tão transparente.

C.9 SMAA

SMAA é uma família de métodos MCDA que leve em conta imprecisão ou falta de dados no problema em questão, considerando uma distribuição de probabilidade sobre o espaço de todos os pesos compatíveis W e uma distribuição de probabilidade sobre o espaço de avaliações das alternativas (Lahdelma et al. , 1998; Lahdelma, Miettinen, e Salminen, 2003; Lahdelma, Salminen, 2001)

Da mesma forma a ROR, a SMAA explora todo o conjunto de parâmetros compatíveis com algumas informações preferência prevista pelo decisor. (Lahdelma, Salminen, 2001; Lahdelma, Hokkanen, e Salminen, 1998)

SMAA é uma família de métodos MCDA que leva em conta a imprecisão ou falta de dados, considerando as distribuições de probabilidade sobre o espaço de critérios e pesos no espaço de avaliações das alternativas. SMAA também foi aplicado às incertezas dependentes e de preferência com a interação critérios.

Ao escolher o modelo de decisão e atribuindo os valores de seus parâmetros, é fácil obter alguns resultados para a construção de novas recomendações sobre o problema na mão. Geralmente, o avaliador é incapaz de fornecer diretamente esses parâmetros ou ela não tem consciência do seu significado. Além disso, as avaliações das alternativas consideradas podem estar ausentes ou imprecisas no mundo real problemas decisórios.