

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS - PPGEPS**

LICIA CRISTINA DE PAULA SANTOS

**SUORTE À TOMADA DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE CENÁRIOS EM
SISTEMAS PRODUTIVOS UTILIZANDO MÉTODOS MULTICRITÉRIO E
SIMULAÇÃO**

CURITIBA

2020

LICIA CRISTINA DE PAULA SANTOS

**SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE CENÁRIOS EM
SISTEMAS PRODUTIVOS UTILIZANDO MÉTODOS MULTICRITÉRIO E
SIMULAÇÃO**

Trabalho de qualificação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos.

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures.

CURITIBA

2020

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central
Luci Eduarda Wielganczuk – CRB 9/1118

S237s
2020 Santos, Licia Cristina de Paula
Suporte à tomada de decisão para seleção de cenários em sistemas produtivos utilizando métodos multicritério e simulação / Licia Cristina de Paula Santos ; orientador: Eduardo Alves Portela Santos ; co-orientador: Eduardo de Freitas Rocha Loures. – 2020.
110 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2020
Bibliografia: f. 104-110

1. Processo decisório por critério múltiplo. 2. Padrões de desempenho. 3. Simulação (Computadores). I. Santos, Eduardo Alves Portela. II. Loures, Eduardo de Freitas Rocha. III. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. IV. Título.

CDD 22. ed. – 658.4035



Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Escola Politécnica
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas

TERMO DE APROVAÇÃO

Licia Cristina de Paula Santos

SUORTE A TOMADA DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE CENÁRIOS EM SISTEMAS PRODUTIVOS UTILIZANDO MÉTODOS MULTICRITÉRIO E SIMULAÇÃO.

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Presidente da Banca
Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos
(Orientador)

Prof. Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures
(Coorientador)

Prof. Dr. Fernando Deschamps
(Membro Interno)

Prof. Dr. José Marcelo Almeida Prado Cestari
(Membro Externo)

Curitiba, 15 de dezembro de 2020.

Dedico este trabalho a minha família que
sempre me apoiou e incentivou nos
estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos Professores Eduardo Alves Portela Santos e Eduardo de Freitas Rocha Loures pela orientação e a atenção dedicada a mim durante todo o período de realização do trabalho.

Meus sinceros agradecimentos a Newton Clóvis Brasil e toda sua equipe, pelo acolhimento e ajuda durante as atividades que precisei desenvolver na empresa.

Agradeço ainda aos professores do PPGEPS, que me proporcionaram grande experiências e valiosos ensinamentos durante suas aulas.

RESUMO

O processo de tomada de decisão está presente diariamente nas organizações entre diferentes áreas e funções. Esse processo muitas vezes envolve dados tangíveis e intangíveis que precisam ser avaliados de forma conjunta para uma correta análise do problema. Em ambientes complexos é crescente a utilização de ferramentas que auxiliam os gestores nesse processo. Assim, o presente projeto aborda o tema de apoio a tomada de decisão expressando a preocupação de acadêmicos em auxiliar gestores nessa etapa tão importante. Em suma, a estrutura busca integrar ferramentas de apoio a tomada de decisão, a fim de organizar de forma racional a criação e escolha de cenários futuros para as organizações, melhorando a qualidade e o senso de oportunidade das decisões. Para esse fim, são utilizadas ferramentas como a Simulação Computacional e Métodos Multicritérios de Apoio a Tomada de Decisão (AHP e PROMETHEE), além disso a estrutura se baseia em indicadores de desempenho das Diretrizes GRI (*Global Reporting Initiative*) como critérios de avaliação. Da junção das métricas de desempenho com as ferramentas, foi possível o desenvolvimento da estrutura proposta, a qual foi aplicada em um ambiente industrial para a sua validação. Como resultado, tem-se que a estrutura foi capaz de direcionar a escolhas de cenários para a simulação, possibilitando criar cenários mais assertivos. Também foi possível perceber a importância da simulação em fornecer dados sólidos que servem como dados de entrada mais consistentes na utilização do método PROMETHEE, o que direcionou a priorização dos cenários. Além disso, a utilização das métricas do GRI como critérios avaliativos proporciona uma análise e adequação aos requisitos de sustentabilidade contribuindo para um plano de desenvolvimento mais viável para organização.

Palavras-chave: Tomada de Decisão. Simulação Computacional. Métodos Multicritérios. Indicadores de Desempenho.

ABSTRACT

Decision-making process is present daily in organizations between different areas and functions. This process often involves tangible and intangible data that needs to be evaluated together for a correct analysis of the problem. In complex environments, the use of tools that assist managers in this process is increasing. Thus, this project addresses the theme of support for decision making, expressing the concern of academics to assist managers in this very important stage. In short, the methodology seeks to integrate tools to support decision making, in order to rationally organize the creation and choice of future scenarios for organizations, improving the quality and the sense of timing of decisions. For this purpose, tools such as Computer Simulation and Multi-Criteria Decision Making (AHP and PROMETHEE) are used, in addition the methodology is based on performance indicators of the GRI Guidelines (Global Reporting Initiative). By combining performance metrics with tools, it was possible to develop the proposed methodology, which was applied in an industrial environment for its validation. As a result, the methodology was able to direct the choice of scenarios for the simulation, making it possible to create more assertive scenarios. It was also possible to perceive the importance of simulation in providing solid data that serve as more consistent input data when using the PROMETHEE method, which directed the prioritization of scenarios. In addition, the use of GRI metrics as evaluation criteria provides an analysis and adaptation to sustainability requirements, contributing to a viable development plan for the organization.

Keywords: Decision Making. Computational Simulation. Multi-Criteria Decision-Making. Performance Indicators.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura do Documento	20
Figura 2 - Escopo da Metodologia de Pesquisa	21
Figura 3 - Escopo do Projeto	22
Figura 4 - Decisões Individuais e Coletivas	24
Figura 5 - Modelo Computacional	33
Figura 6 - Etapas da Simulação	35
Figura 7 - Conceito de verificação e validação do modelo	36
Figura 8 – Hierarquia de critérios/objetivos	41
Figura 9 - Exemplo de Matriz Comparação	43
Figura 10 – Requisitos dos relatórios GRI	54
Figura 11 – Aspectos do GRI.	55
Figura 12 - Indicadores da categoria Social.	56
Figura 13 -Indicadores da categoria Ambiental.	57
Figura 14 – Indicadores da categoria Econômica.	58
Figura 15 - Fluxograma das etapas do projeto	60
Figura 16 - Macro etapas do procedimento	61
Figura 17 - Fluxograma da estrutura utilizada no estudo	63
Figura 18 - Detalhamento Fase I da estrutura	64
Figura 19 - Exemplo de mapeamento dos aspectos do GRI	65
Figura 20 - Exemplo da matriz de influência e Gráfico de Pareto	66
Figura 21 - Fase II: Construir cenários	68
Figura 22 - Fase III: Simulação	69
Figura 23 - Fase IV: Priorização dos cenários	70
Figura 24 - Representação do Cenário Atual	73
Figura 25 - Representação do percurso realizado pelos operadores	74
Figura 26 – Matriz de influência dos aspectos GRI	78
Figura 27 – Gráfico de Pareto: linha de corte dos aspectos GRI	78
Figura 28 - Estrutura AHP para priorização dos indicadores	82
Figura 29 - Resultados da aplicação do AHP para priorização dos indicadores	83
Figura 30 - Gráfico de Pareto: linha de corte dos indicadores	83
Figura 31 - Indicadores selecionados e seus fatores de avaliação	84
Figura 32 – Representação do Cenário Futuro 1	85

Figura 33 – Representação do Cenário Futuro 2	86
Figura 34 – Representação do Cenário Futuro 3	86
Figura 35 – Simulação do Cenário Atual	88
Figura 36 – Simulação do Cenário Futuro 1	89
Figura 37 – Simulação do Cenário Futuro 2	90
Figura 38 – Simulação do Cenário Futuro 3	90
Figura 39 - Matriz de avaliação PROMETHEE	93
Figura 40 - Priorização dos cenários pelo PROMETHEE	95
Figura 41 - Panorama global das alternativas no PROMETHEE	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelo racional e comportamental de tomada de decisão.....	25
Tabela 2 - Comparações do AHP.....	42
Tabela 3 – Índice Randômico Médio do AHP	44
Tabela 4 – Funções de preferência.	47
Tabela 5 - Trabalhos publicados na literatura.....	50
Tabela 6 – Aspecto Econômico mapeado do GRI.....	76
Tabela 7 - Aspectos Sociais mapeados do GRI.	76
Tabela 8 - Aspectos selecionados.....	79
Tabela 9 - Relação de Indicadores.....	80
Tabela 10 - Dados de Entrada do Modelo.....	88
Tabela 11 - Comparação dos Resultados dos Cenários Simulados.....	91
Tabela 12 - Custo anual por cenário	93
Tabela 13 - Referência para pontuação probabilidade de acidentes.....	94
Tabela 14 - Pontuação em relação a probabilidade de acidentes por cenários.	94
Tabela 15 - Avaliação IFA dos cenários.	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGV	Veículo Guiado Automaticamente
AHP	Processo de Hierarquia Analítica
GRI	<i>Global Reporting Initiative</i>
IC	Índice de Consistência
MCDM	Multi-Criteria Decision-Making
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation</i>
RC	Razão de Consistência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO	16
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	JUSTIFICATIVA.....	18
1.4	ABORDAGEM E ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2	ABORDAGEM METODOLOGICA	21
3	FERRAMENTAS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO	24
3.1	TOMADA DE DECISÃO	24
3.1.1	Modelos de Decisões	25
3.1.2	Decisões programadas e não programadas	26
3.1.3	Processo Decisório	26
3.1.4	Etapas do Processo Decisório	27
3.1.5	Consequências do Processo de Decisão	28
3.1.6	Considerações Parciais	29
3.2	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	30
3.2.1	Definição de Simulação	31
3.2.2	Vantagens e Desvantagens da Simulação	31
3.2.3	Modelos de Simulação	32
3.2.4	Etapas de Simulação.....	34
3.2.4.1	Etapa de Planejamento	35
3.2.4.2	Etapa de Modelagem.....	36
3.2.4.3	Etapa de Experimentação.....	37
3.2.4.4	Tomada de Decisão e Conclusão do Projeto.....	37
3.2.5	Considerações Parciais	37
3.3	MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO A TOMADA DE DECISÃO	38
3.3.1	AHP - Analytic Hierarchy Process.....	39
3.3.2	Hierarquia.....	40
3.3.3	Aplicação do Método.....	42
3.3.4	PROMETHEE -Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation	45
	Aplicação do Método	46

3.4	INTEGRAÇÃO SIMULAÇÃO – MÉTODOS MULTICRITÉRIO	48
3.4.1	Considerações Parciais	51
3.5	GRI – GLOBAL REPORTING INITIATIVE.....	52
3.5.1	Diretrizes da GRI.....	53
3.5.2	Indicadores GRI	55
3.5.3	Considerações Parciais	58
4	ESTRUTURA PROPOSTA	59
4.1	ETAPAS DA ESTRUTURA.....	61
4.1.1	Fase I	64
4.1.2	Mapear Aspectos	64
4.1.3	Priorizar Aspectos	65
4.1.4	Selecionar Indicadores	67
4.1.5	Fase II - Construir Cenários	68
4.1.6	Fase III – Simular Cenários	69
4.1.7	Fase IV – Priorizar cenários.....	69
4.1.8	Consideração parciais	70
5	APLICAÇÃO DA ESTRUTURA	72
5.1	OBJETO DE ESTUDO	72
5.2	OBJETIVO CENTRAL	73
5.2.1	Definição do Problema.....	74
5.3	FASE I	75
5.3.1	Mapear aspectos.....	75
5.3.2	Priorizar aspectos.....	77
5.3.3	Selecionar indicadores	79
5.4	FASE II - CONSTRUIR CENÁRIOS	84
5.5	FASE III - SIMULAR CENÁRIOS.....	87
5.5.1	Etapa de Planejamento	87
5.5.2	Etapa Modelagem	87
5.5.3	Etapa de Experimentação	89
5.6	FASE IV - PRIORIZAR CENÁRIOS.....	92
5.7	AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO	96
5.8	CONSIDERAÇÕES PARCIAIS.....	99
6	CONCLUSÃO.....	101
	REFERÊNCIAS.....	104

1 INTRODUÇÃO

Com o mercado em constante mudança, o conhecimento largamente disperso e a forte concorrência, as empresas necessitam tomar decisões assertivas, em um curto espaço de tempo (DREHER et al., 2012). Essas decisões visam aprimorar fatores de desempenho como, qualidade, flexibilidade, custo, confiabilidade. Dessa forma, as empresas que pretendem garantir um bom posicionamento competitivo, precisam criar e executar estratégias que possibilitem uma resposta rápida ao mercado (GARZA-REYES, 2010). Em busca de sistemas produtivos ágeis, é imprescindível que gestores analisem e meçam a eficiência de seus processos, para determinar seu nível de produtividade (DREHER et al., 2012). Essa condição de eficiência representa a meta de qualquer gestor que busca excelência em seus processos, porém, o maior desafio para isso é justamente entender quando o desempenho do processo está variando. Para isso é imprescindível a utilização e constante atualização dos indicadores de desempenho (MARTINS, 2005).

O Indicador de desempenho é uma ferramenta que permite mensurar as propriedades de um sistema, sendo bastante utilizado nas empresas para medir aspectos produtivos e de processos (TYTECA, 2002). Em tempos de alta competitividade, as empresas necessitam cada vez mais de informações detalhadas sobre o mercado e seus processos internos, o que as possibilita realizar ajustes de ações de curto a longo prazo em tempo hábil (ENSSLIN et al, 2009). O controle e melhoria contínua dos processos através de indicadores, permite que as empresas obtenham uma melhor percepção das reações operacionais, o que pode proporcionar aumento de qualidade e redução de custos (MARTINS, 2005). É importante também que os indicadores de desempenho estejam ligados aos objetivos estratégicos e táticos da empresa, assim poderá medir se houve progresso em relação ao que foi planejado (TYTECA, 2002). E tão importante quando medir é saber escolher o que medir, dessa forma é primordial que os gerentes identifiquem quais são os principais indicadores que podem mensurar de maneira adequada as ações da empresa (ENSSLIN et al., 2009). Além disso, com o constante crescimento, mundialmente, sobre questões socioambientais, é importante que as organizações utilizem indicadores consistentes e confiáveis que englobem essas questões a fim de tomarem decisões visando a sustentabilidade da empresarial (GRI, 2013).

O modelo de indicadores propostos pela GRI (*Global Reporting Initiative*), é um modelo consolidado internacionalmente, que oferece diretrizes para relatórios de sustentabilidade que permite uma harmonização das informações, propondo indicadores organizacionais estrategicamente pensado para abranger questões sociais, ambientais e econômicas. Pensando na abrangência, consistência e reputação internacional do relatório, os indicadores que guiam o presente estudo são retirados das Diretrizes do GRI (GRI, 2013). O estudo ainda prevê a análise e uma possível utilização de indicadores de desempenho da própria organização em que será aplicada a estrutura de apoio a tomada de decisão. Essa abordagem é feita, pois apesar dos indicadores GRI serem abrangentes, podem ocorrer situações específicas de um modelo de negócio sendo importante, portanto, a sua análise e utilização (GRI, 2013).

Visto que os indicadores permitem que os tomadores de decisão avaliam diferentes aspectos, os mesmos podem ser utilizados como direcionadores na escolha de cenários futuros para as organizações (TAHA et al., 2012). Apesar disso, os tomadores de decisão ainda precisam levar consideração as opiniões pessoais e objetivos conflitantes e ainda selecionar quais os indicadores são mais relevantes ao contexto em análise.

Diante do explicitado, nota-se que as empresas lidam diariamente com processos de tomada de decisão com múltiplos critérios, onde a escolha da melhor alternativa torna-se um processo moroso e difícil, até mesmo para profissionais com experiência no assunto (TAHA et al., 2012; MARINS et al., 2009).

Nesse contexto, ferramentas de apoio a tomada de decisão são de extrema importância. A simulação se destaca como uma ferramenta importante de apoio ao gestor, uma vez que possibilita estudar diferentes cenários levando em consideração múltiplas variáveis. Freitas (2001), afirma que a simulação é capaz de fornecer diferentes cenários a fim de testá-los antes da implementação, o que auxilia na tomada de decisão.

Porém, os estudos de simulação em ambientes complexos podem ser demorados e consumir níveis elevados de recursos (FREITAS, 2001). Dessa forma, torna-se interessante a utilização de ferramentas auxiliares capazes de aprimorar a aplicação da simulação, que permitam criar e priorizar cenários que analisem diferentes critérios. Existem diversos métodos multicritérios de apoio a tomada de decisão que facilitam a escolha de cenários de acordo com o ponto de vista dos

decisores (MORAIS et al., 2002). A abordagem multicritérios visa avaliar eventos que podem afetar os resultados e as possíveis consequências de se optar por determinado cenário. Essa abordagem é interessante, pois tem como princípio avaliar o conhecimento tácito e explícito dos decisores. A análise multicritério conduz o processo de escolha, organização e classificação das ações possíveis, incorporando múltiplos aspectos no processo decisional (MORAIS et al., 2002; SHANG et al., 1995).

Nesse contexto, o presente estudo utiliza dois métodos multicritérios de apoio a tomada de decisão, o AHP e o PROMETHEE. Ambos os métodos apresentam técnicas que permitem a classificação e priorização das alternativas. Na prática, o AHP é utilizado para selecionar os indicadores mais relevantes ao contexto em estudo e o PROMETHEE para priorizar os cenários simulados (POHEKAR et al., 2013; AZADEH* et al., 2016).

Diante do explicitado, o presente projeto tem como objetivo utilizar métodos multicritérios de apoio a tomada de decisão integrado a simulação computacional para escolha e criação de cenários de sistemas produtivos mais assertivos, tendo como critérios de avaliação indicadores de desempenho sob a ótica das diretrizes GRI (*Global Reporting Initiative*), a qual considera aspectos nas esferas sociais, ambientais e econômicas.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

A tomada de decisão visando a eficiência dos sistemas produtivos para adequação das estruturas da empresa em relação aos avanços tecnológicos, requisitos de mercado e mudanças em normas regulamentadoras é muitas vezes realizada de forma empírica, acarretando consumo de tempo e recursos excessivos. A simulação computacional é uma técnica consolidada que pode suportar os gestores na tomada de decisão em relação a layout, número de recursos, dentre outros. Entretanto, pode-se encontrar diversos problemas no uso da simulação como, elevado consumo de tempo para levantar dados de entrada, dificuldade na construção dos modelos, dificuldade em especificar cenários de teste e escolher o melhor cenário após a simulação (MARTIN et al., 2004; GAVIRA, 2016).

Baseado nessa problemática, o presente trabalho busca desenvolver uma estrutura que integre a simulação computacional com métodos multicritérios de apoio a tomada de decisão (MCDM). Os métodos multicritérios baseados em indicadores de

desempenho visam auxiliar na escolha e construção de cenários. Essa ferramenta auxilia aos gestores, uma vez que permite a avaliação de critérios quantitativos e qualitativos que muitas vezes são conflitantes o que dificulta a tomada de decisão dos profissionais (GAVIRA, 2016). Além disso, ao se basearem em indicadores de desempenho, as decisões serão tomadas de acordo com as diretrizes seguidas pela empresa, visando sempre a sua sustentabilidade a longo prazo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral, desenvolver uma estrutura baseada em métodos multicritérios de apoio a tomada de decisão, indicadores de desempenho e simulação computacional para a criação e priorização de cenários futuros, em sistemas produtivos, que requerem mudanças decorrentes da necessidade de aumento da eficiência, readequação aos requisitos de mercado ou avanços tecnológicos.

1.2.2 Objetivos Específicos

A fim de atender o objetivo geral proposto foram estabelecidos alguns objetivos específicos:

- Realizar revisão bibliográfica de conceitos como, Tomada de Decisão, Simulação Computacional e Métodos Multicritérios de Apoio a Tomada de Decisão e Indicadores de desempenho GRI;
- Mapear e selecionar indicadores de desempenho;
- Construir cenários que incorporem as principais características dos indicadores selecionados.
- Construir modelos de simulação dos cenários;
- Priorizar cenários;
- Aplicar a estrutura e avaliar os resultados obtidos.

1.3 JUSTIFICATIVA

A tomada de decisão em relação a configuração de sistemas produtivos como leiaute, recursos, dentre outros, é tema relevante na área de Produção. Cada vez mais os gestores demandam por métodos formais para o suporte à tomada de decisão. (MORAIS, et al.). A simulação computacional é uma ferramenta relevante nesse contexto (FREITAS, 2001). Entretanto, diversos desafios estão postos para a sua aplicação mais eficiente, um desses desafios é a dificuldade em construir cenários para a simulação e selecioná-los após simulados, levando em consideração diferentes critérios muitas vezes conflitantes, principalmente em se tratando de ambientes complexos (GAVIRA, 2016).

A escolha entre diferentes cenários, que por sua vez possuem diversos critérios, é algo que demanda muito tempo do tomador de decisão, há também a possibilidade do tomador de decisão não levar em consideração alguma alternativa relevante diante das inúmeras possibilidades existentes (MARTIN et al., 2004). Visto que o uso da simulação computacional requer tempo e mão de obra especializada, ao construir cenários mais assertivos, é possível mobilizar recursos apenas na direção das alternativas mais consistentes, economizando assim tempo e dinheiro. E em casos em que diferentes cenários são simulados para atender critérios de diferentes tomadores de decisão, a escolha do melhor cenário necessita de uma avaliação que leve em consideração múltiplos critérios (MARTIN et al., 2004; GAVIRA, 2016).

Nesse contexto, os Métodos Multicritérios de Apoio a Tomada de Decisão são de extrema importância, pois são ferramentas que justificam as escolhas feitas. Essas ferramentas permitem a comparação de critérios qualitativos e quantitativos proporcionando maior confiabilidade no processo de tomada de decisão, uma vez que direcionam o tomador de decisão a escolhas mais assertivas (AZADEH* et al., 2016).

1.4 ABORDAGEM E ESTRUTURA DO TRABALHO

GIL (2002), define pesquisa científica como “procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos”. O autor menciona ainda, que para um problema ser de natureza científica, necessita conter variáveis que possam ser tratáveis. Para que o pesquisador alcance os objetivos propostos e obtenha respostas aos seus problemas, ele necessita seguir

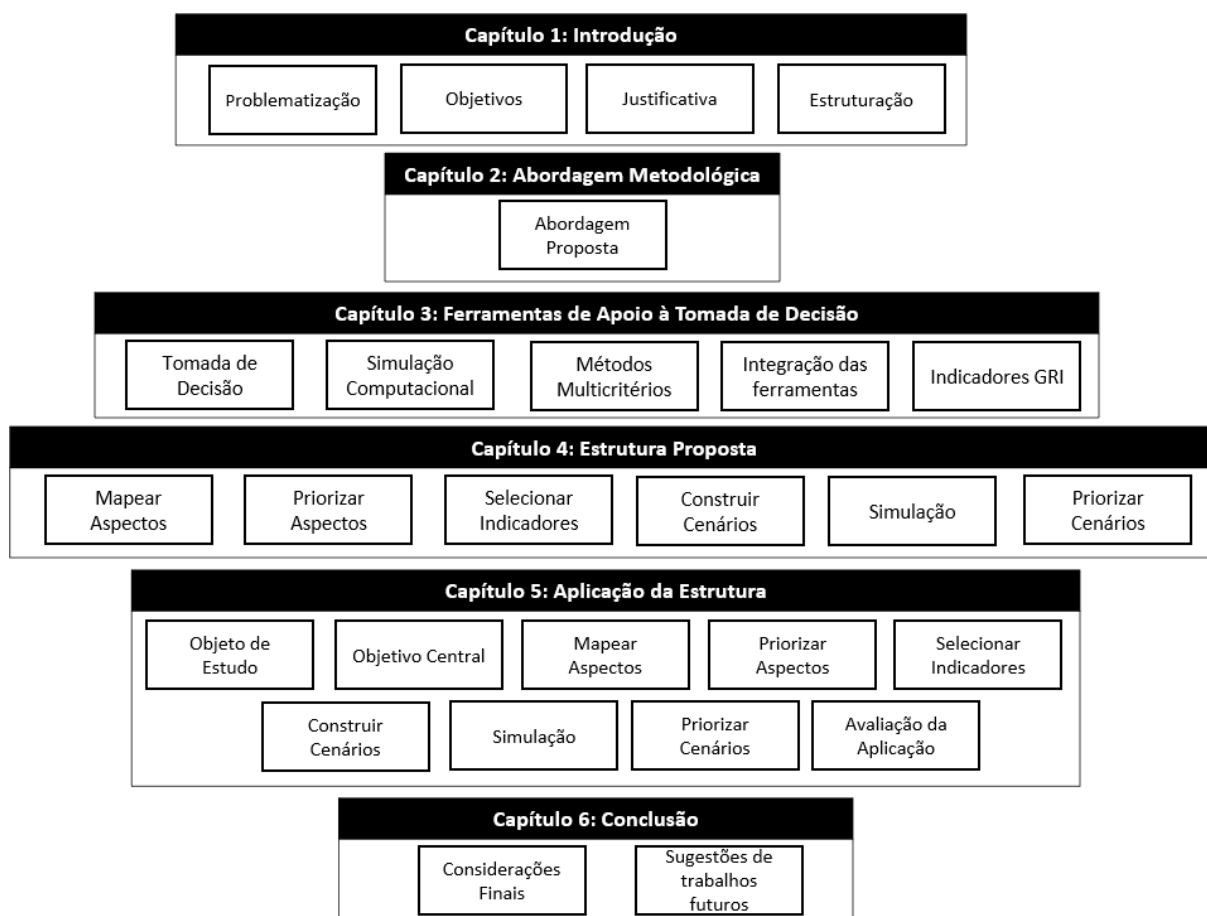
procedimentos estruturados de pesquisas e apresentar fundamentada metodologia científica (CASARIN et al., 2012).

Com o intuito de atender os objetivos do presente trabalho, o mesmo é dividido em duas etapas, a primeira através de metodologia teórico-conceitual de caráter exploratório, e a segunda um estudo de caso que utiliza como metodologia a elaboração de um método de análise multicritério e modelagem para simulação computacional.

O presente trabalho está estruturado conforme apresentado na Figura 1. Como pode ser observado, ele se divide em 6 capítulos:

- Capítulo 1: apresenta a introdução, trazendo a problemática, os objetivos, a justificativa do trabalho e a metodologia de pesquisa.
- Capítulo 2: apresenta a abordagem metodológica utilizada no estudo.
- Capítulo 3: dedicado a referência bibliográfica sobre os temas de Tomada de Decisão, Simulação Computacional, Métodos Multicritérios de Apoio a Tomada de Decisão e Indicadores de desempenho do GRI. Além das definições, esse capítulo também apresenta trabalhos que utilizam a integração de duas ou mais ferramentas de apoio a tomada de decisão.
- Capítulo 4: apresenta a estrutura proposta neste projeto, que consiste na integração da Simulação Computacional com MCDM de cenários futuros. As macro etapas da estrutura são: Mapear aspectos, priorizar aspectos, selecionar indicadores, construir cenários, simulação e priorizar cenários.
- Capítulo 5: consiste na aplicação da estrutura para validação da proposta apresentada. A estrutura foi aplicada em um posto de trabalho de indústria automotiva.
- Capítulo 6: apresenta as considerações finais e sugestões de trabalhos futuros.

Figura 1 - Estrutura do Documento.

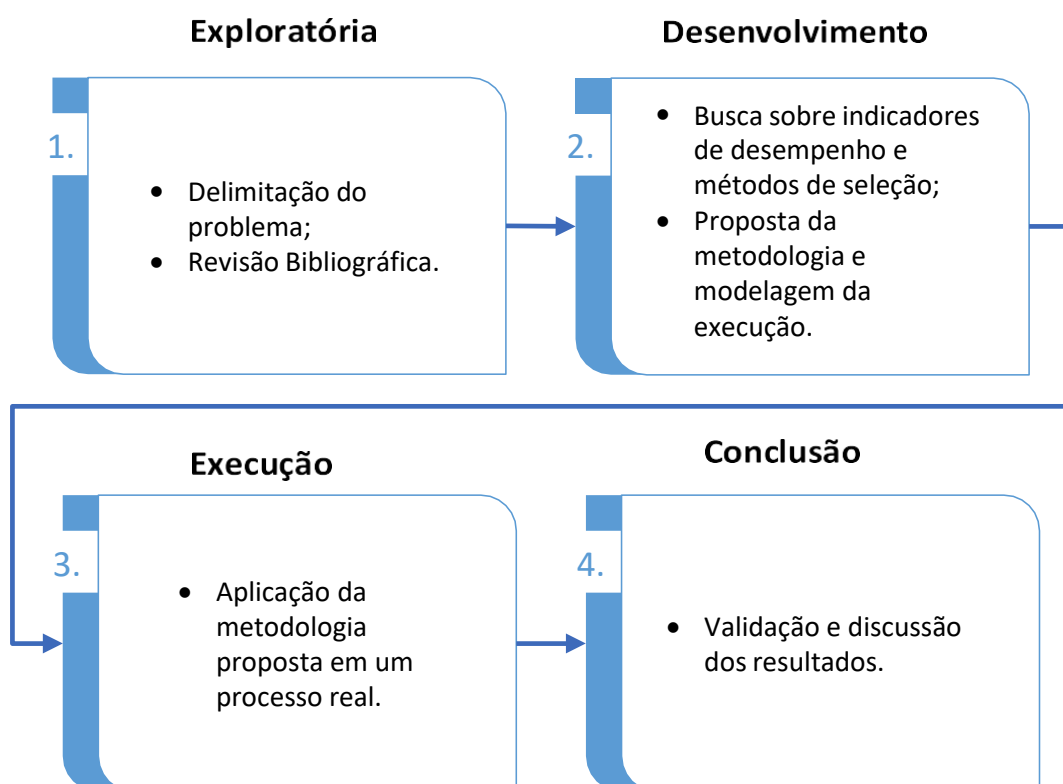


Fonte: A autora, 2020.

2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A metodologia utilizada para construir o conhecimento demandado e assim sugerir uma estrutura ao processo de apoio a tomada de decisão de cenários futuros foi desenvolvido através de 4 etapas. A Figura 2, apresenta as etapas desse processo de construção e validação da estrutura.

Figura 2 - Escopo da Metodologia de Pesquisa.



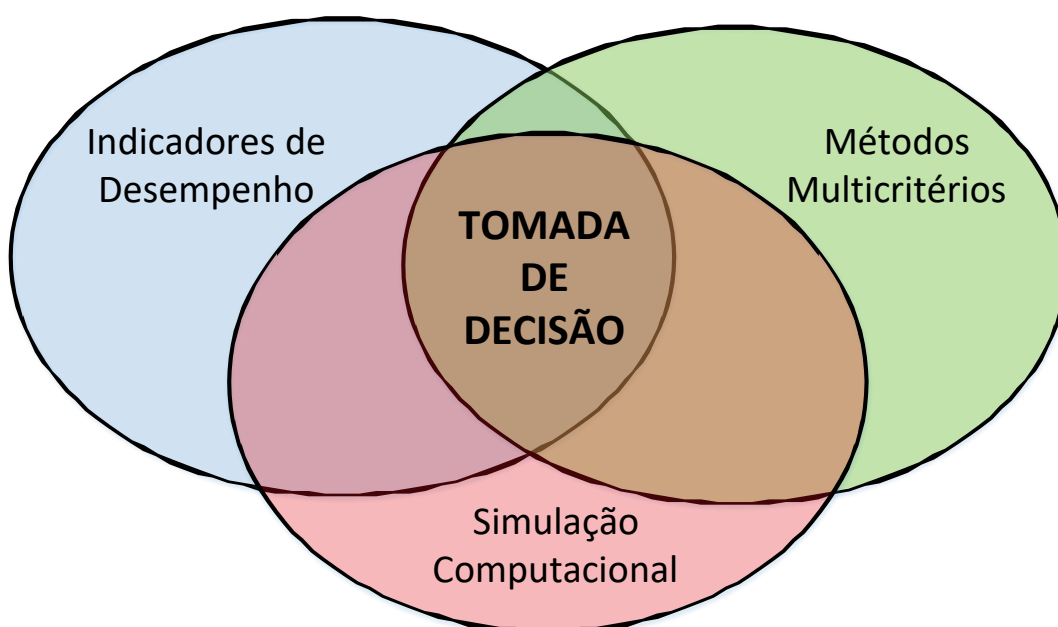
Fonte: A autora, 2020.

Através da Figura 2, pode-se observar que o presente trabalho passou por uma fase exploratória, onde foi realizada a delimitação do problema e posterior revisão bibliográfica dos temas delimitados. Nessa etapa foram analisadas publicações referentes a tomada de decisão e ferramentas de apoio a decisão, assim como, um estudo aprofundado sobre a integração dessas ferramentas, para que pudessem ser transformadas em uma metodologia de apoio a decisão. Na segunda etapa foram realizadas buscas por fontes de indicadores de desempenho em normas e artigos científicos. Essa busca teve como objetivo, formar uma base de indicadores que apoiem o processo de tomada de decisão. Na etapa 2, também foi realizada a

modelagem da metodologia proposta. A etapa 3, de execução, consistiu na aplicação da metodologia em um ambiente real, e na etapa 4 houve a validação e discussão dos resultados.

A Figura 3 traz a ideia central do trabalho, que prevê a integração de 3 áreas diferentes a fim de criar uma estrutura robusta de suporte a tomada de decisão. O estudo parte da premissa que esses campos já apresentam bons resultados como ferramentas de apoio a decisão, porém a integração deles irá tornar a abordagem da análise mais completa, uma vez que une os pontos fortes de cada uma delas.

Figura 3 - Escopo do Projeto.



Fonte: A autora, 2020.

Como mencionado, o trabalho inicia pelo estudo das ferramentas a fim de identificar como é possível melhorar a aplicação de cada uma delas. Nessa etapa, por exemplo, foi identificado através de leituras pertinentes ao tema e em entrevista com profissionais da área, que a simulação apesar de ser uma ferramenta consolidada como apoio a tomada de decisão ainda apresentava algumas ressalvas em relação a facilidade de sua utilização, principalmente em relação ao tempo para criar e escolher cenários para serem simulados.

A partir dessa constatação, os Métodos Multicritérios foram adicionados aos estudos, onde alguns artigos (Tabela 5), trouxeram excelentes resultados com a aplicação das duas metodologias utilizadas juntas. Apesar disso, ainda havia a

necessidade de criar cenários mais assertivos, a fim de reduzir o tempo gasto simulando vários cenários para atender diferentes objetivos, sem haver o questionamento das diversas ideias que surgem. Um direcionamento na construção de cenários pode poupar tempo na tomada de decisão. É nessa etapa que surge os indicadores de desempenho, pois permitem demonstrar de forma clara, o que precisa realmente ser melhorado em cada cenário.

Com a junção da Simulação e Métodos Multicritérios, foi observado que a questão de escolha e avaliação de um cenário poderia ser resolvida, uma vez que os métodos multicritérios permite uma avaliação consistente das alternativas abordando questões quantitativas e qualitativas, criando uma proposta de estrutura mais inteligente, com foco na tomada de decisão. Já os estudo sobre indicadores de desempenho, levou a incorporar na estrutura proposta os indicadores GRI. Esses indicadores além de serem genéricos, podendo ser aplicados em qualquer organização ainda são indicadores robustos e utilizados por muitas empresas em diversos países, abordando questões que direcionam as organizações para uma atuação sustentável no mercado (GRI, 2013).

A partir dos estudos das três áreas e de como cada uma poderia auxiliar a outra, foi desenvolvida a estrutura proposta de apoio a tomada de decisão. Após a criação da estrutura a sua validação é feita através de um estudo de caso, onde serão analisados como as três ferramentas se comportam de forma integrada, assim como qual a vantagem em comparação a utilização de apenas uma delas.

3 FERRAMENTAS DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO

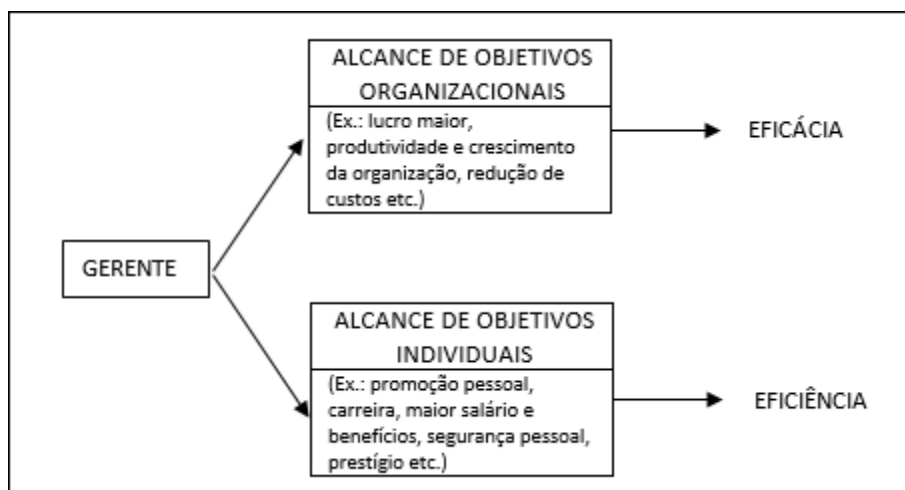
Essa seção aborda conceitos teóricos dos assuntos apresentados durante o desenvolvimento da pesquisa, com objetivo de familiarizar os leitores com o tema proposto. Serão abordados os conceitos relacionados à Tomada de Decisão, Simulação Computacional, MCDM e Indicadores de desempenho do GRI.

Primeiramente busca-se fundamentar o processo de Tomada de Decisão, abordando a sua importância dentro das organizações e expondo através dos conceitos apresentados o quão complexo um processo decisório pode ser. Dentro desta problemática são apresentadas ferramentas que podem auxiliar no processo decisório. Por fim, é relatado possíveis benefícios gerados pela integração das ferramentas.

3.1 TOMADA DE DECISÃO

Todos os dias as organizações precisam tomar diversas decisões, desde decisões corriqueiras até decisões específicas, que podem repercutir por toda organização. Essas decisões são tomadas por pessoas, que por sua vez são influenciadas pelo meio onde vivem, por experiências anteriores, por crenças, cultura, convicções, capacidade cognitiva, dentre outros. Segundo Chiavenato (2003), dentro de uma organização todas as pessoas em diferentes áreas e funções tomam decisões, seja ela individual ou coletiva (Figura 4), ou seja, as pessoas constantemente processam informações, formam opiniões e tomam decisões (BERTONCINI et al., 2012; CHIAVENATO et al., 2003; LI et al., 2010).

Figura 4 - Decisões Individuais e Coletivas



Fonte: Chiavenato et. al., 2003.

A decisão é um processo que envolve uma escolha entre duas ou mais alternativas levando em consideração alguns critérios. A tomada de decisão visa diminuir a incerteza em relação as diversas alternativas existentes e assegurar a escolha da melhor delas (CHIAVENATO, 2003). Para Bertoncini (2012), não existe uma decisão perfeita, mas sim uma busca pela decisão ideal dentro do cenário em que se encontra, onde deve-se analisar as diversas restrições existentes visando o melhor para a organização e seus *Stakeholders*.

Para Davidson et al. (2013), a decisão deve considerar tanto critérios qualitativos quanto quantitativos, ou seja, não considerar apenas os números disponíveis, mas também a experiência do tomador de decisão. Em muitas organizações, raramente a tomada de decisão possui todos os parâmetros disponíveis antecipadamente, mesmo assim, decisões são tomadas apenas com informações limitadas.

3.1.1 Modelos de Decisões

De acordo com Bertoncini et al. (2012), a tomada de decisão geralmente segue dois modelos, racional e comportamental (Tabela 1).

Tabela 1 - Modelo racional e comportamental de tomada de decisão

Modelo Racional	Modelo Comportamental
a. O tomador de decisão tem informações perfeitas (relevantes e acuradas).	1. O tomador de decisões tem informações imperfeitas (incompletas e possivelmente imprecisas).
2. O tomador de decisões tem uma lista exaustiva de alternativas dentre as quais pode escolher.	2. O tomador de decisões não tem um conjunto completo de alternativas ou não entende plenamente aquelas que têm à disposição.
3. O tomador de decisões é racional	3. O tomador de decisões tem uma racionalidade definida e se restringe a valores, experiência, hábitos etc.
4. O tomador de decisões sempre tem em mente os melhores interesses da organização.	4. O tomador de decisões escolherá a primeira alternativa minimamente aceitável.

O Modelo Racional requer que o tomador de decisão obtenha todas informações necessárias e que tenha uma decisão de forma racional visando sempre o interesse da organização. No Modelo Comportamental por sua vez, o tomador de decisões não obtém todas as informações, dessa forma não apresenta um conjunto ideal de alternativas. A decisão acaba sendo tomada baseada na experiência escolhendo a primeira alternativa que satisfaça minimamente a situação (CARAVANTES et al., 2005).

3.1.2 Decisões programadas e não programadas

De acordo com Bertoncini et al. (2012), as decisões podem ser classificadas de acordo com dois grupos: programadas e não programadas.

Maximiano (2009) define as decisões programadas como, as decisões comuns tomadas repetidas vezes. Como já são decisões conhecidas da organização elas não precisam de um embasamento com alternativas, pois geralmente apresentam padrões de ações predefinidos. Já as decisões não programadas, são decisões exclusivas para uma determinada situação. Assim, precisam seguir os processos de análises sucessivos, desde a definição do problema até a etapa de tomada de decisão. Segundo o autor, como as decisões programadas economizam tempo do tomador de decisão é interessante para organização possuir o maior número possível de decisões programadas.

3.1.3 Processo Decisório

Tomar decisões é um processo de escolha da alternativa ideal, portanto cabe ao decisor identificar alternativas, avaliá-las e selecionar a melhor. A ocorrência do processo decisório dentro das organizações é algo intrínseco e influenciada pela intuição, racionalidade e sentimentos do tomador de decisão. A intuição resulta da experiência e estímulos, já a racionalidade é utópica, pois como comentado anteriormente, nem sempre todos os dados para uma tomada de decisão eficaz estão disponíveis (FREITAS, 2001; CARAVANTES et al., 2005).

Maximiano (2009), difere intuição e racionalidade de acordo com o grau de informação, opinião e sentimentos que o tomador de decisão possui. Para o autor, quanto mais informação o tomador de decisão tem, mais racional será o processo. Por outro lado, se existir mais opiniões e sentimentos, mais intuitivo se torna. Para

Maximiano (2009), a tomada de decisão parte de uma frustração ou interesse. Já Robbins (2010), afirma que a tomada de decisão é uma resposta a um problema e define problema como uma diferença entre a condição atual e o desejável.

Para Chiavenato (2003), o processo de decisão corresponde a análise e seleção dentre alternativas de ações que a pessoa deve realizar. Para o autor, todo processo de decisão envolve os seguintes elementos:

- Tomador de decisão: corresponde a pessoa que tomará a decisão diante das opções de ações futuras.
- Objetivos: o que o tomador de decisão almeja alcançar com as ações escolhidas.
- Preferências: quais critérios foram escolhidos para realizar a escolha.
- Estratégia: qual o caminho escolhido para alcançar o objetivo.
- Situação: corresponde aos aspectos do ambiente em que o tomador de decisão está inserido, que afetam a escolha.
- Resultado: consequência da estratégia escolhida.

Todo processo de decisão tem um objetivo a ser atingido e esse objetivo pode ser, solucionar um problema ou alcançar uma oportunidade. Ou seja, quem toma a decisão está inserido em um contexto buscando atingir um ou mais objetivos, e de acordo com suas preferências pessoais escolhem estratégias para alcançar os resultados esperados (CHIVANATO, 2003).

3.1.4 Etapas do Processo Decisório

O processo de tomada de decisão é suscetível a erro, pois é realizada de acordo com as preferências pessoais do tomador de decisão. Visando auxiliar tomada de decisões complexas, alguns autores apresentam um processo sistemático que será mostrado a seguir (CERTO, 2005; CHIAVENATO, 2010; MAXIMIANO, 2009).

- Identificar o problema: Nessa etapa é importante diferenciar o problema dos seus sintomas. Normalmente, encontra-se primeiro o sintoma e depois procura-se a causa raiz.
- Identificar as soluções alternativas: refletir sobre as diversas possibilidades para resolver o problema. É importante reunir e organizar dados para apoiar a decisão escolhida.

- Selecionar a alternativa mais benéfica: selecionar a melhor alternativa de acordo com as informações coletadas no passo anterior. Nessa etapa deve-se ser bem objetivo, priorizando aspectos importantes de competitividade.
- Implementar a alternativa ótima: o tomador de decisão implementa a alternativa ótima.
- Reunir *feedback* relacionado ao problema: nesse passo é importante reunir sugestões e críticas e propor melhorias a partir delas.

Apesar do processo apresentado orientar a tomada de decisão, ele não é garantia da melhor escolha (CERTO, 2005; CHIAVENATO, 2010; MAXIMIANO, 2009).

3.1.5 Consequências do Processo de Decisão

Existem basicamente dois métodos de julgamento, o sistêmico e o heurístico. O sistêmico utiliza uma abordagem mais abrangente. No processo heurístico a decisão é baseada em “atalho”, já que o decisor não tem tempo suficiente, ou tem dificuldade para encontrar todas as alternativas e fatos necessários para utilizar a abordagem sistêmica. No processo heurístico, o decisor deve ser um especialista ou pelo menos estar familiarizado com o problema em questão (DAVIDSON et al., 2013; CERTO, 2010).

Pelo fato do processo decisório ser complexo e nem sempre conseguir se basear em alternativas ótimas, as vezes é preciso tomar decisões subjetivas. Certo (2010) e Chiavenato (2003), mencionam alguns cuidados em relação a subjetividade das decisões.

- **Racionalidade Limitada:** Na tomada de decisão é preciso avaliar muitas informações a respeito da situação, porém quando essas informações se tornam impossíveis ou difíceis de serem encontradas ou analisadas opta-se por considerar uma alternativa suficientemente boa. Considerar apenas alguns aspectos mínimos de aceitabilidade é denominado Racionalidade Limitada. Nela o responsável preocupa-se apenas em atingir os critérios mínimos de aceitabilidade.

- **Racionalidade Subjetiva:** é dita quando a decisão não se baseou em dados imparciais, mas sim em intuição ou instinto, dessa forma o processo de decisão pode não ser totalmente preciso.
- **Racionalização:** São decisões tomadas baseadas nas melhores justificativas, ou seja, pode haver alternativas melhores, porém a melhor alternativa nem sempre está de acordo com a política da empresa e, portanto, será difícil de justificá-la. A organização acaba limitando o funcionário aos critérios de decisão que pretendem manter.
- **Ponto de Vista Pessoal:** Para não cometer erros, o tomador de decisão deve considerar o ponto de vista de outras pessoas, não somente o dele.
- **Síndrome da Recência:** tendência em lembrar mais facilmente o que ocorreu recentemente. Não se deve dar mais peso para uma situação só porque ocorreu mais recente, deve-se levar em consideração todas as alternativas.
- **Estereotipagem:** Estereótipos limitam a tomada de decisão, uma vez que distorcem a verdade.

3.1.6 Considerações Parciais

Observa-se, portanto, que o processo de tomada de decisão está presente em qualquer análise organizacional, de forma constante e em todos os níveis da organização. Porém, a falta de sistematização do processo decisório, pode influenciar de forma negativa as ações que as organizações tomam. Visto o aumento das informações disponíveis e a crescente complexidade das organizações, que exigem decisões cada vez mais rápidas e assertivas, é interessante a investigação e aprimoramento de ferramentas que auxiliem o processo de tomada de decisão.

Dessa forma, ao longo dos anos, surgiram ferramentas e técnicas que são capazes de auxiliar o gestor no processo de decisão. Algumas das ferramentas mais utilizadas são: a teoria da probabilidade, a árvore de decisão, programas computacionais e métodos multicritérios (CERTO,2010; DWEIRI et al., 2016).

No contexto desse projeto de pesquisa, estuda-se a integração da simulação computacional com métodos multicritérios, visando o apoio a tomada de decisão para escolha de cenários futuros. Espera-se que a revisão bibliográfica e as discussões

apresentadas evidenciem, além da complexidade do tema, o benefício da integração das ferramentas para o apoio a tomada de decisão.

3.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Em planejamento de sistemas produtivos complexos é comum surgir problemas de dimensionamento, onde é necessário descobrir quantidades ideais de insumos, pessoas, máquinas e analisar o melhor fluxo e leiaute, visando um sistema eficiente. Em busca desse aperfeiçoamento a simulação computacional vem sendo utilizada como uma ferramenta de tomada de decisão, onde com sua ajuda é possível analisar movimentação de materiais, identificar gargalos em linha de fabricação, determinar fluxos logísticos, escolher maquinários de acordo com a capacidade produtiva, dentro outros. A simulação se torna útil pois, o tomador de decisão consegue verificar e solucionar problemas de todos esses sistemas juntos, permitindo uma melhor performance global (PRADO, 2010; FREITAS, 2001; SANTORO, 2000; PEGDEN, 1995).

Law et al. (1991), reforça essa ideia destacando que a simulação computacional permite que o tomador de decisão faça alterações no sistema produtivo e obtenha uma visão sistêmica dos efeitos gerados. “Se uma mudança ocorre numa estação em particular, o impacto em seu desempenho é previsível. Por outro lado, pode ser difícil, senão impossível, determinar antecipadamente o impacto dessa mudança no desempenho do sistema”.

Pegden (1995), também cita a simulação como uma ferramenta de apoio bastante utilizada por tomadores de decisão em sistemas complexos. Segundo o autor, ela vem sendo utilizada por engenheiros, designers e gestores para solucionar problemas em grandes organizações. Para o autor sua aceitação é crescente pois, permite implementação de soluções com profundidade adequada a complexidade do problema, tornando-se essencial em ambientes cada vez mais sofisticados.

Para Freitas (2001), algumas das razões para a aceitação da simulação como um auxílio na tomada de decisão, são:

- a) A simulação oferece um nível melhor de detalhamento;
- b) Viabilidade financeira, o custo da simulação favorece sua utilização;
- c) Os resultados gerados pelo modelo são próximos da realidade.

Harrel et al. (2010) e Freitas (2001), afirmam que um dos fatores que fazem com que a simulação se destaque no ambiente produtivo é justamente o fato de permitir inúmeros testes sem perturbar o sistema real, uma vez que esses testes ocorrem no sistema virtual.

3.2.1 Definição de Simulação

São muitas as definições de simulação, uma das mais completas é a apresentada por Pegden (1995), que define simulação como: “o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”.

Para Freitas o conceito de simulação é apresentado da seguinte forma:

“A simulação computacional de sistemas, ou simplesmente simulação, consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, as quais permitem imitar o funcionamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo (sistema) do mundo real” (FREITAS, 2001).

Para Prado (2010), a simulação é “uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital”

Pritsker (1986), conceitua a simulação de sistemas como “processo de se construir um modelo lógico matemático de um sistema real e de experimentá-lo, normalmente com auxílio de um computador”, permitindo realizar experimentos antes de construir um sistema ou perturbar o sistema já existente.

Isto posto, percebe-se que é vital a simulação imitar o comportamento do processo real possibilitando o entendimento do sistema e a realização de melhorias sem precisar comprometer o sistema real.

Vantagens e Desvantagens da Simulação

Embora haja uma grande aceitação da simulação como apoio a tomada de decisão, é preciso considerar algumas vantagens e desvantagens de utilizá-la. A seguir serão apresentadas algumas destas vantagens e desvantagens baseadas nos autores Freitas (2001), Prado (2010), Branks (2001).

Os autores apresentam como vantagens:

- Após se criar um modelo, ele pode ser utilizado várias vezes para análise de projetos e propostas.
- Em comparação a outros métodos analíticos a simulação é relativamente mais fácil.
- As simulações podem ser extremamente detalhadas, permitindo a verificação de consequências nos sistemas reais sem perturbá-los.
- Hipóteses de “o que aconteceria se....? ”, podem ser testadas.
- Permite enxergar quais variáveis interferem mais na performance e como elas interagem entre si e entre outras variáveis do sistema.
- Ajuda na identificação de gargalos de forma simples e visual.
- O tempo da simulação pode ser acelerada ou passar de forma mais lenta, ajudando na identificação de problemas.
- Através do modelo é possível verificar como o sistema realmente opera, e as vezes, ele se mostra diferente do que todos imaginavam.
- Permite testar sistemas que ainda não existem, economizando tempo e dinheiro.

Apesar dos autores citarem bastante vantagens, eles apontam também as seguintes desvantagens da utilização da simulação;

- a) Em sistemas muito complexos, a modelagem e simulação podem consumir muitos recursos.
- b) Necessidade de treinamento para o entendimento da ferramenta.
- c) Dificuldade na interpretação dos diferentes cenários apresentados pela ferramenta.

Modelos de Simulação

De acordo com Freitas (2001) uma das principais etapas da simulação é a modelagem do sistema para que se possa entendê-lo e analisá-lo. Para o autor a modelagem requer certo grau de abstração, a fim de simplificar sistemas muito complexos. A descrição do sistema em relações matemáticas ou lógicas constitui o que se denomina modelos. Branks (2001), complementa que é o grau de aderência de um modelo à realidade que determina se ele é bom ou ruim, ou seja, quanto mais o modelo conseguir representar a realidade, melhor será.

O modelo da simulação é utilizado como ponte para a experimentação. Para Medina (2006), embora o modelo seja uma simplificação, ele deve se aproximar da realidade. Chwif (2006), argumenta que o modelo de simulação é utilizado para obter resposta do tipo: “O que ocorre se....? ”.

Na Figura 5 é representada interação entre o sistema real e o modelo de simulação.

Figura 5 - Modelo Computacional



Fonte: Freitas., 2001.

Segundo Chwif (2006), é importante para um tomador de decisão saber que a simulação vai se comportar de acordo com os dados de entrada do modelo, por isso é importante se certificar que os dados estão de acordo com a realidade, caso contrário a simulação não representará o sistema real. Para o autor, por mais que a simulação possa identificar a solução ótima de um problema ela não é por si só uma ferramenta de otimização, podendo então ser combinada com algoritmos de otimização.

O modelo é utilizado para realizar experimentações de tentativa e erro, observa-se seu comportamento a fim de estudar determinadas condições do sistema. A forma de modelagem depende das características e complexidade do sistema em questão, tratando-se de um sistema complexo, a simulação é a melhor alternativa. (CHWIF, 2006).

Segundo Freitas (2001), os modelos de simulação são caracterizados de acordo com o tipo de decisão que se quer alcançar:

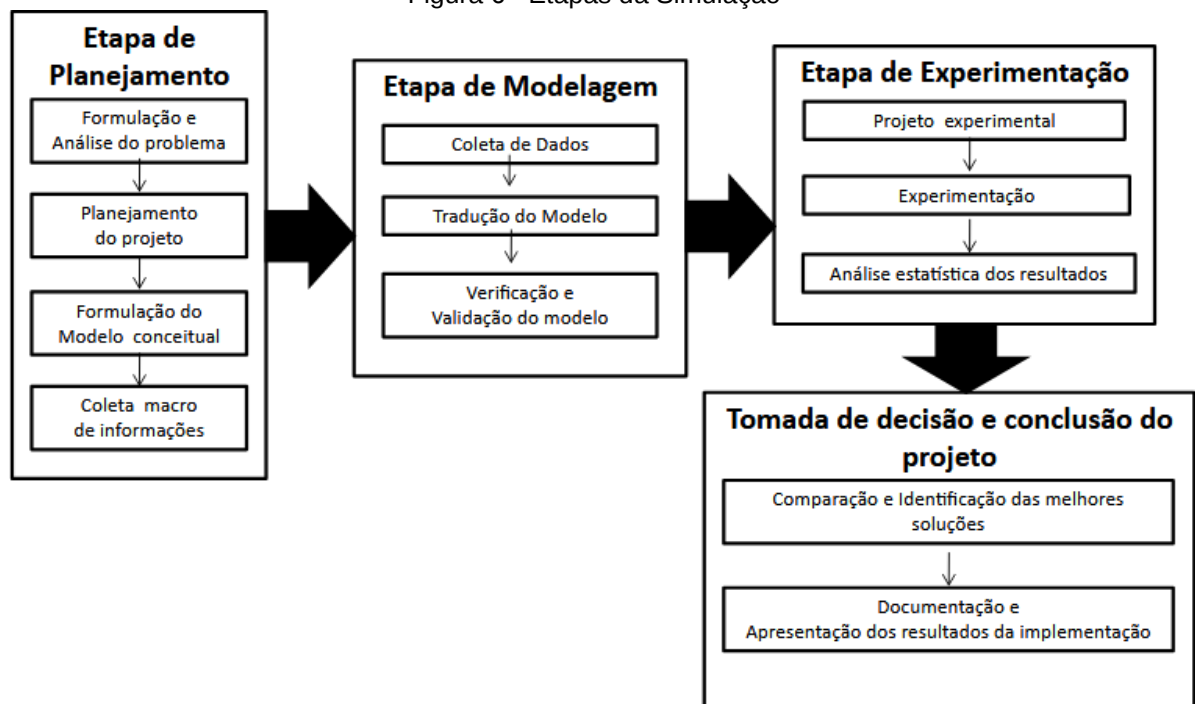
- a) Modelos Voltados à Previsão: utilizados para prever como um determinado sistema se comportará em um ponto específico do futuro baseado no estado atual.
- b) Modelos Voltados à Investigação: utilizados para gerar hipóteses sobre o comportamento do sistema.
- c) Modelos Voltados à Comparação: compara diferentes cenários de simulação a fim de identificar os efeitos causados nas variáveis de controle.
- d) Modelos discretos: as variáveis só mudam em pontos específicos.
- e) Modelos contínuos: são aqueles onde as variáveis mudam ao decorrer do tempo.
- f) Modelos específicos: são modelos construídos para atender um único projeto, necessidade.
- g) Modelos genéricos: são flexíveis e podem ser utilizados outras vezes, caso necessitem de outras mudanças de cenário.

O presente trabalho utilizará o modelo voltado a comparação com variáveis discretas, pois se deseja comparar diferentes cenários em busca da solução ideal.

Etapas de Simulação

Com o propósito de facilitar o processo de simulação, alguns autores esquematizaram as etapas que envolvem esse processo. Um modelo clássico da simulação é o modelo apresentado na Figura 6, desenvolvido por Freitas (2001), o qual contém 4 etapas macro. O presente trabalho seguiu as etapas de construção da simulação indicada nesse modelo.

Figura 6 - Etapas da Simulação



Fonte: Freitas, 2001.

3.2.4.1 Etapa de Planejamento

- a) Na Formulação e análise do problema: deve-se definir quais os propósitos e objetivos do estudo. Freitas (2001), sugere nessa etapa identificar o problema, analisar quais as repostas se deseja alcançar e quais os critérios serão utilizados para avaliar a performance do sistema.
- b) O Planejamento do Projeto: é realizado para assegurar que durante o percorrer do projeto haja recursos suficientes para terminá-lo. Nessa etapa, também deve ser feita o detalhamento dos cenários que se deseja investigar, assim como um cronograma das atividades.
- c) Formulação do Modelo Conceitual: para começar a entender como o sistema funciona, inicia-se um esboço em forma de fluxograma, assim é possível compreender a relação entre todas as variáveis do sistema. Freitas (2001), recomenda que o modelo inicie de forma simples e aumente sua complexidade aos poucos até contemplar todas as características necessárias. Nessa etapa é importante a ajuda de uma pessoa que entenda bem do sistema.

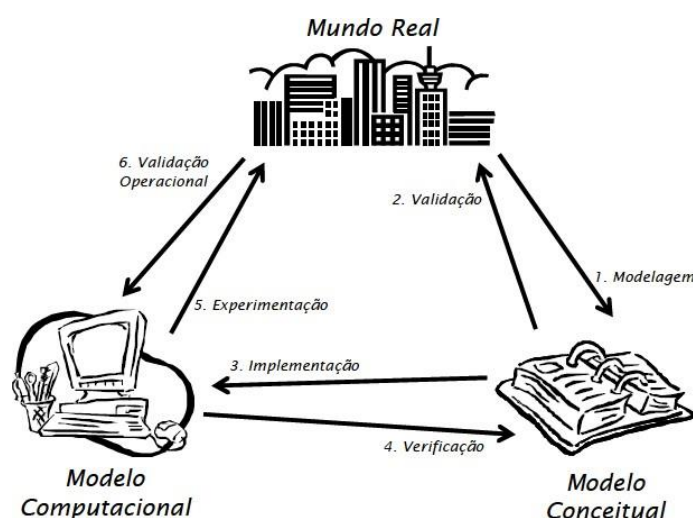
O autor sugere que algumas respostas sejam respondidas nessa etapa como:

- Qual o nível de detalhamento se quer atingir com o modelo?
 - As variáveis do sistema são contínuas ou discretas?
 - Deseja-se com o produto final uma animação, um relatório ou os dois?
 - Os dados serão incorporados ao modelo manualmente ou em formato de arquivo?
- d) Coleta Macro de Informações: de acordo com Freitas as informações podem ser obtidas de 3 maneiras: através de observações diretamente do sistema; por arquivos históricos ou por entrevistas com pessoas que conhecem bem o sistema.

3.2.4.2 Etapa de Modelagem

- a) Coleta de Dados: inicia-se avaliando quais as variáveis de entradas mais adequadas serão utilizadas na simulação.
- b) Tradução do Modelo: trata-se da tradução do modelo conceitual para o modelo computacional.
- c) Verificação e Validação do Modelo (Figura 7): a etapa de verificação consiste em analisar se o modelo computacional funciona de acordo com o modelo conceitual construído, ou seja, se a implementação do modelo conceitual foi realizada de maneira correta. Já etapa de validação está relacionada com o que será modelado, ou seja, se o modelo desenvolvido funciona de acordo com o sistema real.

Figura 7 - Conceito de verificação e validação do modelo



Fonte: Freitas, 2001.

3.2.4.3 Etapa de Experimentação

- a) Projeto Experimental: realizar experimentos a fim de encontrar as informações desejadas.
- b) Experimentação: executar a simulação para a geração de dados e posterior análise de sensibilidade.
- c) Interpretação e Análise Estatística dos Resultados: Após a interpretação e análise dos resultados deve-se avaliar a necessidade ou não de novos experimentos a fim de alcançar o resultado do estudo.

3.2.4.4 Tomada de Decisão e Conclusão do Projeto

- a) Comparação e Identificação das Melhores Soluções: comparar todas as ideias simuladas a fim de encontrar a alternativa mais adequada.
- b) Documentação Apresentação dos Resultados e Implementação: de acordo Banks (2001), a documentação é uma etapa importante no processo de simulação. Ela serve de guia para qualquer analista caso futuras atualizações sejam necessárias no modelo.

Freitas (2001), aconselha identificar os motivos das alternativas rejeitadas e os benefícios obtidos com as soluções proposta, identificando quais problemas foram resolvidos.

É importante mostrar nessa etapa que a simulação é um elo entre a ideia inicial e a implementação, e caso não seja validada corretamente pode gerar uma implementação cara e não satisfatória (FREITAS, 2001; BRANKS, 2001).

3.2.5 Considerações Parciais

A simulação computacional é uma ferramenta que permite tomadores de decisões criarem e testarem situações distintas de maneira segura através de testes. Isso permite que as organizações avaliem de forma antecipada as possíveis consequências das mudanças, sejam elas positivas ou negativas.

Visto que tomar decisões apenas de maneira empírica, as vezes pode ser muito arriscado e custar caro para a empresa, a simulação pode auxiliar a mitigar erros, permitindo que os tomadores de decisões conheçam melhor os impactos das

mudanças evitando imprevisibilidade nos resultados. A ferramenta, portanto, pode evitar gastos inesperados com erros e retrabalhos.

Visto os inúmeros benefícios da ferramenta as organizações estão cada vez mais adquirindo softwares de simulação, os quais estão mais completos, de fácil utilização e que podem ser integrados aos sistemas da organização.

Apesar dos benefícios apresentados as organizações ainda enfrentam alguns desafios na hora de trabalhar com a ferramenta. A grande questão, portanto, não é sobre a relevância da ferramenta, que se mostra cada vez mais capaz de maximizar resultados, mas sim de como utilizá-la de forma mais eficaz.

Nesse contexto, o presente estudo prevê a integração da simulação com métodos de apoio a tomada de decisão a fim de mitigar alguns desafios encontrados na hora de trabalhar com a ferramenta.

3.3 MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO A TOMADA DE DECISÃO

Os métodos de apoio a tomada de decisão por múltiplos critérios (MCDM - *Multiple Criteria Decision Making*), é um assunto bastante abordado na Engenharia de Produção, principalmente na área de Pesquisa Operacional. Um problema multicritérios, significa que pelo menos duas alternativas estão contidas na situação e a escolha entre uma delas requer a avaliação de múltiplos objetivos que na maioria das vezes são conflitantes. A tomada de decisão é inerente em todo ambiente seja ele familiar ou empresarial, e os métodos multicritérios, portanto, podem auxiliar tomadores de decisão em problemas com múltiplos objetivos. Apesar de existirem diversos estudos sobre esses métodos, ainda não se tem um melhor método para uma determinada situação, pois cada um deles possuem vantagens e desvantagens dependendo do contexto, problema e racionalidade requerida (GUGLIELMETTI, 2013).

Além disso, muitos dos métodos multicritérios apresentam modelos matemáticos que acabam assustando possíveis usuários da metodologia, onde por falta de tempo e familiaridade como a metodologia, muitos tomadores de decisão acabavam por optar em tomar as decisões por feeling por deduzirem que esses métodos seriam demorados e difíceis de se aplicarem. Essa realidade, porém, vem mudando com o auxílio da tecnologia. Atualmente já existem vários softwares com

interfaces amigáveis capazes de auxiliar a aplicação de algumas dessas metodologias (GUGLIELMETTI, 2013; ALMEIDA, 2011).

Os primeiros métodos de apoio a tomada de decisão surgiram por volta da década de 70, visando auxiliar tomadores de decisão a enfrentar situações com racionalidade, ou seja, resolver um problema levando em consideração vários objetivos de forma simultânea (GOMES et al., 2007). Apesar de existirem diversos métodos expostos na literatura como apoio a tomada de decisão multicritérios, neste trabalho serão abordados apenas dois desses métodos: AHP (Analytic Hierarchy Process) e PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment). De forma geral, todos eles apresentam a seguinte estrutura: determinar quais são os critérios e as alternativas; acrescentar pesos a fim de verificar a importância dos critérios e seu impacto nas alternativas; e por fim ranquear as alternativas (Triantaphyllou, 1995).

Segundo Brioso et al. (2015), a grande vantagem da utilização dos métodos multicritérios para tomada de decisão se dá ao fato que na maioria das vezes não existem uma alternativa que seja ótima sob todos critérios de avaliação, assim, esses métodos podem selecionar a melhor opção possível.

Dessa forma, o presente trabalho visa aplicar esses métodos de forma integrada com a simulação computacional, com o intuito de proporcionar maior robustez na escolha de cenários futuros.

3.3.1 AHP - Analytic Hierarchy Process

O AHP (Processo de Hierarquia Analítica) é um tipo de programação multicritério desenvolvido na década de 70 por Thomas L. Saaty. Segundo Vargas (1990) o AHP é uma técnica estruturada que auxilia no processo de tomada de decisão e vem sendo utilizada em ambientes complexos, “em que pessoas trabalham em conjunto para tomar decisões e onde percepções humanas, julgamentos e consequências possuem repercussão de longo prazo”.

Triantaphyllou (1995), afirma que essa ferramenta tem chamado a atenção de estudiosos pelas propriedades matemáticas e a simplicidade com que se obtém a entrada dos dados. Vargas (1990), completa mencionando que essa simplicidade é devida a comparação para a par das alternativas de acordo com os critérios estabelecidos.

Através do método AHP é possível decompor um problema de forma hierarquizada de critérios o que permite uma comparação e análise mais simples. A partir da criação da hierarquia os tomadores de decisão conseguem avaliar todas as alternativas mediante comparação aos pares dentro de cada critério. Essa comparação pode ser realizada por meio de dados concretos ou opiniões pessoais dos tomadores de decisão, ou seja, o AHP consegue transformar comparações empíricas em valores numéricos, permitindo a avaliação através de pesos atribuídos a elas. A capacidade de transformar dados empíricos em matemáticos é o grande diferencial do AHP em relação a outros métodos comparativos. (SAATY, 2008).

Hierarquia

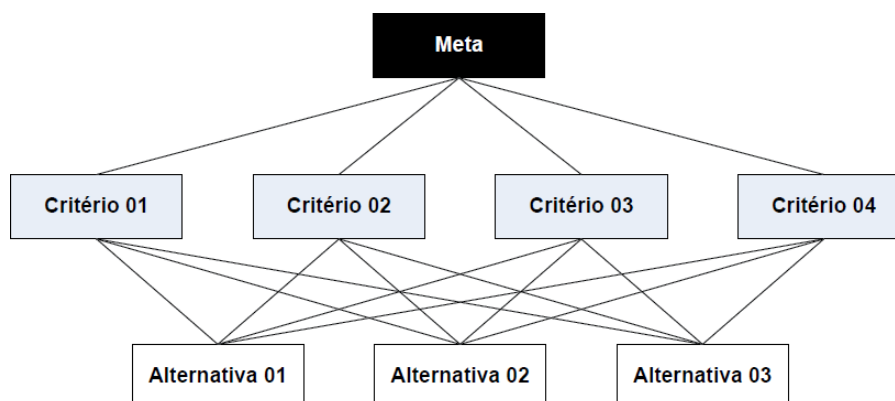
Como visto anteriormente, o método AHP fragmenta um problema complexo em partes menores, possibilitando a avaliação da importância de cada parte individualmente e também a sua importância na decisão global. Visto isso, o presente trabalho irá citar as características e importância da hierarquia dentro do método AHP.

Saaty (1980), conceitua a hierarquia como “abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total”. Segundo o autor, essa abstração partirá sempre de um objetivo geral se desdobrando em subobjetivos que por sua vez se desdobram em “forças influentes e até nas pessoas que influenciam essas forças.”. O autor cita que é necessário entender como estruturar hierarquicamente um problema (Figura 8) e como medir os impactos de cada elemento na hierarquia.

Para facilitar a criação da estrutura hierárquica o autor apresenta alguns passos:

- a) Identificar o objetivo geral e os subobjetivos do problema;
- b) Identificar quais critérios devem ser satisfeitos para atender o objetivo e subobjetivos;
- c) Identificar os subcritérios abaixo de cada critério;
- d) Identificar agentes envolvidos, assim como seus objetivos e políticas;
- e) Identificar os resultados possíveis;
- f) Em casos de respostas sim/não identificar os benefícios e custo de não se fazer a ação;
- g) Identificar qual a melhor alternativa, a mais cara, a mais arriscada.

Figura 8 – Hierarquia de critérios/objetivos



Fonte: Saaty, 1980.

A hierarquia deve ser bem construída a fim de representar a realidade do problema. A vantagem de se utilizar a hierarquia no modelo é ter uma visão de como os critérios se relacionam entre si, permitindo uma visão global do sistema. Apesar disso, a hierarquia por si só não é tão eficiente no apoio a tomada de decisão, além de identificar as relações entre os elementos do sistema é preciso computar a intensidade dessas relações (SAATY, 1980).

Grandzol (2005) relata que no AHP essa diferenciação entre os elementos da hierarquia é feita atribuindo pesos relativos através de comparações aos pares entre dois elementos que possuem o mesmo pai.

Uma matriz quadrada representa a comparação de todos esses elementos, onde deve-se julgar se o elemento da primeira coluna é dominante ao elemento da primeira linha (SAATY, 1987). Essa comparação pode ser feita de diferentes formas (TRANTAPHYLLOU, 2017), porém a escala recomendada por Satty (1987) é a mais utilizada. Nela se atribui valores de 1 a 9, onde a escala determina dominância de uma alternativa com a outra (VARGAS, 1990).

A lógica utilizada é determinar qual dos dois elementos é dominante em relação ao outro de acordo com um critério de nível superior e definir a intensidade utilizando a Tabela 2. O elemento dominante sempre receberá um número inteiro de acordo com a escala, já o menos importante receberá o inverso desse valor (VARGAS, 1990).

Tabela 2 - Comparações do AHP

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Fonte: Saaty, 1979.

Aplicação do Método

Chan et al. (2000) e Saaty (1991) recomendam algumas fases para a aplicação do AHP:

- Definir qual é o problema e que tipo de conhecimento se deseja encontrar: segundo os autores ao definir o problema deve-se levar em consideração todas as partes envolvidas e deixar claro todos os pressupostos e perspectivas.
- Construir a hierarquia das decisões: desdobrar o problema geral até seu último nível. É necessário criar um modelo que reúna todos os critérios e

alternativas relevantes. De acordo com Russo (2017), “A hierarquia de decisão deve ser suficientemente extensa para incluir as principais preocupações dos tomadores de decisão e suficientemente pequenas para permitir mudanças oportunas.” Para Chan (2000), é importante que se certifique a consistência das relações.

- c) Construir a matriz de comparação paritária: Segundo Saaty (1980), deve-se construir uma matriz para cada critério no nível superior. De acordo com Chan (2000), “em hierarquias mais simples, todos os elementos do nível inferior afetam os do nível superior. Já em hierarquias mais complexas os elementos dos níveis inferiores afetam somente alguns elementos superiores, é necessário então a criação de uma matriz única.
- d) Realizar julgamentos para finalizar a matriz: De acordo com Saaty (1980), “são necessários $n(n - 1) / 2$ julgamentos para uma matriz $n \times n$, sendo n o número de linhas e colunas. O analista ou grupo participante julga se A domina o elemento B. Se afirmativo, inserir o número na célula da linha de A com a coluna de B. A posição coluna A com linha B terá o valor recíproco. Assim prossegue-se o preenchimento da matriz”.
- e) Calcular o índice de consistência da matriz: a intenção é verificar se os tomadores de decisão foram sensatos ao definir suas prioridades (TEKNOMO, 2006).

Figura 9 - Exemplo de Matriz Comparação

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Fonte: Saaty, 1980.

A matriz de comparação (Figura 9) é dada pela comparação par a par dos elementos i e j (a_{ij}). As posições da diagonal sempre serão 1, pois um elemento é sempre comparado com ele mesmo nessa posição, já a parte inferior esquerda da matriz será o inverso da parte superior direita (OLIVEIRA, 2013).

Pode-se então determinar uma escala de prioridades através do autovetor (W) da matriz de comparação A . Para isso, deve-se dividir os elementos de cada coluna

de A, pela soma daquela coluna, e então fazer a média das linhas resultantes (SAATY, 1991).

De acordo com Oliveira (2013), “ O autovetor W representa, dessa forma, a importância relativa de cada elemento analisado”.

Para que os dados representem a realidade, a matriz W deve apresentar consistência. Visto isso, deve-se calcular o índice de consistência dos julgamentos. Saaty (1980), propõem os seguintes passos para calcular o índice de consistência:

- a) Multiplicar a matriz A pelo autovetor W gerando a matriz W’;
- b) Dividir o primeiro elemento da matriz W’ pelo primeiro elemento da matriz W. Dividir o segundo componente da matriz W’ pelo segundo componente da matriz W. De acordo com Oliveira (2013), deve-se repetir para os outros elementos das matrizes “até obter um terceiro vetor coluna, cuja soma deve ser dividida pelo número de componentes comparados (n). O valor resultante é chamado de autovalor máximo” ($\lambda_{\text{máx.}}$).
- c) Calcular o Índice de consistência (IC) dado pela seguinte fórmula:

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (1)$$

Onde n a quantidade de critérios avaliados.

- d) Calcular a razão de consistência (RC) dada pela seguinte fórmula:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Onde IR representa um índice Randômico.

Saaty (1991), propõe uma tabela de IR para matrizes de comparações de ordem 1 a 15, as quais foram calculadas em laboratório. Os valores de IR estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Índice Randômico Médio do AHP

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Fonte: Saaty, 1991.

A matriz será consistente se apresentar RC menor que 0,10. Caso a matriz não seja consistente o tomador de decisão deve revisar suas comparações e refazer os julgamentos (SAATY, 1991; MAGALHÃES, 2001).

- e) Analisar as matrizes para determinar as prioridades globais e locais. Deve-se então comparar as alternativas e escolher a que apresentar o melhor resultado.

3.3.4 PROMETHEE - Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation

O PROMETHEE é um método de apoio a tomada de decisão que compara as alternativas aos pares. Bem consolidado, esse método auxilia a avaliação de critérios e alternativas, proporcionando um ranqueamento das mesmas. Assim como o AHP, o PROMETHEE também realiza uma comparação paritária, indicando o desempenho de cada alternativa para determinado critério (POHEKAR et al., 2013). Segundo BOGDANOVIC et al. (2011), o grande diferencial da ferramenta é a sua simplicidade e capacidade de sintetizar as preferências em cima de problemas com múltiplos critérios contraditórios entre si.

O PROMETHEE apresenta derivações denominadas, II, III, IV, V, VI e GAIA.

- a) PROMETHEE I – Realiza uma ordenação parcial das alternativas.
- b) PROMETHEE II - Realiza uma ordenação completa das alternativas.
- c) PROMETHEE III - Realiza uma ordenação completa das alternativas, através de intervalos de preferência.
- d) PROMETHEE IV – Realiza uma ordenação completa ou parcial das alternativas, comportando infinitas alternativas.
- e) PROMETHEE V - Extensão do PROMETHEE II, aplicado em situações onde não é possível estabelecer valores fixos nos pesos dos critérios.
- f) PROMETHEE GAIA - Extensão do PROMETHEE, através de um procedimento visual e interativo (Almeida, 2002).

Aplicação do Método

Os passos para a aplicação da metodologia PROMETHEE é descrita por Behzadian et al. (2010) em cinco etapas:

- a. Definir desvios através das comparações paritárias;

A estrutura de avaliação é feita pela matriz dos critérios x alternativas, onde a análise é realizada através da avaliação de preferências com base em uma tabela de importância. Matriz elaborada devem apresentar critérios e alternativas que explorem o problema a ser resolvido, além disso, deve-se definir quais os critérios são de minimização e maximização, assim como seus pesos.

- b. Aplicar a função de preferência para cada critério, onde define-se a intensidade de preferência de uma alternativa em relação a outra. A função de preferência demonstra a forma como a preferência do tomador de decisão muda de acordo com a diferença entre o nível de desempenho de duas alternativas em uma mesmo critério, $g_j(a) - g_j(b)$, onde $g_j(a)$ representa o desempenho da alternativa a no critério j (ALMEIDA et al., 2002).

Nessa etapa é necessário aplicar uma função de preferência para cada critério. Há seis tipos de funções de preferências generalizadas (Tabela 4), onde deve-se escolher qual se adapta melhor a realidade do problema.

A Tabela 4, pode-se notar que a função de preferência mostra a intensidade de uma alternativa a sobre a b em no critério J . Apenas na função Usual $P_j(a,b)$ assume o valor de 0 ou 1, nas demais podem assumir valores de $[0,1]$.

Tabela 4 – Funções de preferência.

Usual	$g_j(a) - g_j(b) > 0$ $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	$P_j(a, b) = 1$ $P_j(a, b) = 0$
Formato U	$g_j(a) - g_j(b) > q$ $g_j(a) - g_j(b) \leq q$	$P_j(a, b) = 1$ $P_j(a, b) = 0$
Formato V	$g_j(a) - g_j(b) > p$ $g_j(a) - g_j(b) \leq p$ $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	$P_j(a, b) = 1$ $P_j(a, b) = [g_j(a) - g_j(b)] / p$ $P_j(a, b) = 0$
Níveis	$ g_j(a) - g_j(b) > p$ $q < g_j(a) - g_j(b) \leq p$ $ g_j(a) - g_j(b) \leq q$	$P_j(a, b) = 1$ $P_j(a, b) = 1/2$ $P_j(a, b) = 0$
Linear	$ g_j(a) - g_j(b) > p$ $q < g_j(a) - g_j(b) \leq p$ $ g_j(a) - g_j(b) \leq q$	$P_j(a, b) = 1$ $P_j(a, b) = [g_j(a) - g_j(b) - q] / (p - q)$ $P_j(a, b) = 0$
Gaussiana	$g_j(a) - g_j(b) > 0$ $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	A preferência aumenta conforme uma distribuição normal

Fonte: Almeida et. al, 2002.

- c. Calcular o índice de preferência para cada par de alternativa: é feito através da junção das intensidades de preferências estipuladas para todos os critérios, relacionado ao respectivo par de alternativas.
- d. Calcular os fluxos de ordenação;
- e. Calcular o fluxo líquido de ordenação.

O fluxo de ordenação, refere-se aos cálculos que analisam se e o quanto uma alternativa é superior as demais. Para isso é necessário calcular:

$$\Pi(a, b) = \sum_{j=1}^n w_j * P_{j(a,b)} \quad (3)$$

Onde:

$\Pi(a, b)$ = é o grau de preferência da alternativa a em relação a b , para todos os critérios;

w_j = Peso do critério j ($j = 1, 2, \dots, n$);

$P_j(a, b)$ = Função de preferência.

A Função de preferência, que está relacionada a cada critério, assume valores de 0 e 1, mostrando a preferência entre as alternativas. Após calculado o grau de preferência é necessário calcular o fluxo de preferência, que pode ser positivo ($\emptyset+$) ou negativo ($\emptyset-$). Esse fluxo demonstra o quanto uma alternativa é superior as demais,

ou o quanto ela é inferior as demais. Abaixo é demonstrada a fórmula, onde A representa o conjunto de alternativas possíveis.

$$\emptyset^+ = \frac{1}{n-1} * \sum_{b \in A^*} \Pi(a, b) \quad (4)$$

$$\emptyset^- = \frac{1}{n-1} * \sum_{b \in A^*} \Pi(b, a) \quad (5)$$

O fluxo líquido é dado por:

$$\emptyset(a) = \emptyset^+(a) - \emptyset^-(a) \quad (6)$$

Quanto maior o fluxo líquido, melhor será a alternativa.

Vale ressaltar que apesar da ferramenta fornecer uma modelagem interessante para a tomada de decisão, podendo incorporar em suas análises incertezas, para que o método funcione é necessário que o tomador de decisão atribua pesos para os critérios. Isso torna o PROMETHEE um pouco mais complexo que o AHP, e em muitos casos a abordagem necessita de um especialista para ser aplicado (Almeida, 2002).

3.4 INTEGRAÇÃO SIMULAÇÃO – MÉTODOS MULTICRITÉRIO

Esta seção dedica-se a apresentar os benefícios gerados pelo uso da integração entre simulação e métodos multicritérios.

A simulação vem sendo largamente utilizada como ferramenta de análise em sistemas produtivos, onde é possível dimensionar a utilização de recursos, *lead-time*, estoques. Porém, para a tomada de decisão é necessário definir qual a medida de desempenho que os gestores querem seguir e essas preferências muitas vezes diferem muito de pessoa para pessoa. Dessa forma, é necessário a utilização de uma ferramenta capaz de completar a análise fornecida pela simulação levando em consideração dados qualitativos (XU, 2017).

Na perspectiva da simulação, métodos multicritérios conseguem proporcionar o direcionamento da escolha de cenário a serem simulados. De acordo com Tuominen (1999), através desses métodos é possível determinar quais as variáveis mais importantes que devem ser incorporadas no modelo. Segundo o autor “os critérios essenciais e seus pesos relativos podem então ser usados como ponto de partida na

fase de formulação do modelo de simulação”. Dessa forma, as variáveis, restrições e objetivos da empresa estarão relacionados ao problema, ajudando a encontrar a solução mais eficiente para a simulação.

Pensando no ponto de vista dos métodos multicritérios, Tuominen (1999), afirma que a simulação “fornece dinâmicas de longo prazo para o procedimento de avaliação”, pois normalmente esses métodos baseiam-se em avaliações subjetivas e a simulação fornece uma base mais tangível, uma vez que é possível transformar avaliações pessoais em cálculos quantitativos. Além disso, a simulação também pode expor comportamentos imprevisíveis do sistema e que, portanto, não foram considerados.

O uso conjunto da simulação com outras metodologias de tomada de decisão vem sendo estudado por diversos autores. A Tabela 5, mostra alguns trabalhos já publicados na literatura que utilizam a integração de métodos de apoio a tomada de decisão e que apresentaram bons resultados no alcance dos objetivos propostos. Os autores apontam que o uso conjunto da simulação com outros métodos complementa o estudo auxiliando a tomada de decisão de maneira mais completa.

Essa abordagem vem sendo utilizada em diferentes áreas e para tratar inúmeros assuntos como definição de layouts, política de manutenção, problemas de filas, atrasos em entregas, seleção de fornecedores dentre outros.

As literaturas também apresentam diferentes métodos utilizados em conjunto com a simulação como o AHP onde os autores (AZADEH et al., 2011) utilizaram os métodos Fuzzy AHP, TOPSIS e simulação para encontrar o melhor layout para uma célula de manufatura. Em outro projeto os autores, Azadeh (2008), também utilizaram a integração das três ferramentas para encontrar o melhor cenário capaz de aperfeiçoar o planejamento da manutenção. Salehi et al. (2016) também utilizou a mesma metodologia para determinar o número ideal de operadores e a medição mais eficiente das atribuições dos operadores dentro de uma célula de manufatura.

Já Xu (2012), Rabelo et al. (2007), Sharma et al. (2009) e Azadeh (2016) integraram o processo de hierarquia analítica (AHP) e a simulação para respectivamente, selecionar um novo design de layout em uma linha de transmissão, aumentar a confiabilidade das decisões, encontrar a melhor política de controle da produção e classificar diferentes políticas de manutenção.

A pesquisa exploratória realizada por Alrabghi (2015), que avaliou a integração da simulação com métodos multicritérios, apontou que o Algoritmo Genético foi o

método mais relatado na literatura para esse fim. Autores como Lin (2015), que utilizou o Algoritmo Genético para o aperfeiçoamento de cenários para a simulação, Azadeh (2014), que integrou Algoritmo Genético e Simulação a fim de selecionar fornecedores e Bensmaine (2013), que aplicou a mesma metodologia para gerar planos de produção em demandas de mercados imprevisíveis.

Além das abordagens citadas há uma variedade de métodos que foram integrados a simulação como: Programação Matemática (FRAZZON, 2014); Algoritmos de Otimização Heurística (HILDEBRANDT, 2015), Algoritmo de Estimação de Distribuição (PÉREZ-RODRÍGUEZ et al., 2014). Mapa de Fluxo de valor (ATIEH, 2016); PROMETHEE (LATEEF-UR et al., 2013) e Redes Neurais (AZADEH, 2011).

Tabela 5 - Trabalhos publicados na literatura

Autores	Proposta
Alrabghi et al. (2011)	Apresentam uma pesquisa exploratória a fim de identificar a utilização da simulação para o aperfeiçoamento dos sistemas de manutenção. A pesquisa apresentou que a integração da Simulação com o Algoritmo Genéticos foram os métodos de otimização mais relatados na literatura.
Atieh et al. (2016)	Utilizam o Mapeamento de Fluxo de Valor juntamente com a Simulação Computacional para lidar com atrasos de entrega em uma empresa que fabrica vidros.
Azadeh et al. (2008)	Os autores utilizam de forma integrada os métodos Fuzzy AHP e TOPSIS a fim de encontrar o melhor cenário simulado com o objetivo de aperfeiçoar o planejamento da manutenção, considerando fatores como erro humano e efeitos da aprendizagem.
Azadeh et al. (2011)	Os autores utilizam de forma integrada os métodos Fuzzy AHP e TOPSIS a fim de encontrar o melhor cenário de layout simulado em um sistema de manufatura.
Azadeh* et al. (2011)	Utilizam a Simulação Computacional juntamente com Redes Neurais Artificiais para aperfeiçoar a performance de sistemas complexos de filas.
Azadeh et al. (2014)	Os autores trabalham de forma integrada com as ferramentas Algoritmo Genético e Simulação para selecionar fornecedores e novas instalações, para reduzir o tempo de entrega e custo final de produção.
Azadeh* et al (2016)	Utilizam uma abordagem MCDM baseada em distâncias difusas de AHP para lidar com o problema de classificar diferentes políticas de manutenção. O AHP foi empregado para calcular os pesos dos critérios, posteriormente, uma abordagem MCDM difusa baseada em distância foi implantada para classificar as políticas de manutenção e selecionar a mais adequada. A simulação computacional foi utilizada para testar os resultados.
Bensmaine et al. (2013)	Realizam a integração entre Simulação e Algoritmo Genético para gerar planos de produção em demandas de mercados imprevisíveis.

Frazzon et al. (2014)	Utilizam a Programação Matemática e Análise de Sensibilidade baseada em simulação, na tentativa de minimizar os custos totais com o planejamento operacional dentro de uma cadeia de suprimento de peças de reposição.
Hildebrandt et al. (2015)	Utilizam a Simulação juntamente com Algoritmos de Otimização Heurística para tentar minimizar o tempo de ciclo médio dos lotes de produção.
Lateef-Ur et al. (2013)	Realizam uma abordagem híbrida de Simulação com método multicritério PROMETHEE a fim de selecionar a melhor configuração para um sistema de manufatura.
Lin et al. (2015)	Os autores utilizam o Algoritmo Genético na análise de cenários para o aperfeiçoamento da simulação dentro de uma fábrica de semicondutores.
Pérez-Rodríguez et al. (2014)	Aplicam a Simulação Computacional em conjunto com Algoritmo de Estimação de Distribuição para gerar programações de produção com um número reduzido de WIP.
Rabelo et al. (2007)	Aborda a integração da metodologia AHP com Dinâmica de Sistemas e a Simulação, permitindo que os tomadores de decisão possam levar em consideração avaliações qualitativas visando com isso aumentar a confiabilidade das decisões.
Salehi et al. (2016)	Utiliza uma abordagem de tomada de decisão baseada na integração de três ferramentas Fuzzy AHP, TOPSIS e Simulação Computacional para determinar o número ideal de operadores e a medição mais eficiente das atribuições dos operadores dentro de um célula de manufatura.
Sharma et al. (2009)	Apresentam a integração entre os métodos AHP e Simulação Computacional a fim de encontrar a melhor política de controle da produção.
Xie et al. (2015)	Realizam uma pesquisa exploratória a respeito da integração de diferentes abordagens heurísticas com a simulação computacional, concluindo que a utilização de métodos híbridos de simulação e programação matemática são de grande interesse para lidar com questões de incerteza e limitações dos modelos de simulação.
Xu et al. (2012)	Os autores apresentam um estudo de simulação integrado ao processo de hierarquia analítica (AHP), aplicado em uma fábrica automotiva coreana. A fim de determinar um novo design do layout para uma linha de transmissão, várias alternativas foram desenvolvidas e medidas de desempenho foram obtidas pelos experimentos de simulação. Em seguida, quatro critérios e sete alternativas foram selecionados para determinar o layout final design usando AHP.

Fonte: A autora, 2020.

3.4.1 Considerações Parciais

Visto os benefícios apresentados na literatura sobre a integração da simulação com MCDM, o presente estudo traz a combinação da simulação com as ferramentas AHP e PROMETHEE. A estrutura proposta ainda utiliza indicadores de desempenho como critério para a avaliação de cenários futuros.

Os indicadores de desempenho selecionados nesse estudo são baseados nos indicadores do GRI (*Global Reporting Initiative*). Por possuir uma abordagem ampla, os indicadores propostos pela Diretriz GRI será analisado e selecionado através do AHP, servindo posteriormente como critério avaliativo no método PROMETHEE.

3.5 GRI – GLOBAL REPORTING INITIATIVE

O presente estudo utiliza o GRI como um documento orientativo capaz de alimentar o contexto de sustentabilidade. Suas diretrizes e indicadores servem de input de informações e são conectadas aos demais documentos da empresa com o intuito de alcançar resultados mais consistentes, abrangentes e estratégicos para a abordagem proposta.

Os indicadores de desempenho GRI, organizados por categorias, abordam aspectos relacionados a sustentabilidade, intencionando um equilíbrio entre o desempenho econômico, social e ambiental. Essa análise abrangente junto com a crescente adesão internacional ao relatório, permite uma análise da atuação da empresa no decorrer do tempo e a comparabilidade entre as organizações que utilizam as Diretrizes GRI para produzirem e divulgarem seus relatórios de desempenho. (Gasparino, 2006). O fato desses indicadores apresentarem uma abordagem completa da atuação da empresa, uma vez que apresentam informações relacionadas a aspectos econômico, social e ambiental, permite que as ideias de melhorias nos ambientes estudados sejam mais completas e sistêmicas.

Com o crescente aumento das expectativas da sociedade, mundialmente, em relação a adesão dos aspectos socioambientais a estratégias e práticas das organizações, vê-se a necessidade da governança corporativa estabelecer formas de divulgar de maneira sólida e transparente suas práticas, não somente relacionadas a aspectos econômicos mais também os sociais e ambientais aos seus *stakeholders*. Dessa forma, apesar de não serem obrigatórios, em muitos países, houve um aumento na elaboração e publicação de relatórios de sustentabilidade. Nesse contexto, a organização não-governamental e internacional, *Global Reporting Initiative* (GRI), vem ganhando destaque e adeptos da utilização de suas diretrizes para a concepção de relatórios de sustentabilidade (Carvalho et al., 2007; (GASPARINO, 2006).

A GRI foi fundada em 1997, através de uma integração de duas organizações a Ceres (Coalition for *Environmentally Responsible Economies* - Coalizão por Economias Ambientalmente Responsáveis) e do PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente), e tem como objetivo o constante aprimoramento da qualidade, assertividade e aplicabilidade dos relatórios de sustentabilidade. Através do apoio de entidades de diferentes campos de atuação, desde indústrias à ativistas sem fins lucrativos, o GRI tem desenvolvido ao longo dos anos diretrizes para relatórios que visam alcançar a aceitação mundial (INSTITUTO ETHOS, 2007).

Atualmente, esse relatório está na sua quarta versão, G4, lançada em maio de 2013. Em 2017, porém, foi lançado sua primeira atualização, os novos “Padrões da GRI” que teve com objetivo deixar as diretrizes G4 mais flexíveis, a fim de se adaptarem constantemente ao futuro. Com esse intuito, o GRI vem lançando desde então, pequenas atualizações em suas diretrizes através de uma série de eventos globais que visam aprimorar a estrutura G4, auxiliando as empresas a serem cada vez mais transparentes e contribuir para os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU. Até o momento já foram incluídos 3 padrões universais e 33 padrões específicos ao G4 (SGS, 2019).

3.5.1 Diretrizes da GRI

As Diretrizes da GRI é um documento direcionado a elaboração de relatórios de desempenho de uma organização, abrangendo o desempenho econômico, social e ambiental. O documento apresenta uma introdução que demonstra as tendências e benefícios gerados através da adesão dos relatórios de sustentabilidade. Em relação as versões anteriores, as diretrizes G4 tem a materialidade como um critério principal a sua implementação. Esse novo enfoque permite que os relatórios de sustentabilidade evidenciem as metas e gestão dos impactos na sociedade (GRI, 2013).

De acordo com (GRI, 2013), o documento das Diretrizes está dividido em duas partes:

- Princípios para Relato e Conteúdos Padrões, que apresentam os requisitos para aplicabilidade dos relatórios “de acordo” com as Diretrizes;
- Manual de Implementação, que apresenta a forma como as informações deverão ser divulgadas.

Segundo Ethos 2004, as diretrizes do GRI podem ser utilizadas de duas formas, como um referencial informal ou realmente incorporá-las em um nível mais exigente denominado “de acordo com” (Figura 10). Um relatório “de acordo com” pode ainda apresentar duas vertentes: Essencial e Abrangente. A opção Essencial contém apenas os elementos básicos de um relatório de sustentabilidade, já a opção Abrangente, aborda todos os elementos, incluindo informações sobre a estratégia, análise, ética e integridade da organização.

Figura 10 – Requisitos dos relatórios GRI.

TABELA 4: CONTEÚDOS PADRÃO ESPECÍFICOS NECESSÁRIOS (INFORMAÇÕES SOBRE A FORMA DE GESTÃO E INDICADORES)		
Conteúdos Padrão Específicos	“De acordo” – Essencial	“De acordo” – Abrangente
Informações Genéricas sobre a Forma de Gestão	Apenas para Aspectos materiais (*)	Apenas para Aspectos materiais (*)
Indicadores	Pelo menos um indicador relacionado a cada Aspecto material identificado (*)	Todos os indicadores relacionados a cada Aspecto material identificado (*)
Conteúdos Setoriais Específicos	<i>Devem ser incluídos, se disponíveis para o setor no qual a organização atua e se forem materiais (*)</i>	<i>Devem ser incluídos, se disponíveis para o setor no qual a organização atua e se forem materiais (*)</i>

Fonte: GRI, 2013.

Dentro das Diretrizes existem dois tipos de conteúdo: gerais e específicos. Os conteúdos gerais abordam os seguintes assuntos: Estratégia e Análise, Perfil Organizacional, Aspectos Materiais Identificados e Limites, Engajamento de *Stakeholders*, Perfil do relatório, Governança e ética e Integridade.

Já os conteúdos Específicos falam sobre as Informações de Forma e Gestão e Indicadores. O presente trabalho tem como foco os Indicadores apresentados pelo documento, porém as informações adicionais podem ser visualizadas no documento (GRI, 2013).

As Diretrizes do GRI dividem-se em três categorias: Econômica, Ambiental e Social. A categoria Social, porém, é a única que se divide em subcategorias: Práticas Trabalhistas e Trabalho Decente, Direitos Humanos, Sociedade e Responsabilidade pelo Produtos. Cada categoria por sua vez é formada por aspectos materiais, que refletem os impactos de cada categoria na organização ou influenciam as avaliações dos *stakeholders*. Cada aspecto identificado contém informações sobre o formato de gestão e seus indicadores. A Figura 11, apresenta a divisão das categorias e seus respectivos aspectos (GRI, 2013).

Figura 11 – Aspectos do GRI.

TABELA 1: CATEGORIAS E ASPECTOS DAS DIRETRIZES				
Categoria	Econômica		Ambiental	
Aspectos ^{III}	• Desempenho Econômico • Presença no Mercado • Impactos Econômicos Indiretos • Práticas de Compra		• Materiais • Energia • Água • Biodiversidade • Emissões • Efluentes e Resíduos • Produtos e Serviços • Conformidade • Transportes • Geral • Avaliação Ambiental de Fornecedores • Mecanismos de Queixas e Reclamações Relacionadas a Impactos Ambientais	
Categoria	Social			
Subcategorias	Práticas Trabalhistas e Trabalho Decente	Direitos Humanos	Sociedade	Responsabilidade pelo Produto
Aspectos ^{III}	• Emprego • Relações Trabalhistas • Saúde e Segurança no Trabalho • Treinamento e Educação • Diversidade e Igualdade de Oportunidades • Igualdade de Remuneração entre Homens e Mulheres • Avaliação de Fornecedores em Práticas Trabalhistas • Mecanismos de Queixas e Reclamações Relacionadas a Práticas Trabalhistas	• Investimento • Não Discriminação • Liberdade de Associação e Negociação Coletiva • Trabalho Infantil • Trabalho Forçado ou Análogo ao Escravo • Práticas de Segurança • Direitos Indígenas • Avaliação • Avaliação de Fornecedores em Direitos Humanos • Mecanismos de Queixas e Reclamações Relacionadas a Direitos Humanos	• Comunidades Locais • Combate à Corrupção • Políticas Públicas • Concorrência Desleal • Conformidade • Avaliação de Fornecedores em Impactos na Sociedade • Mecanismos de Queixas e Reclamações Relacionadas a Impactos na Sociedade	• Saúde e Segurança do Cliente • Rotulagem de Produtos e Serviços • Comunicações de Marketing • Privacidade do Cliente • Conformidade

Fonte: GRI, 2013.

3.5.2 Indicadores GRI

Segundo o (INSTITUTO ETHOS, 2007), os indicadores “são informações qualitativas ou quantitativas sobre consequências ou resultados associados à organização que sejam comparáveis e demonstrem mudança ao longo do tempo”. Eles podem ser essenciais ou adicionais. Os essenciais são os indicadores que podem ser utilizados por grande parte das organizações e, portanto, deverão ser obrigatórios nos relatórios. Já os indicadores adicionais, são aqueles aplicados a apenas algumas organizações. Cada uma das categorias apresentam um conjunto de indicadores de desempenho essenciais e adicionais. As Figuras 12, 13 e 14,

apresentam a relação de indicadores por aspecto e categoria. As características abordadas por cada indicador podem ser vista em (GRI, 2013).

Figura 12 - Indicadores da categoria Social.

Categoria	Social
Subcategoria	Práticas trabalhistas e trabalho decente
Aspecto:	Emprego
LA1	Número total e taxas de novas contratações de empregados e rotatividade por faixa etária, gênero e região
LA2	Benefícios concedidos a empregados de tempo integral que não são oferecidos a empregados temporários ou em regime de meio período, discriminados por unidades operacionais importantes da organização
LA3	Taxas de retorno ao trabalho e retenção após licença maternidade/paternidade, discriminadas por gênero
Aspecto:	Relações Trabalhistas
LA4	Prazo mínimo de notificação sobre mudanças operacionais e se elas são especificadas em acordos de negociação coletiva
Aspecto:	Saúde e segurança no trabalho
LA5	Percentual da força de trabalho representada em comitês formais de saúde e segurança, compostos por empregados de diferentes níveis hierárquicos, que ajudam a monitorar e orientar programas de Saúde e segurança no trabalho
LA6	Tipos e taxas de lesões, doenças ocupacionais, dias perdidos, absenteísmo e número de óbitos relacionados ao trabalho, discriminados por região e gênero
LA7	Empregados com alta incidência ou alto risco de doenças relacionadas à sua ocupação
LA8	Tópicos relativos a saúde e segurança cobertos por acordos formais com sindicatos
Aspecto:	Treinamento e educação
LA9	Número de horas de treinamento por ano por empregado, discriminado por gênero e categoria funcional
LA10	Programas de gestão de competências e aprendizagem contínua que contribuem para a continuidade da empregabilidade dos empregados em período de preparação para a aposentadoria
LA11	Percentual de empregados que recebem regularmente análise de desempenho e de desenvolvimento de carreira, discriminado por gênero e categoria funcional
Aspecto:	Diversidade e igualdade de oportunidades
LA12	Composição dos grupos responsáveis pela governança e discriminação de empregados por categoria funcional, de acordo com gênero, faixa etária, minorias e outros indicadores de diversidade
Aspecto:	Igualdade de remuneração entre mulheres e homens
LA13	Razão matemática do salário e remuneração entre mulheres e homens, discriminada por categoria funcional e unidades operacionais relevantes
Aspecto:	Avaliação de fornecedores em práticas trabalhistas
LA14	Percentual de novos fornecedores selecionados com base em critérios relativos a práticas trabalhistas
LA15	Impactos negativos significativos reais e potenciais para as práticas trabalhistas na cadeia de fornecedores e medidas tomadas a esse respeito
Aspecto:	Mecanismo de queixas e reclamações relacionadas a práticas trabalhistas
LA16	Número de queixas e reclamações relacionadas a práticas trabalhistas registradas, processadas e solucionadas por meio de mecanismo formal

Fonte: GRI, 2013.

Figura 13 -Indicadores da categoria Ambiental.

Categoria	Ambiental
Aspecto:	Materiais
EN1	Materiais usados, discriminados por peso ou volume
EN2	Percentual de materiais usados provenientes de reciclagem
Aspecto:	Energia
EN3	Consumo de energia dentro da organização
EN4	Consumo de energia fora da organização
EN5	Intensidade energética
EN6	Redução de consumo de energia
EN7	Redução nos requisitos de energia relacionados a produtos e serviços
Aspecto:	Água
EN8	Total de retirada de água por fonte
EN9	Fontes hídricas significativamente afetadas por retirada de água.
EN10	Percentual e volume total de água reciclada e reutilizada.
Aspecto:	Biodiversidade
EN11	Unidades operacionais próprias, arrendadas ou administradas dentro ou nas adjacências de áreas protegidas e áreas de alto valor para a biodiversidade situadas fora de áreas protegidas
EN12	Descrição de impactos significativos de atividades, produtos e serviços sobre a biodiversidade em áreas protegidas e áreas de alto valor para a biodiversidade situadas fora de áreas protegidas
EN13	Habitats protegidos ou restaurados
EN14	Número total de espécies incluídas na lista vermelha da IUNC em listas nacionais de conservação com habitats situados em áreas afetadas por operações da organização, discriminadas por nível de risco de extinção
Aspecto:	Emissões
EN15	Emissões diretas de gases de efeito estufa
EN16	Emissões indiretas de gases de efeito estufa provenientes da aquisição de energia
EN17	Outras emissões indiretas de gases de efeito estufa
EN18	Intensidade de emissões de gases de efeito estufa
EN19	Redução de emissões de gases de efeito estufa
EN20	Emissões de substâncias que destroem a camada de ozônio
EN21	Emissões de NO _x , SO _x e outras emissões atmosféricas significativas
EN22	Descarte total de água, discriminado por qualidade e destinação
EN23	Peso total de resíduos, discriminado por tipo e método de deposição
EN24	Número total e volume de vazamentos significativos
EN25	Peso de resíduos transportados, importados, exportados ou tratados considerados perigosos termos da convenção da Basileia, Anexo I,II,III e VIII, e percentual de resíduos transportados internacionalmente
EN26	Identificação, tamanho, status de proteção e valor da biodiversidade de corpos d'água e habitats relacionados significativamente afetados por descartes e drenagem de água realizados pela organização
Aspecto:	Produtos e serviços
EN27	Extensão da mitigação de impactos ambientais de produtos e serviços
EN28	Percentual de produtos e suas embalagens recuperados em relação ao total de produtos vendidos, por categoria de produto.
Aspecto:	Conformidade
EN29	Valor monetário de multas significativas e número total de sanções não monetárias aplicadas em decorrência de não conformidade com leis e regulamentos ambientais
EN30	Impactos ambientais significativos decorrentes do transporte de produtos e outros bens materiais usados nas operações da organização, bem como do transporte de seus empregados
Aspecto:	Geral
EN31	Total de investimento e gastos com proteção ambiental, discriminado por tipo
Aspecto:	Avaliação Ambiental de Fornecedores
EN32	Percentual de novos fornecedores selecionados com base em critérios ambientais
EN33	Impactos ambientais negativos significativos reais e potenciais na cadeia de fornecedores e medidas tomadas a esse respeito
Aspecto:	Mecanismo de queixas e reclamações relacionadas a impactos ambientais
EN34	Número de queixas e reclamações relacionadas a impactos ambientais protocoladas processadas e solucionadas por meio de mecanismo formal

Fonte: GRI, 2013.

Figura 14 – Indicadores da categoria Econômica.

Fonte: GRI, 2013.

3.5.3 Considerações Parciais

As mudanças de atitudes nas organizações em relação à sustentabilidade demonstram uma evolução por parte delas com a preocupação com a sustentabilidade e o uso dos indicadores de desempenho nas tomadas de decisões. O uso, portanto, desses indicadores é visto como uma importante ferramenta para mensurar o alcance dos seus objetivos.

As diretrizes do GRI, é visto como um guia em muitas organizações, por ser versátil e aplicável em qualquer tipo de organização. Empresas que utilizam as diretrizes podem elaborar relatórios mais completos que abrangem questões sócias, ambientais e econômicas, verificando como podem melhorar sua atuação. Através dos indicadores apresentados nas diretrizes consegue direcionar suas estratégias voltadas a esses indicadores de desempenho o que permite tomar decisões estratégicas mais sustentáveis.

O diferencial da estrutura proposta neste estudo é a estruturação das medidas de desempenho durante o processo de criação de cenários para a simulação, uma vez que os cenários a serem simulados são gerados a partir da análise dos principais indicadores que impactam o desempenho do sistema. Além disso, os indicadores de desempenho servem como critérios para avaliar situações futuras.

4 ESTRUTURA PROPOSTA

Dentro do atual contexto competitivo, provenientes da globalização, avanços tecnológicos e conscientização ambiental e social, criou-se um mercado altamente dinâmicos que necessitam de estratégias e processos cada vez mais flexíveis. Os processos produtivos que antigamente se mantinham estáticos por longos anos, hoje, precisam de adequação constantes para se manterem rentáveis e dentro de normas e regulamentos, como requisitos de segurança e meio ambiente. Além disso, o aumento da produtividade e lucratividade gerada através da automação, barra em questões sociais, uma vez que automação de processos vem substituir a força de trabalho em determinadas situações. Nesse cenário, pode-se notar que a tomada de decisão em relação a mudanças e adequações das estruturas necessárias em sistemas produtivos, visando a sustentabilidade da empresa é algo moroso e difícil. Visto isso, é crescente a procura por métodos capazes de auxiliar profissionais a tomada uma decisão mais assertiva em curto espaço de tempo e que permita uma análise mais abrangente do problema.

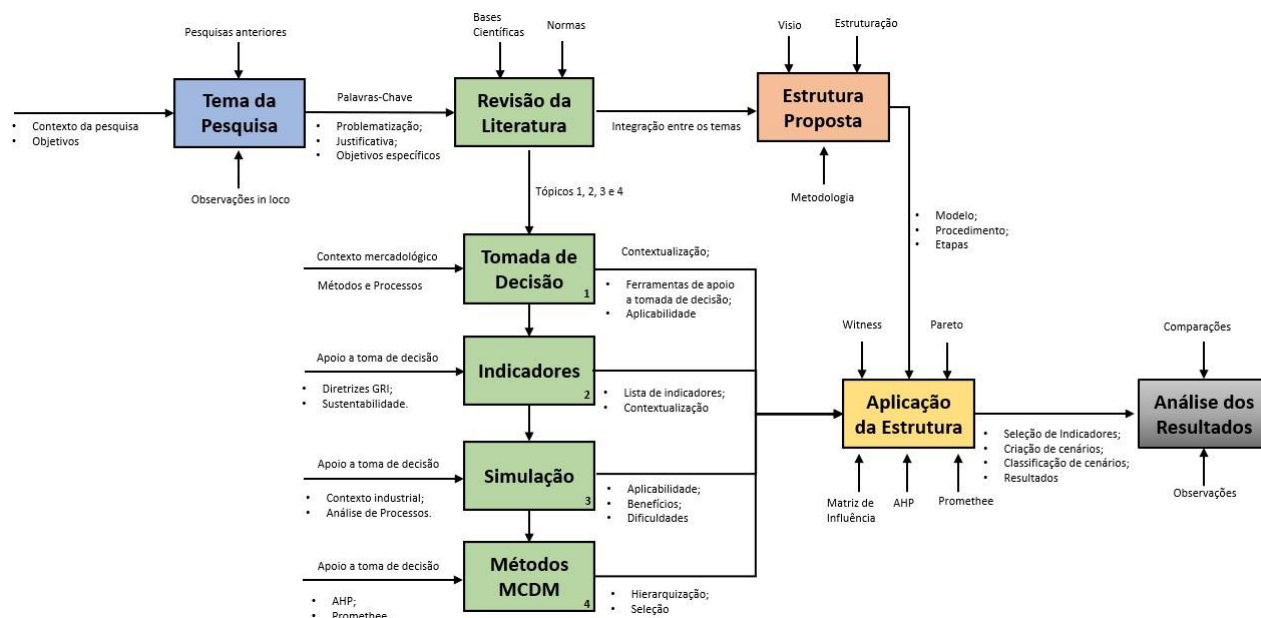
O presente estudo propõe uma estrutura de apoio a tomada de decisão com o intuito de indicar a escolha de cenários futuros que sejam capazes de suprir as necessidades presentes da empresa sem comprometer a sua sustentabilidade futura. Através de uma análise dinâmica e customizável, a estrutura utiliza ferramentas de apoio a tomada de decisão multicritérios, alimentados por indicadores de performance que por sua vez são baseados nos indicadores estipulados pela Diretrizes de Sustentabilidade do GRI. Esse documento foi escolhido, pois recomenda não apenas indicadores econômicos, mas também sociais e ambientais, deixando a abordagem mais completa. Além disso, a estrutura ainda conta com outra ferramenta de auxílio a tomada de decisão bem conhecida, principalmente em sistemas industriais para análises de processos, a simulação computacional. A proposta, portanto, busca trazer contribuições acadêmicas e profissionais através da junção das três áreas apresentadas, Indicadores de Desempenho, Métodos Multicritérios e Simulação Computacional.

A busca contínua por melhorias no desempenho corporativo, leva as empresas a investir em ferramentas que aumentem a performance operacional, e em paralelo, acadêmicos buscam criar ou aperfeiçoar metodologias para que as decisões, cada vez mais complexas, possam ser tomadas de forma mais científica e estruturada. O

objetivo do presente estudo é justamente esse, integrar diferentes ferramentas visando formar uma estrutura robusta capaz de auxiliar gestores a tomarem decisões. Os indicadores entram como direcionadores para criação e avaliação de cenários futuros, a simulação auxilia como processo de avaliação dos cenários, e é de grande ajuda para identificação de possíveis consequência de mudanças. Já os métodos multicritérios de apoio a tomada de decisão, são capazes de estruturar a sistemática das opiniões conflitantes e direcionar hierarquicamente a melhor decisão dentro do contexto da empresa.

Para a concepção da estrutura de apoio a tomada de decisão o primeiro passo foi unir os feedbacks de tomadores de decisão com a teoria obtida por projetos passados. Nessa etapa, portanto, além das entrevistas com gestores, buscou-se adquirir conhecimento em livros, artigos científicos, normas e dentre outros. A Figura 15, detalha o caminho percorrido, desde a escolha do tema até a análise dos resultados, descrevendo as entradas e saídas de cada etapa, assim como as ferramentas utilizadas em cada uma.

Figura 15 - Fluxograma das etapas do projeto.

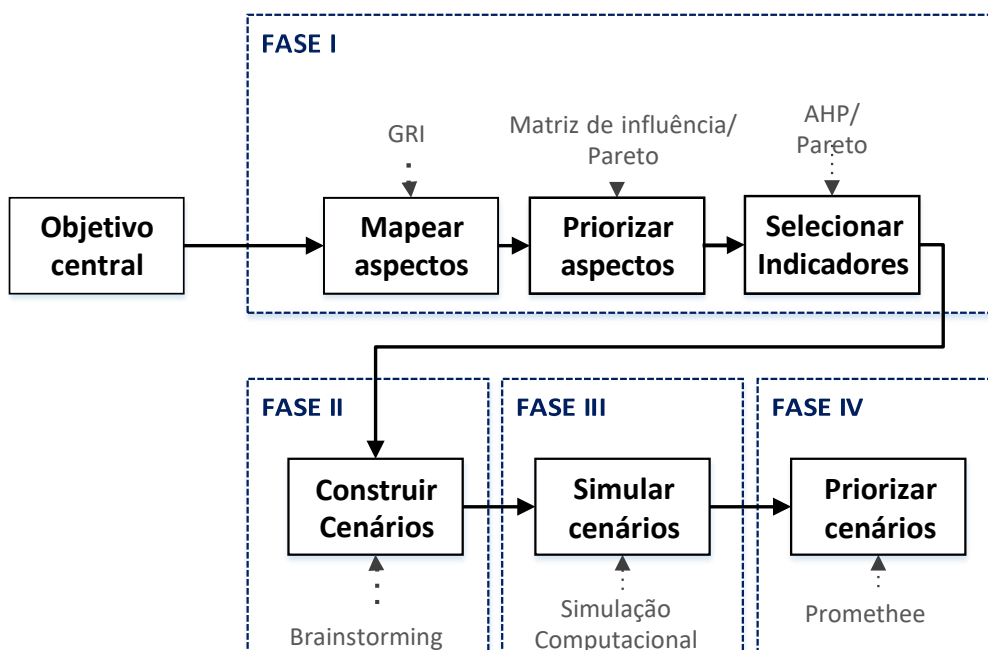


Fonte: A autora, 2020.

4.1 ETAPAS DA ESTRUTURA

Nessa seção é apresentada a estrutura desenvolvida que fornece uma estrutura de apoio a tomada de decisão em escolha de cenários futuros. Na Figura 16 estão descritas as macro etapas da estrutura.

Figura 16 - Macro etapas do procedimento.



Fonte: A autora, 2020.

Conforme apresentado na Figura 16, a primeira etapa é definir o objetivo central, ou seja, identificar qual o problema a ser solucionado. Uma vez identificado o problema, a Fase I da estrutura pode ser desenvolvida. Essa fase consiste no mapeamento dos aspectos do GRI, identificando quais são os mais relevantes ao contexto do problema. Após mapeados, deve-se então priorizar os aspectos de maiores impactos para resolução do problema. Para realizar essa etapa é necessário construir uma matriz de influência e posteriormente um gráfico de Pareto, a fim de verificar quais são os aspectos GRI que possuem maior influência sobre os demais no contexto estudando. Uma vez definido os aspectos de maior influência, seleciona-se os indicadores correspondentes através da ferramenta AHP. Em mãos desses indicadores, analisa-se também os indicadores da organização, verificando se há algum que se encaixa nesses aspectos. Para uma melhor análise dos indicadores por parte dos entrevistados na Fase II, recomenda-se verificar as características dos indicadores selecionados no GRI e a existência de indicadores da organização que

possuam essas mesmas características, dessa forma fica mais fácil os entrevistados darem pesos para os indicadores que já conhecem.

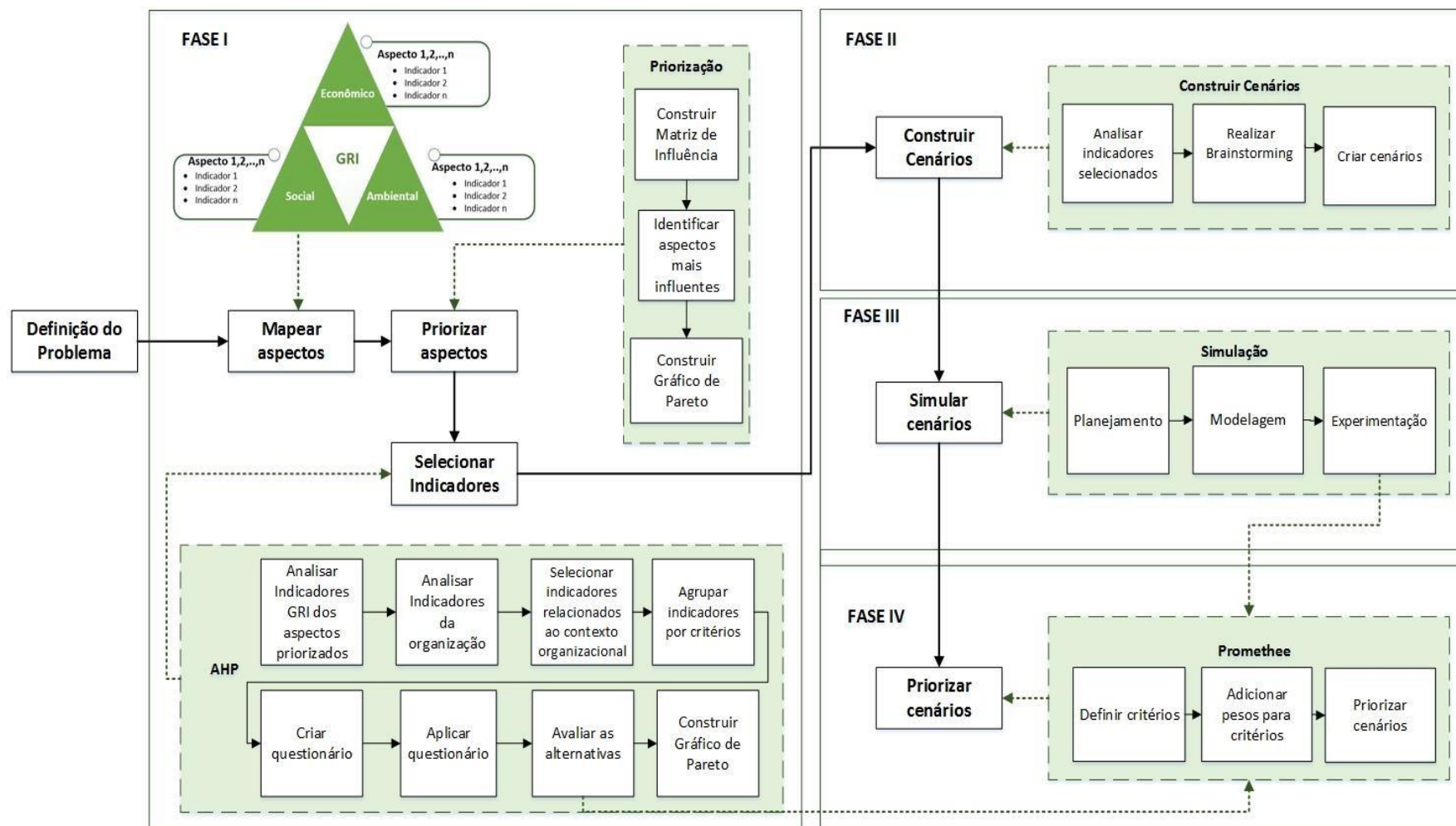
Com os indicadores mais influentes em mãos, inicia-se a Fase II, que serve para construir cenários possíveis para a resolução do problema, através da análise de fatores que maximizem os resultados dos indicadores selecionados. Para isso, é necessário a ajuda de pessoas envolvidas na problemática, que através de um brainstorming analisando os indicadores chaves, propõem ideias de cenários futuros para solução do problema.

Com os cenários definidos, inicia a Fase III, a simulação dos cenários. Essa etapa conta com a ajuda de um software de simulação, onde deve ser simulado primeiramente o cenário atual, garantindo que o modelo desenvolvido represente a realidade. Após verificar e validar o modelo atual, modela-se os cenários futuros e realiza-se os testes.

A Fase IV, priorização dos cenários simulados, é feita através da ferramenta multicritério PROMETHEE. Essa fase visa priorizar a melhor alternativa, auxiliando assim na tomada de decisão.

A Figura 17 e os próximos tópicos dessa seção apresentam um detalhamento da estrutura descrita.

Figura 17 - Fluxograma da estrutura utilizada no estudo.

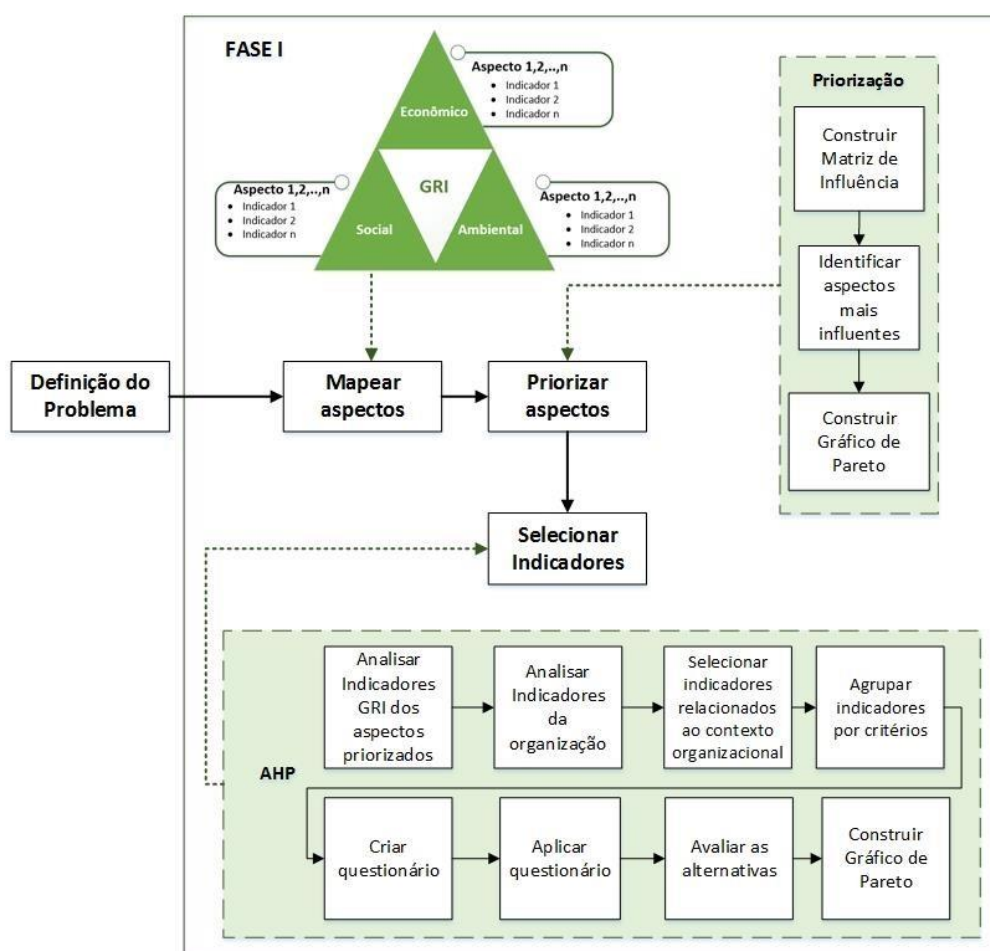


Fonte: A autora, 2020.

4.1.1 Fase I

A Figura 18 apresenta um detalhamento da Fase I, que consiste em 3 partes: mapear aspectos, priorizar aspectos e selecionar indicadores. O mapeamento dos aspectos consiste no entendimento de todos os aspectos do GRI. Através desse estudo há uma seleção de apenas os aspectos mais relevantes que serão priorizados para analisar o sistema. Uma vez selecionados os aspectos inicia-se a etapa de seleção dos indicadores de todos os aspectos priorizados.

Figura 18 - Detalhamento Fase I da estrutura.



Fonte: A autora, 2020.

4.1.2 Mapear Aspectos

A Fase I inicia após a definição do problema. O primeiro passo dessa fase requer o mapeamento dos aspectos retirados do GRI. Como mencionado anteriormente, o GRI é uma ferramenta utilizada pelas empresas para aprimorar suas

estratégias de gestão orientada a indicadores sociais, econômicos e ambientais. Nessa etapa é necessário ler e entender as diretrizes do GRI, identificando dentro das esferas quais aspectos cada uma apresenta e quais deles são mais relevantes ao contexto em estudo. A Figura 19, mostra um exemplo de mapeamento dos aspectos do GRI.

Figura 19 - Exemplo de mapeamento dos aspectos do GRI.

Esfera	Aspectos
Econômica	Desempenho econômico
	Presença no mercado
	Impactos econômicos diretos
	Práticas de compras
	Anticorrupção
Ambiental	Materiais
	Energia
	Água
	Biodiversidade
	Emissões, Efluentes e Resíduos
	Conformidade ambiental
	Avaliação ambiental de fornecedores
Social	Práticas trabalhistas
	Direitos Humanos
	Sociedade
	Conformidade socioeconômica

Fonte: A autora, 2020

4.1.3 Priorizar Aspectos

Uma vez esquematizado os aspectos do GRI, a próxima etapa é priorizar os mais relevantes ao contexto em estudo. Para isso, são necessários alguns passos, descrito na Figura 17, como Priorização. Essa etapa começa com a construção de uma matriz de influência, desenvolvido a partir dos aspectos mapeados. A matriz é então preenchida por pessoas envolvidas no contexto, de preferências de diferentes áreas, abrangendo a importância de cada aspecto em diferentes departamentos da organização. Com os resultados dos questionários é possível então construir a matriz de influência e o gráfico de Pareto, que mostram quais são os aspectos mais importantes para a organização.

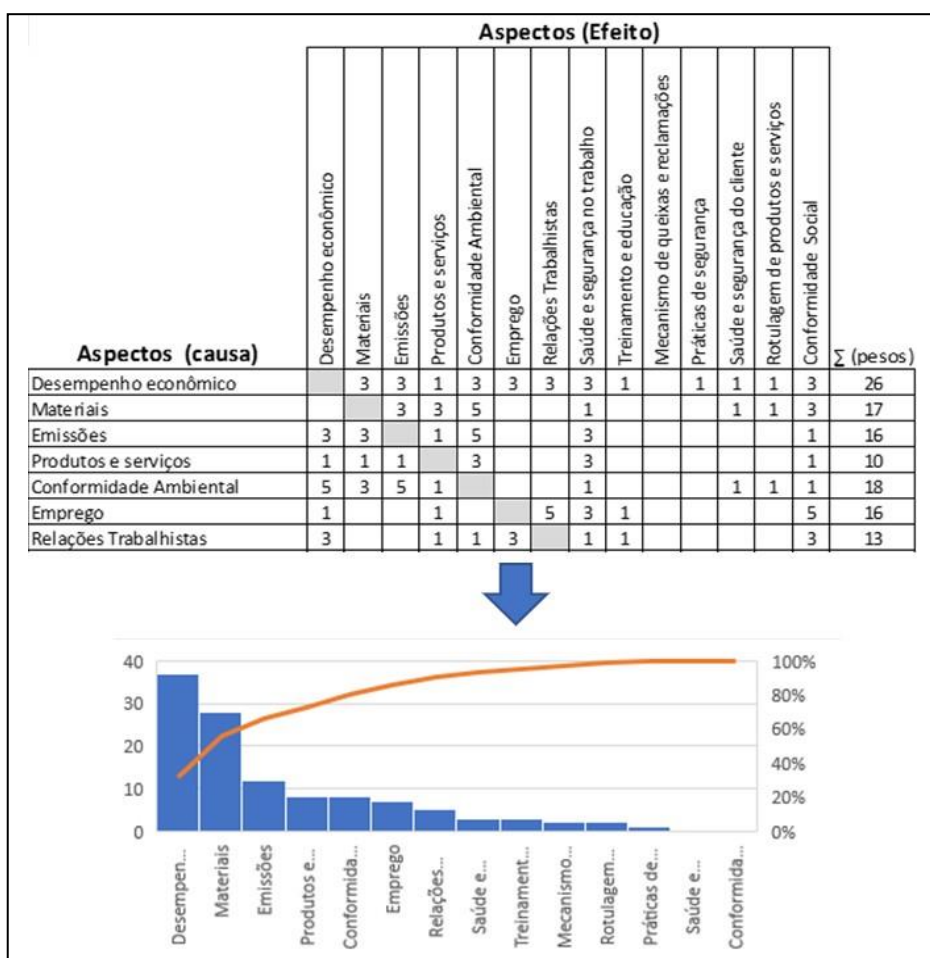
A matriz de influência funciona da seguinte forma (Figura 20), cada um dos funcionários recebe um questionário com os aspectos selecionados e analisa se o aspecto descrito na coluna causa, influencia o aspecto descrito nas demais colunas

(efeito), ou seja, quando o funcionário acha que o aspecto apresentado na linha, influencia o aspecto descrito na coluna, ele coloca um peso de 1 a 5 (sendo 1 pouca influência e 5 muita influência) na célula de intersecção dos dois aspectos na tabela.

Após a avaliação de todos os aspectos é somado o peso das causas, ou seja, é somado por linha quantos aspectos foram impactados pelo aspecto avaliado, a soma é apresentada na última coluna (Σ pesos). Com a soma dos pesos constrói-se o Gráfico de Pareto.

No gráfico de Pareto os aspectos podem ser organizados em ordem decrescente, ou seja, dos que mais impactam até os que menos impactam, apresentando no gráfico a porcentagem cumulativa. Usando o Princípio de Pareto, que diz que 80% dos resultados são produzidos por 20% das causas, é possível priorizar os aspectos com maior influência e assim utilizá-los como base para a escolha de indicadores.

Figura 20 - Exemplo da matriz de influência e Gráfico de Pareto.



4.1.4 Selecionar Indicadores

Conforme descrito na seção 2.5, cada aspecto do GRI apresenta um ou mais indicadores relacionados a ele. Com os aspectos mais importantes selecionados é necessário elencar os indicadores mencionados pelo GRI para cada aspecto. Além dos indicadores de desempenho indicados pelo GRI, o documento também orienta identificar conjuntos de indicadores integrados ao contexto organizacional. Visto isso, essa etapa também prevê a análise dos indicadores já existentes na organização, a fim de verificar a existência de algum indicador relevante no contexto da empresa e que não foi mencionado pelo GRI.

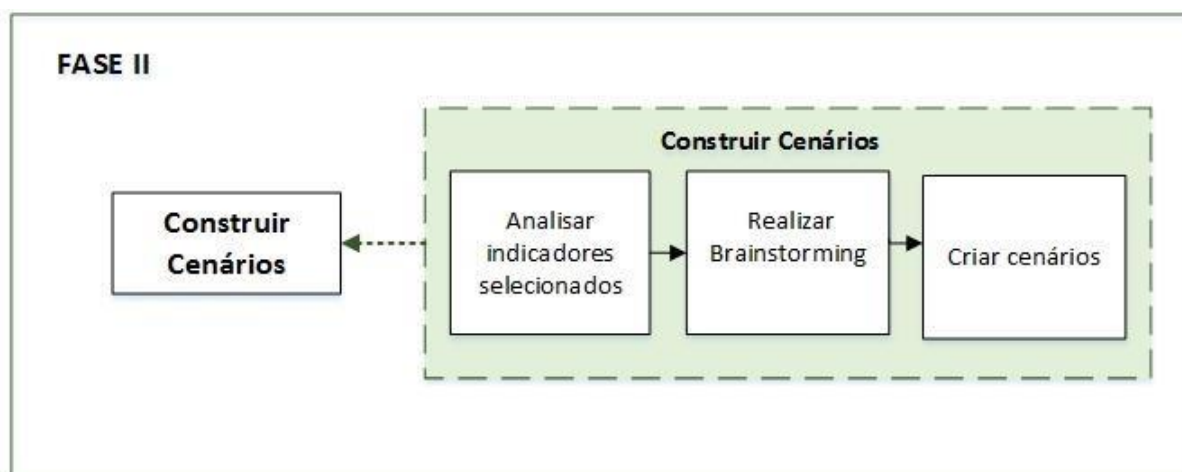
Para ficar mais fácil o entendimento dos indicadores por parte das pessoas entrevistadas, que darão pesos a cada indicador determinando quais deles são mais importantes ao contexto em estudo, ao invés de expor o indicador GRI e suas explicações, o estudo propõem encontrar indicadores utilizados na organização e que atendam os mesmos critérios do indicador descrito nas Diretrizes GRI. Essa abordagem é importante, pois ao fazer a transição do indicador GRI para indicador da organização fica mais fácil o entendimento por parte dos entrevistados para que respondam com mais consistência a comparação entre eles. Isto é feito, pois são muitos indicadores a serem avaliados e decorar ou até mesmo pesquisar o que cada um faz a todo momento que precisam fazer uma comparação entre eles tomará muito tempo dos entrevistados e a intenção do método é facilitar a tomada de decisão. Mas, caso não haja nenhum indicador correspondente na organização, deverá ser utilizado o nome descrito nas Diretrizes GRI.

Uma vez identificado todos os indicadores, o método prevê a utilização dos AHP, a fim de verificar quais dos indicadores mais impactam o sistema. Para isso, o primeiro passo exige um agrupamento dos indicadores previamente selecionados baseados na abordagem do GRI. Na sequência utiliza-se o AHP, que através de um questionário aplicado em gestores irá avaliar quais indicadores são mais relevantes no contexto em estudo. A construção e forma de aplicação do questionário pode ser vista na seção 2.3. As respostas dos questionários são processadas pelo software *Super Decisions* e a priorização é feita através de uma linha de corte na lista de indicadores usando a regra 80-20 de Pareto.

4.1.5 Fase II - Construir Cenários

Consiste na identificação dos possíveis cenários que poderão solucionar o problema (Figura 21). Nessa etapa é interessante a participação de pessoas de todas as áreas envolvidas, assim todas as particularidades do sistema podem ser levadas em consideração.

Figura 21 - Fase II: Construir cenários



Fonte: A autora, 2020.

Ao executar essa etapa, os critérios de estruturação dos cenários devem ser considerados como uma composição de medidas de desempenho para a geração de alternativas coerentes com o objetivo central e com o sistema a ser aplicado. Para isso, a estrutura desenvolvida utiliza como base indicadores de desempenho orientados pelo GRI, a fim de determinar quais as métricas mais importantes a serem incorporadas nos cenários.

Após a descoberta dos principais indicadores, os mesmos servem de base para a criação dos cenários futuros, ou seja, em cada cenário procura-se maximizar os resultados de cada indicador selecionado, visando cenários com excelente desempenho.

Para transformar os indicadores selecionados em cenários, é necessário a realização de reuniões semanais com os setores envolvidos na problemática, onde serão discutidos o que poderá ser mudado, retirado ou acrescentado no sistema em estudo para que esse possa alcançar padrões de excelência nos indicadores selecionados e consecutivamente solucionar o problema apresentado.

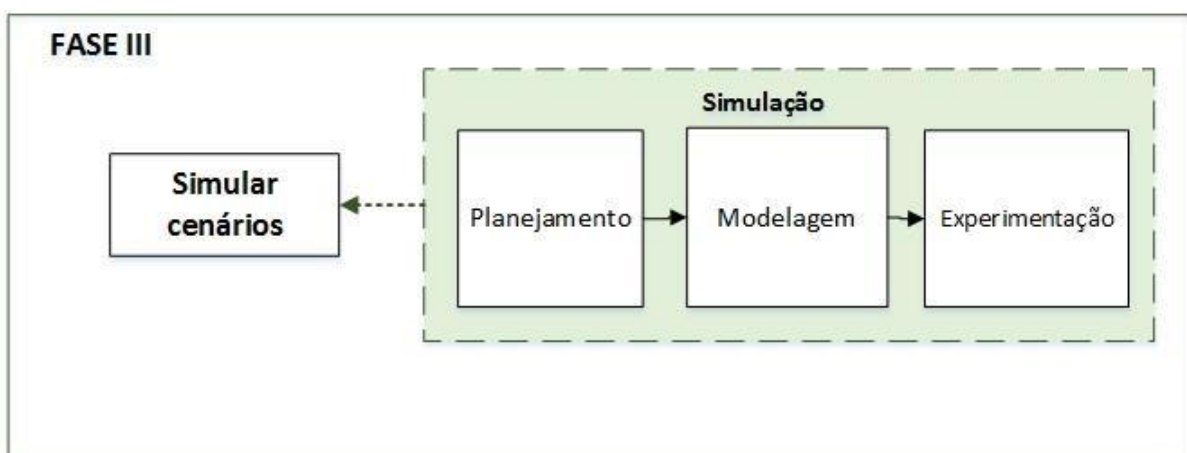
4.1.6 Fase III – Simular Cenários

No presente estudo, experimentos de simulação são conduzidos para todos os cenários identificados, a Figura 22 apresenta as etapas necessárias da simulação. Primeiro é modelado o cenário atual, o qual é testado para ver se o seu comportamento é similar ao sistema real. Após aprovado seu comportamento é realizado as configurações experimentais, ou seja, são testados diferentes parâmetros de acordo com os cenários futuros definidos na etapa anterior.

Em todos os cenários são executadas repetições para que de forma experimental possa-se identificar os dados de saída com um valor nivelado e assim alimentar os métodos de tomada de decisão com dados concretos. Através da simulação é possível verificar a performance do sistema em cada cenário simulado.

A forma como deve ser feito o planejamento, a modelagem e experimentação da simulação estão descritas na seção 2.2.

Figura 22 - Fase III: Simulação



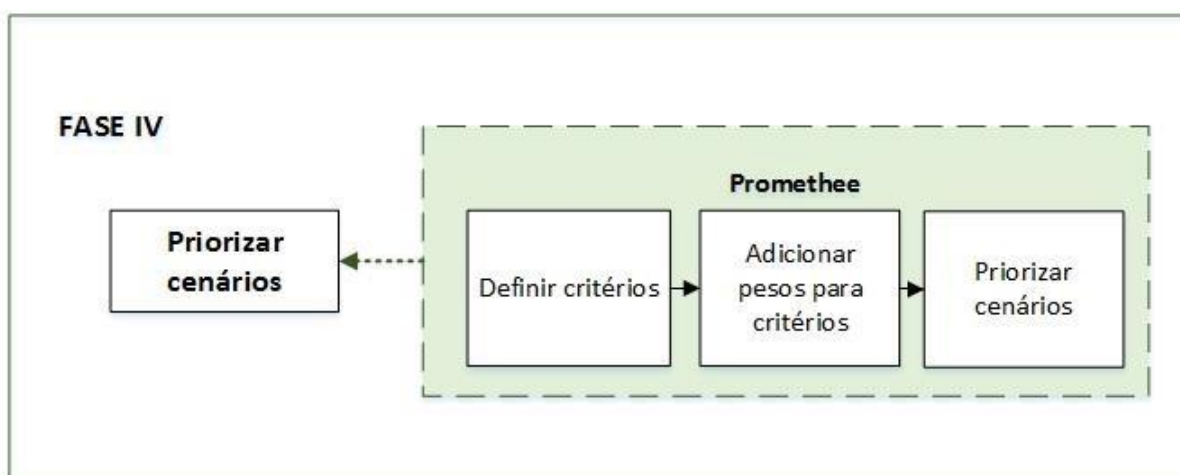
Fonte: A autora, 2020.

4.1.7 Fase IV – Priorizar cenários

Para desenvolver essa fase a estrutura utiliza o método multicritério PROMETHEE (Figura23). Para aplicação do método é necessário a utilização dos indicadores selecionados anteriormente pelo AHP, assim como seus respectivos pesos retirados através dele. O AHP é uma ferramenta simples que utiliza a comparação par a par para ponderar as preferencias, além da fácil utilização a ferramenta consegue avaliar a consistência das repostas dos participantes,

forneendo maior credibilidade aos valores que serão posteriormente inseridos no PROMETHEE. Em posse dos indicadores e seus pesos, o método PROMETHEE pode então ser utilizado para obter a priorização dos cenários em relação aos critérios e valores informados. Caso haja critérios qualitativos, indica-se a aplicação de um questionário ou fazer entrevistas com especialistas para encontrar essas respostas e inseri-las no PROMETHEE. Para aplicação da ferramenta é previsto utilização do software Visual PROMETHEE.

Figura 23 - Fase IV: Priorização dos cenários.



Fonte: A autora, 2020.

4.1.8 Consideração parciais

Como pode ser visto na estrutura descrita nesta seção, a aplicação conta com algumas ferramentas de apoio a tomada de decisão como, brainstorming, análise de indicadores, análise de Pareto, matriz de Influência, AHP, PROMETHEE, além da análise de documentação interna e externa a organização e entrevistas com especialistas.

A análise da documentação do GRI juntamente com a entrevista com especialistas e a matriz de influência é essencial para a definição dos critérios (indicadores). Já a análise dos indicadores, a metodologia AHP e Pareto orientaram a etapa de brainstorming para a construção de cenários (alternativas), que posteriormente serão simulados e priorizados através do PROMETHEE.

A junção de todas essas ferramentas é necessária principalmente em um contexto com maior complexidade. A próxima seção apresentará a aplicação da

estrutura onde todas as ferramentas serão utilizadas de forma integrada em um ambiente industrial, a fim de identificar a melhor solução de layout para um posto de trabalho.

5 APLICAÇÃO DA ESTRUTURA

Nessa seção é apresentada a aplicação da estrutura descrita anteriormente. A seção inicia com a apresentação da empresa (objeto de estudo), em seguida traz o objetivo central com a definição do problema, e então a aplicação da estrutura.

5.1 OBJETO DE ESTUDO

A empresa analisada neste trabalho é uma multinacional do ramo automotivo. No Brasil, há mais de 20 anos, a sede é localizada no Estado do Paraná no município de São José dos Pinhais, onde possui um complexo com 4 fábricas: uma fábrica de montagem de veículos de passeio, outra de veículos utilitários, uma fábrica de motores e uma de injeção de alumínio.

A fábrica escolhida para a aplicação do método é a fábrica de montagem de veículos para passeio, que atualmente produz uma grande variedade de produtos, em uma mesma linha de montagem.

Para conseguir abastecer a linha que trabalha com diversidade de produtos, a empresa adotou um processo denominado *kitting*. Esse processo permite que ao redor da linha de produção possua apenas as peças necessárias na hora exata.

O processo *kitting* consiste em agrupar componentes e peças de um determinado modelo de produto e enviá-los, como um kit, até o posto de trabalho em que será incluído no produto.

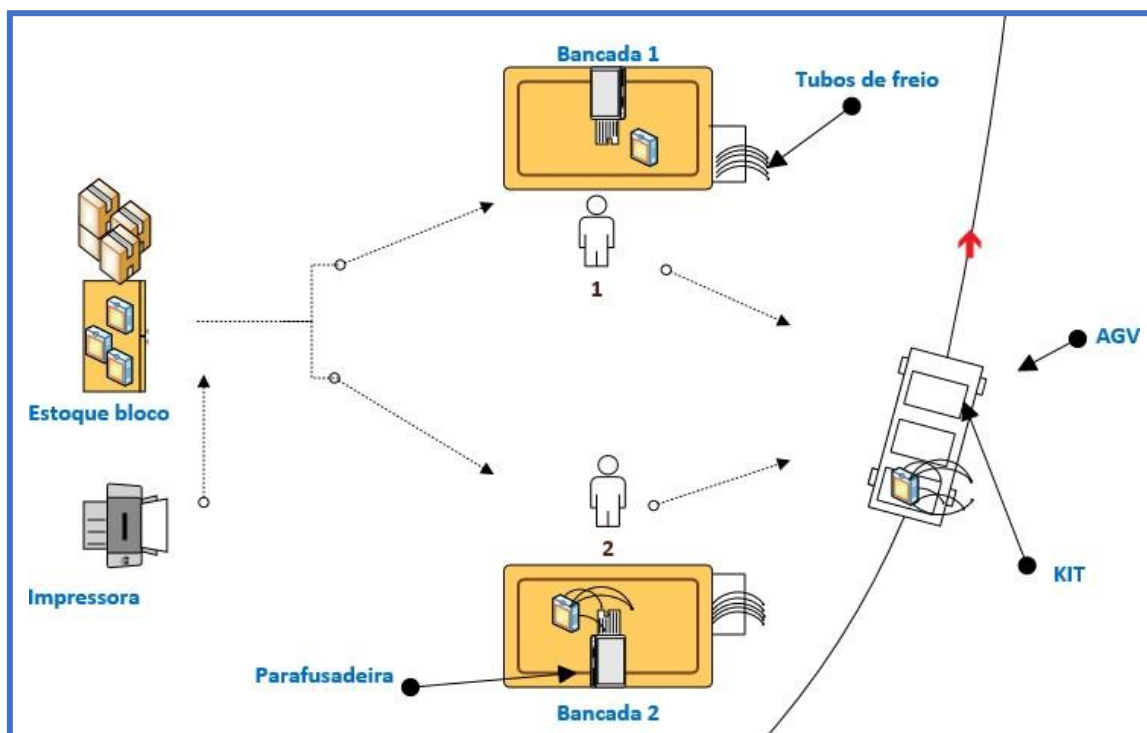
Quando bem implantado o processo *kitting* gera vários benefícios para a linha de montagem, diminuindo tempo de inatividade da linha, reduzindo o tempo em que o operador manuseia as peças, uma vez que o operador não precisa procurar qual a peça correta, o que consequentemente diminui a movimentação desnecessária do operador e melhora a ergonomia do posto.

Porém, quando o processo de *kitting* não é corretamente dimensionado, o abastecimento da linha será comprometido, ocasionando dois possíveis problemas. Caso o kit chegue muito antes do tempo estimado, os kits se acumularão perto da linha o que poderá atrapalhar o fluxo logístico. Por outro lado, se o kit não chegar na hora exata a linha precisará parar, o que ocasiona prejuízo financeiro para a empresa.

O objeto de análise desse estudo é um posto de trabalho, que tem como função realizar uma pré-montagem de algumas peças e adicioná-las dentro do kit, que será

conduzido através de um AGV até o ponto de uso na linha de montagem de veículos. A Figura 24, apresenta um esboço do posto de trabalho em estudo.

Figura 24 - Representação do Cenário Atual



Fonte: A autora, 2020.

Esse posto foi escolhido, pois não está conseguindo atingir o tempo de ciclo da linha, ocasionando atraso na entrega dos kits.

5.2 OBJETIVO CENTRAL

A empresa tem realizado esforços para reestruturar o posto de trabalho em questão, diminuindo assim o tempo de ciclo. Como este problema impacta não somente a área de preparação dos kits, mas também outras áreas como logística, montagem, é necessário que seja definido critérios com suas respectivas relevâncias, para então construir propostas de cenários que atenda às necessidades de todas as áreas envolvidas no problema.

5.2.1 Definição do Problema

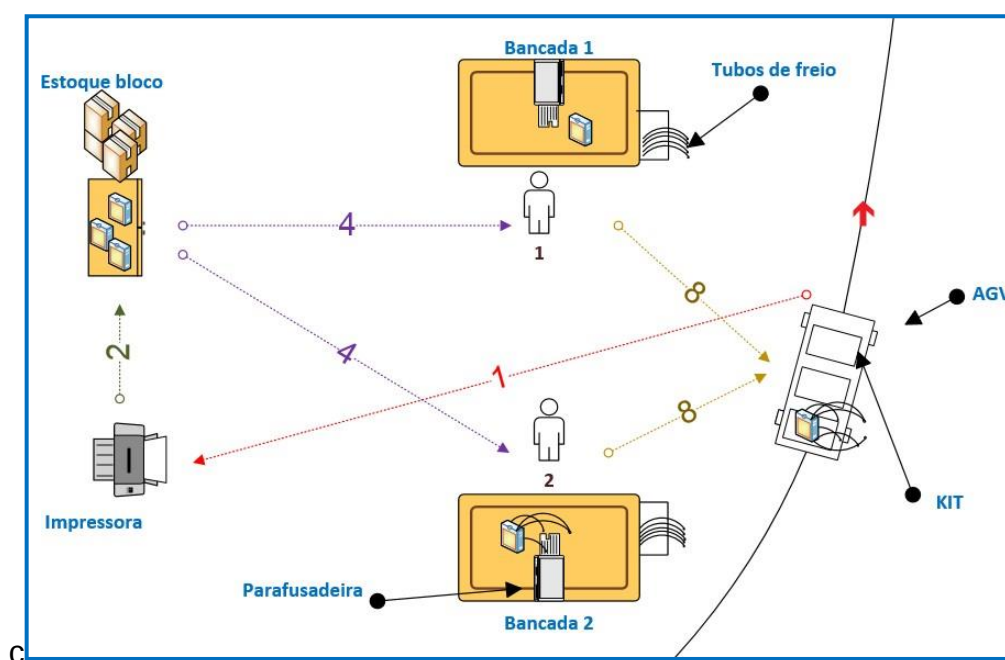
No trabalho proposto procura-se encontrar o melhor cenário que seja capaz de atingir o tempo de ciclo do posto de trabalho em questão, levando em consideração as opiniões conflitantes dos gestores.

O posto em estudo trata-se de um posto espelho, ou seja, dois operadores realizam a mesma função. A seguir será descrito as etapas que os operadores realizam:

- Caminhar até a impressora e pegar a etiqueta;
- Caminhar até o estoque de bloco ABS e pegar o bloco;
- Colar a etiqueta no bloco;
- Levar o bloco etiquetado até a mesa;
- Encaixar o bloco na mesa;
- Pegar tubos de freios e realizar o rosqueamento (6 tubos);
- Fixar os tubos no bloco utilizando a parafusadeira;
- Levar a peça pronta até o AGV.

A Figura 25 apresenta o percurso percorrido pelos operados nas etapas 1,2,4 e 8 citadas anteriormente.

Figura 25 - Representação do percurso realizado pelos operadores.



Fonte: A autora, 2020.

Cada AGV precisa sair do posto com 3 kits abastecidos, quando o operador abastecer o último kit, o mesmo aperta um botão e libera o AGV para o próximo posto.

Como mencionado, apesar do posto trabalhar com dois operadores realizando a mesma função, ainda não consegue atingir o tempo de ciclo. Um dos problemas observados é que algumas vezes a parafusadeira não funciona corretamente, nesse caso o operador precisa fazer o aperto com o torquímetro, o que aumenta ainda mais o tempo de ciclo do posto. Pode-se notar também, pela Figura 25, que o operador precisa se deslocar por várias vezes, esse deslocamento impacta negativamente no tempo de ciclo.

O presente trabalho tem como objetivo, aplicar a estrutura apresentada para gerar ideias de cenários que solucionem o problema e identificar a melhor alternativa levando em consideração diferentes critérios e opiniões.

5.3 FASE I

A fase 1 é constituída de 3 etapas: mapear aspectos, priorizar aspectos e selecionar indicadores.

5.3.1 Mapear aspectos

O ponto de partida para o desenvolvimento da estrutura é mapear as métricas que serão utilizadas para a criação dos cenários e para sua posterior avaliação. Para isso, essa fase compreende o estudo das diretrizes do GRI (Global Reporting Initiative). O GRI como mencionado anteriormente é um padrão de relatório utilizado internacionalmente, o documento apresenta indicadores de desempenho relacionado a fatores ambientais, sociais e econômicos. Como mencionado (seção 2.5), as diretrizes possuem 3 categorias, que se dividem em aspectos. Cada aspecto por sua vez apresenta indicadores de desempenho. Nessa etapa o principal objetivo é mapear os aspectos que são relacionados com o problema definido na etapa anterior.

A seguir são apresentados todos os indicadores mapeados do GRI, que possuem uma relação com o problema a ser resolvido (Tabela 6 e 7). A explicação detalhada do que aborda cada indicador pode ser visto em GRI, 2013.

Tabela 6 – Aspecto Econômico mapeado do GRI.

Fonte: Adaptada de GRI,2013.

Tabela 7 - Aspectos Sociais mapeados do GRI.

Categoria	Social
Subcategoria	Práticas trabalhistas e trabalho decente
Aspecto:	Emprego
LA1	Número total e taxas de novas contratações de empregados e rotatividade por faixa etária e região
LA2	Benefícios concedidos a empregados de tempo integral que não são oferecidos a temporários ou em regime de meio período, discriminados por unidades operacionais e organização
LA3	Taxas de retorno ao trabalho e retenção após licença maternidade/paternidade e gênero
Aspecto:	Relações Trabalhistas
LA4	Prazo mínimo de notificação sobre mudanças operacionais e negociação coletiva
Aspecto:	Saúde e segurança no trabalho
LA5	Percentual da força de trabalho representada por empregados de diferentes níveis hierárquicos e Saúde e segurança no trabalho
LA6	Tipos e taxas de lesões, doenças ocupacionais e relacionados ao trabalho, discriminados
LA7	Empregados com alta incidência de lesões e doenças ocupacionais
LA8	Tópicos relativos a saúde e segurança no trabalho
Aspecto:	Treinamento e desenvolvimento
LA9	Número de horas de treinamento e desenvolvimento
LA10	Programas de treinamento e desenvolvimento
LA11	Programas de treinamento e desenvolvimento
Aspect	

Fonte: Adaptada de GRI,2013.

Através do mapeamento de todos os aspectos foi possível verificar que dos 46 aspectos contemplados no GRI, apenas 14 estão relacionados ao problema apresentado. Houve, portanto, nessa etapa uma redução de 50 indicadores de desempenho do total de 91 apresentado nas Diretrizes GRI. O próximo passo priorizará os aspectos mais importantes.

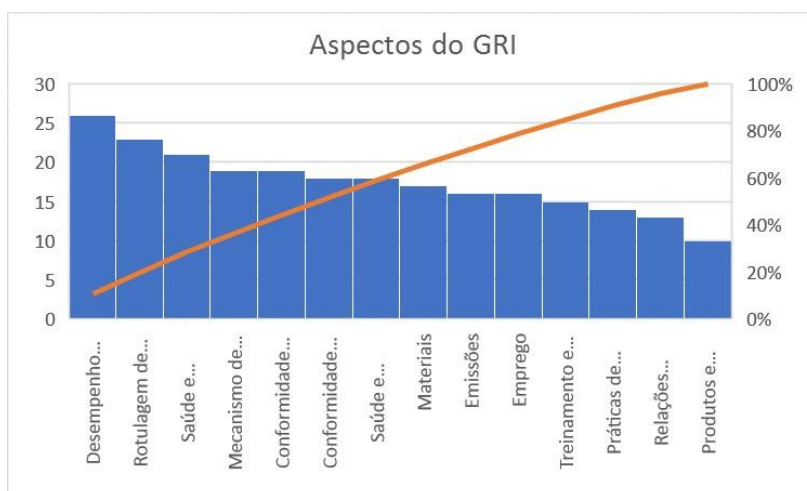
5.3.2 Priorizar aspectos

Para a priorização dos aspectos selecionados a etapa foi dividida em 2 partes. A primeira parte contou com a ajuda de profissionais de 3 áreas diferentes, os quais identificaram os aspectos mais importantes para cada área através de uma matriz de influência (Figura 26), onde colocaram pesos de 0-5 de acordo com a influência que cada aspecto tinha sobre os demais. O último passo dessa etapa foi a construção de um gráfico de Pareto com a Σ dos pesos encontrados. O intuito aqui é priorizar através da regra de Pareto os aspectos que mais influenciam os demais.

Figura 26 – Matriz de influência dos aspectos GRI

Fonte: A autora, 2020.

Figura 27 – Gráfico de Pareto: linha de corte dos aspectos GRI.



Fonte: A autora, 2020.

Utilizando a regra de 80/20 de Vilfredo Pareto, foram selecionados os 3 primeiros aspectos que mais impactam os demais. Como pode ser observado na Figura 27, foram selecionados os aspectos, Desempenho Econômico, Rotulagem de

Produtos e Serviços e Saúde e Segurança do Trabalho. A Tabela 8 apresenta todos os aspectos selecionados para o estudo.

Tabela 8 - Aspectos selecionados.

Aspecto:	Desempenho Econômico
EC1	Apresentar o valor econômico direto gerado e distribuído, incluindo receitas, custos operacionais, remuneração de empregados, doações e outros investimentos na comunidade, lucros acumulados e pagamentos para provedores de capital e governos.
EC2	Implicações financeiras e outros riscos e oportunidades para as atividades da organização devido a mudanças climáticas.
EC3	Cobertura das obrigações do plano de pensão de benefício.
EC4	Assistência financeira significativa recebida do governo.
Aspecto:	Saúde e segurança no trabalho
LA5	Percentual da força de trabalho representada em comitês formais de saúde e segurança, compostos por empregados de diferentes níveis hierárquicos, que ajudam a monitorar e orientar programas de Saúde e segurança no trabalho
LA6	Tipos e taxas de lesões, doenças ocupacionais, dias perdidos, absenteísmo e número de óbitos relacionados ao trabalho, discriminados por região e gênero
LA7	Empregados com alta incidência ou alto risco de doenças relacionadas à sua ocupação
LA8	Tópicos relativos a saúde e segurança cobertos por acordos formais com sindicatos
Aspecto:	Rotulagem de produtos e serviços
PR3	Tipo de informações sobre produtos e serviços exigidas pelos procedimentos da organização referente a informações e rotulagem de produtos e serviços e percentual de categorias significativas sujeitas a essas exigências
PR4	Número total de casos de não conformidade com regulamentos e códigos voluntários relativos a informações e rotulagem de produtos e serviços, discriminado por tipo de resultado
PR5	Resultados de pesquisas de satisfação do cliente

Fonte: Adaptada de GRI,2013.

5.3.3 Selecionar indicadores

Conforme descrito na seção anterior, cada aspecto do GRI apresenta um ou mais indicadores relacionados a ele. Dentro das Diretrizes GRI (2013), encontra-se um detalhamento do que cada indicador precisa contemplar. Esse detalhamento serve como base para selecionarmos os indicadores utilizados pela organização e agrupá-los de acordo com os aspectos selecionados. Nessa fase foi realizada comparação dos indicadores GRI com os da empresa, para facilitar o entendimento por parte dos envolvidos no estudo. Isso foi feito, pois é mais fácil para os tomadores de decisão avaliarem indicadores conhecidos da empresa, pois já os utilizam e sabem o que cada um representa, ao invés de apresentar novos indicadores que possuem características semelhantes, mas nomes diferentes, o que causará certa dificuldade na hora de realizar a comparação paritária entre eles. Contudo, caso não haja nenhum

indicador da empresa para representar os itens dos indicadores GRI selecionados, esses devem ser adotados para a avaliação.

A Tabela 9, apresenta a relação de indicadores provenientes da empresa em estudo, apontando em quais dos aspectos previamente selecionados eles se encaixam e qual indicador GRI eles se assemelham. Após a pesquisa pelos diversos indicadores da empresa, foram selecionados 25 que se encaixavam nas descrições dos aspectos selecionados.

Tabela 9 - Relação de Indicadores

Indicador da Organização	Cálculos e descrições	Aspecto GRI	Indicador GRI
SSAR	$\frac{\Sigma \text{veículos produzidos na ordem}}{\Sigma \text{veículos produzidos}}$	Rotulagem de produtos e serviços	PR5
GMF 3 MIS	$\frac{\text{nº reclamações}}{\text{quantidade peças produzidas} \cdot 1000}$	Rotulagem de produtos e serviços	PR5

Indicador da Organização	Cálculos e descrições	Aspecto GRI	Indicador GRI
Nº faltas operador	Σ faltas de operadores	Saúde e Segurança	LA6
FR0	nº de lesões de trabalho relacionadas ao trabalho, tratadas por um socorrista registrado no local.	Saúde e Segurança	LA6
FR1r	nº de acidentes de trabalho com ou sem perda, em que a lesão ocorre para cada milhão de horas trabalhadas (lesões graves: amputação, avulsão, choque, fratura ou luxação, corte profundo, queimadura não superficial, choque)	Saúde e Segurança	LA6
FR2r	Nº total de acidentes de trabalho com baixa por doença, seja qual for a lesão, ocorre para cada milhão	Saúde e Segurança	LA6
Acidentalidade	$\frac{\text{nº acidentes} \cdot 1.000.000}{\text{horas trabalhadas}}$	Saúde e Segurança	LA6
Nível engajamento segurança	quantidade de penalizações leves e graves por linha/mês	Saúde e Segurança	LA8
Nível complexidade	Identificar as posturas difíceis (agachado, de joelho, obstáculos à saltar, subir e descer escadas, de costas) classificar de acordo com a tabela.	Saúde e Segurança	LA7
Nível esforço exigido	Identificar os esforços importantes, classificar de acordo com a tabela.	Saúde e Segurança	LA7
Nível de ruído	Verificar se o ruído da zona de trabalho é inferior à 80 decibéis	Saúde e Segurança	LA7
Nível de iluminação	Verifica se a iluminação da área é adequada (para as operações normais: 250~800Lux)	Saúde e Segurança	LA7
Nível 5S	Posto de trabalho limpo, arrumado, com boas condições de trabalho	Saúde e Segurança	LA7

Indicador da Organização	Cálculos e descrições	Aspecto GRI	Indicador GRI
Cadência	$\frac{\text{volume}}{\text{tempo}}$	Desempenho econômico	EC1
R.O	$\frac{n^{\circ} \text{ peças boas}}{n^{\circ} \text{ peças que deveriam estar boas}}$	Desempenho econômico	EC1
Taxa NVA (Non Value Added)	$\frac{NVA}{Tact \text{ time}}$	Desempenho econômico	EC1
Ociosidade	$\frac{\sum \text{tempo ocioso da estação de trabalho}}{n^{\circ} \text{ de estações de trabalho} \cdot \text{tempo de ciclo}}$	Desempenho econômico	EC1
IFA	Avalia o fluxo logístico visando melhorar a performance da fabricação (eliminar NVA), leva em consideração, o nível de automação das estações de trabalho e do fluxo logístico, assim como se existe cruzamento de pessoas e veículos dentro da fábrica.	Desempenho econômico	EC2
Custo com Hora extra	Quantidade de horas extras feitas pela linha por mês	Desempenho econômico	EC1
Lead time	Tempo total para fabricar um veículo	Desempenho econômico	EC1
STR	$\frac{n^{\circ} \text{ peças não retrabalhadas}}{n^{\circ} \text{ total peças produzidas}}$	Desempenho econômico	EC1
VTU	(Valor de transformação Unitário): MOD + MOS + FIP + Impostos e Taxas + Amortização	Desempenho econômico	EC1
ROI	$\frac{\text{receita} - \text{investimento}}{\text{investimento}}$	Desempenho econômico	EC2
OEE	Overall Equipment Effectiveness = disponibilidade ($\sum$ Parada de máquina/setup/regulagens) x performance ($\sum$ queda de velocidade/ociosidade x qualidade ($\sum$ refugo/retrabalho))	Desempenho econômico	EC1
MTTR	$\frac{\text{Tempo total de reparo}}{\text{quantidade de falhas}}$	Desempenho econômico	EC1
FPPM	$\frac{\text{Tempo total} - \text{tempo perdido}}{N^{\circ} \text{ paradas}} \cdot 1000$	Desempenho econômico	EC1
Taxa de automação	$\frac{\text{Pontos automatizados da linha}}{\text{total de postos da linha}}$	Desempenho econômico	EC2
Taxa de utilização máquinas	$\frac{\text{horas máquina}}{\text{total horas de produção}}$	Desempenho econômico	EC1

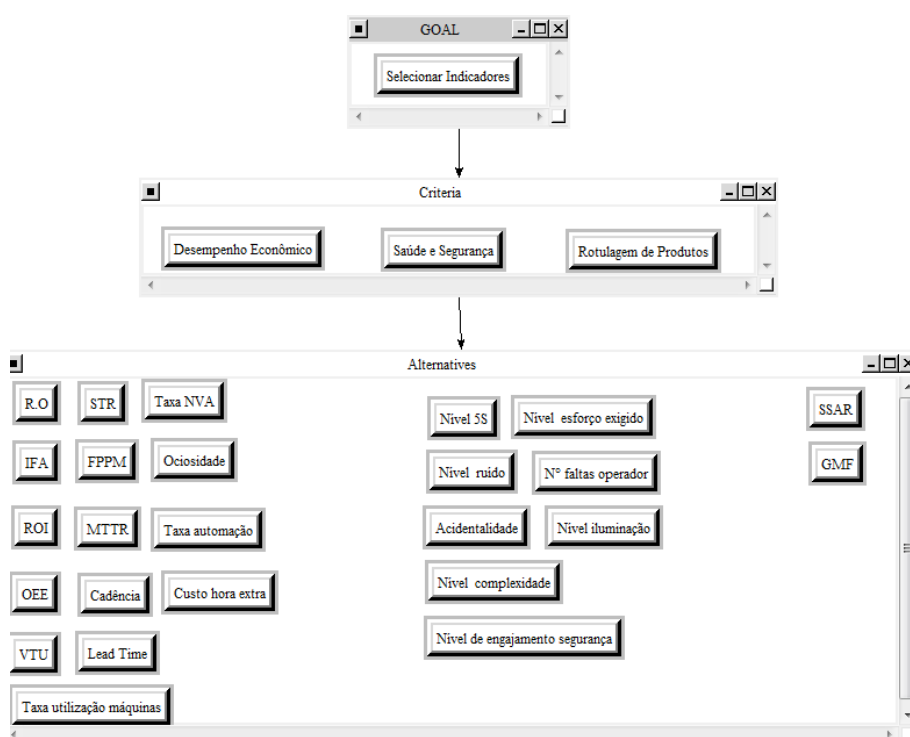
Fonte: autora, 2020.

Após a identificação dos indicadores da organização e relaciona-los aos indicadores e aspectos do GRI é necessário avaliar a importância de cada um deles ao contexto do problema. Para isso, foi utilizado o AHP, que foi capaz de ordenar de forma hierárquica os indicadores de acordo com a opinião dos entrevistados. Para essa etapa foram entrevistados 4 funcionários que estavam diretamente ligados ao projeto e que são de áreas diferentes: logística, performance, qualidade e segurança.

O primeiro passo foi a apresentação do funcionamento da tabela de comparações desenvolvida por Saaty (1979). Foi explicado que a escala utiliza

valores de 1 a 9, onde 1 significa mesmo grau de importância entre dois elementos e 9 quando um dos elementos é extremamente mais importante que o outro. A Tabela 2 mostra a escala adotada detalhadamente. Entendido o funcionamento da tabela de comparações, cada funcionário preencheu individualmente um questionário de importância dos critérios (aspectos). Além disso, a comparação dos indicadores foi realizada de forma separada onde 2 pessoas ficaram responsáveis para avaliar o aspecto Desempenho econômico, 2 pessoas avaliaram os indicadores dos aspectos Saúde e Segurança, e Rotulagem de Produtos e serviços. Essa divisão foi feita devido à grande quantidade de indicadores e o escasso tempo dos funcionários. As respostas dos questionários foram processadas pelo software *Super Decisions* (Figura 28 e 29). Por fim, a priorização dos indicadores é feita através de uma linha de corte na lista de indicadores usando a regra 80-20 de Pareto (Figura 30).

Figura 28 - Estrutura AHP para priorização dos indicadores.



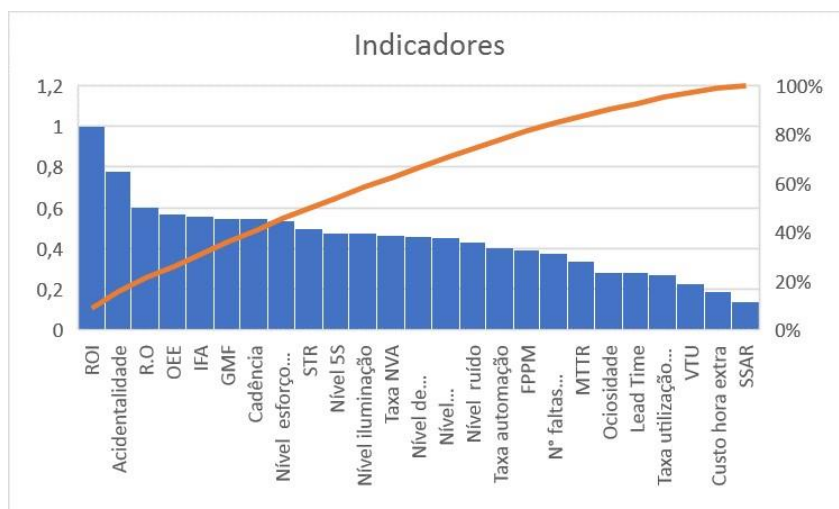
Fonte: A autora, 2020.

Figura 29 - Resultados da aplicação do AHP para priorização dos indicadores.

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Acidentalidade		0.777120	0.069027	0.034514
Cadência		0.547251	0.048609	0.024305
Custo hora extra		0.190856	0.016953	0.008476
FPPM		0.391390	0.034765	0.017382
GMF		0.547531	0.048634	0.024317
IFA		0.552570	0.049082	0.024541
Lead Time		0.282228	0.025069	0.012534
MTTR		0.334977	0.029754	0.014877
N° faltas operador		0.376951	0.033482	0.016741
Nível complexidade		0.450395	0.040006	0.020003
Nível esforço exigido		0.536016	0.047611	0.023806
Nível ruído		0.427516	0.037974	0.018987
Nível 5S		0.473826	0.042087	0.021044
Nível de engajamento segurança		0.459970	0.040857	0.020428
Nível iluminação		0.473826	0.042087	0.021044
Ociosidade		0.283023	0.025139	0.012570
OEE		0.584937	0.051957	0.025978
R.O		0.566159	0.050289	0.025144
ROI		1.000000	0.088824	0.044412
SSAR		0.136883	0.012159	0.006079
STR		0.495706	0.044031	0.022015
Taxa automação		0.403180	0.035812	0.017906
Taxa NVA		0.462769	0.041105	0.020553
Taxa utilização máquinas		0.274031	0.024341	0.012170
VTU		0.229070	0.020347	0.010173

Fonte: A autora, 2020.

Figura 30 - Gráfico de Pareto: linha de corte dos indicadores.



Fonte: A autora, 2020.

A linha de corte feita através da regra de Pareto selecionou 5 indicadores: ROI, acidentalidade, R.O, OEE e IFA.

5.4 FASE II - CONSTRUIR CENÁRIOS

Esta etapa tem como objetivo a construção de possíveis cenários futuros, visando melhorias no posto de trabalho. As sugestões de cenários são realizadas através de brainstorming, onde os participantes têm como base para sugerir melhorias os indicadores selecionados na etapa anterior. A Figura 31, apresenta uma breve descrição dos indicadores selecionados. Essa descrição foi mostrada aos participantes e é importante para entender o que cada indicador avalia, e assim criar soluções de cenários que melhorem os índices desses indicadores.

Figura 31 - Indicadores selecionados e seus fatores de avaliação

ROI	Acidentalidade	Rendimento Operacional
Retorno sobre o investimento. Resultado do ganho de um investimento e a quantidade de dinheiro investido.	Revela o número de lesões e/ou acidentes de trabalho por horas trabalhadas.	- Volume de produção; - Qualidade do produto; - Quebras e parada de máquinas.
OEE	IFA	
- Disponibilidade (parada de máquina), setup, regulagens); - Performance (queda de velocidade, ociosidade); - Qualidade (refugo, retrabalho).	- Abastecimento da linha; - Otimização fluxo; - Nível de automação; - Cruzamento pessoas/veículos; - Sincronização processos; - Eliminação NVA.	

Fonte: A autora, 2020.

Ao observar as características que esses 5 indicadores avaliam, nota-se que fatores como, eliminação de atividades sem valor agregado, aumento da performance das máquinas, redução do número de lesões e acidentes de trabalho, aumento da qualidade e volume de produção, são todas características importantes para aprovação de um projeto, além disso, é necessário avaliar se os cenários pensados para solucionar o problema estão dentro do orçamento e não ultrapassem o período estipulado pela empresa para o retorno do investimento. Todas, ou quase todas essas características precisam estar contempladas nos futuros cenários. Visto isso, foi realizada algumas reuniões com pessoas de áreas diferentes a fim de desenvolver

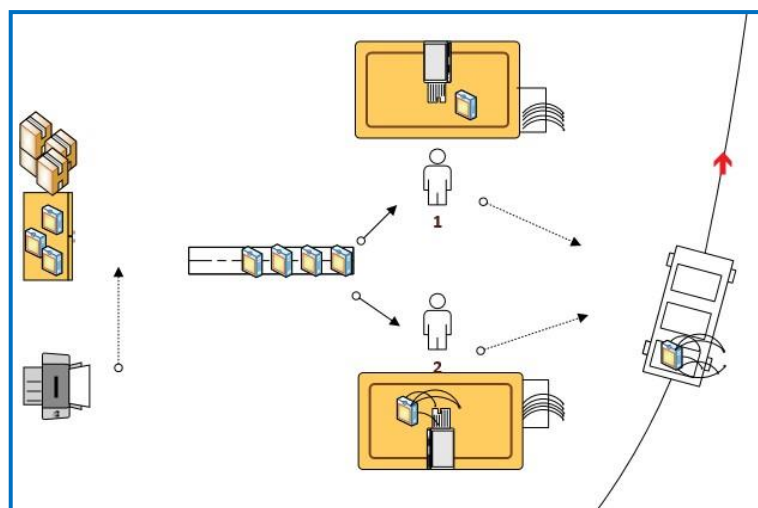
possíveis cenários que solucionariam o problema de tempo de ciclo do posto, e que incluiriam os fatores avaliados pelos indicadores.

A seguir serão descritos os 3 possíveis cenários futuros que foram criados através de algumas reuniões e participação de vários funcionários.

a) Alternativa 1

No cenário 1 permanece dois operadores, porém é instalada uma esteira entre os dois operadores, isso reduziria o tempo gasto com deslocamento. Nesse cenário o deslocamento que atualmente é feito pelos dois operadores a todo momento, será realizado, ocasionalmente, pelo supervisor da linha, que será chamado quando for necessário abastecer a esteira. Outro benefício da utilização da esteira é a organização que ela proporciona, o operador localiza e manuseia facilmente a peça, diminuindo o tempo da atividade e melhorando a ergonomia do posto, uma vez que o operador não precisa se curvar a todo momento para procurar e pegar a peça desejada. Um ponto negativo é a utilização de mais uma pessoa para abastecer a esteira. A Figura 32 representa o cenário 1.

Figura 32 – Representação do Cenário Futuro 1



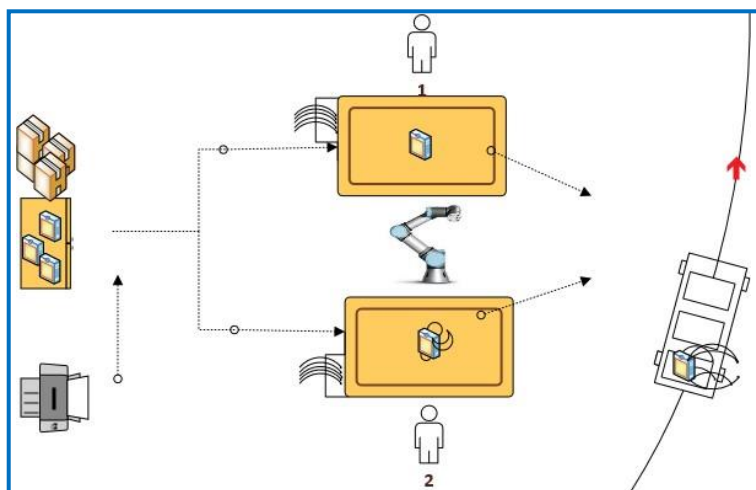
Fonte: A autora, 2020.

b) Alternativa 2

No cenário 2 temos a inclusão de um robô colaborativo, o posto de trabalho ainda permanece com 2 operadores, porém a etapa de torque final, que atualmente ocasiona problemas, será realizada pelo robô, gerando assim uma diminuição do tempo de ciclo do posto. A ergonomia também melhora, pois os operadores não

precisarão realizar os movimentos repetitivos exigidos pela parafusadeira, nesse cenário, porém ainda permanece a atividade de rosqueamento feita manualmente pelo operador. A Figura 33 representa o cenário 2.

Figura 33 – Representação do Cenário Futuro 2

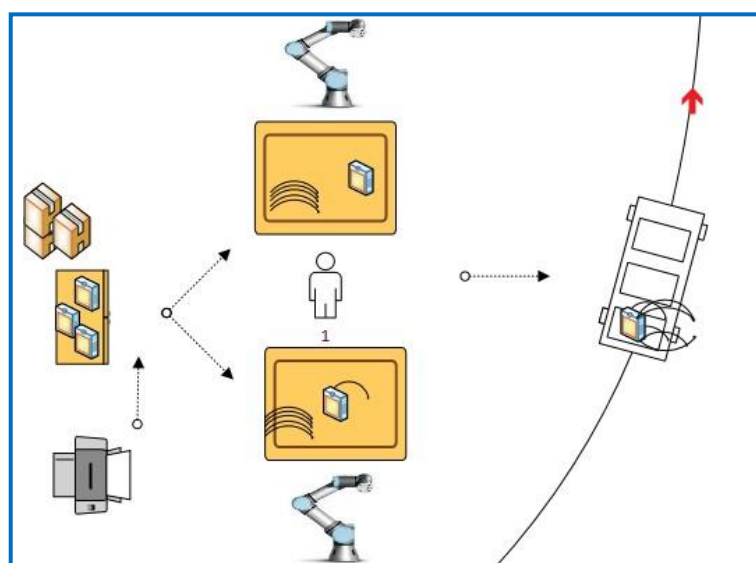


Fonte: A autora, 2020.

c) Alternativa 3

No cenário 3 temos a inclusão de dois robôs colaborativos e a necessidade de apenas um colaborador. A diferença desse cenário para o anterior é que os robôs realizaram as etapas de rosqueamento e torque final da peça. A Figura 34 representa o cenário 3.

Figura 34 – Representação do Cenário Futuro 3



Fonte: A autora, 2020.

5.5 FASE III - SIMULAR CENÁRIOS

A etapa de simulação compreende 3 etapas: planejamento, modelagem e experimentação.

5.5.1 Etapa de Planejamento

Nesta etapa define-se quais os objetivos que se pretendem alcançar com a simulação. O presente trabalho almeja representar o mais fielmente possível os cenários sugeridos para o posto de trabalho em estudo. Espera-se com isso, identificar como o posto de pré-montagem de blocos ABS irá se comportar com as novas mudanças, analisando as variáveis que podem interferir na performance do posto. Espera-se que a simulação mostre questões como tempo de ciclo, tempo entre falhas, cadência do posto, ociosidade, dentre outras.

O tempo de ciclo ideal sugerido é de 1,84 min. Esse tempo é o tempo estipulado e testado pelos responsáveis do posto para que a linha principal de montagem de veículos seja abastecida no momento correto.

5.5.2 Etapa Modelagem

A etapa de modelagem consiste na coleta dos dados, tradução, verificação e validação do modelo.

Como trata-se de um cenário futuro alguns dados como o tempo de rosqueamento e torque, utilizando um robô colaborativo no cenário 3, foram estimados através de pesquisas com robôs que realizam atividades semelhantes em outros postos. Para outros fatores que permanecerão iguais como, tempo entre chegada dos AGVs, tempo de deslocamento do operador entre a impressora e o estoque de bloco, tempo de deslocamento do operador entre a mesa de trabalho e o AGV, esses foram coletados através de observações *in loco*.

A empresa possui alguns dados padrões de tempo entre paradas (MTBF) e tempo de reparo (MTTR), para novos projetos. Dessa forma, foram utilizados esses dados para simular possíveis paradas do robô colaborativo.

A Tabela 10 mostra os principais dados de entrada utilizados na simulação.

Tabela 10 - Dados de Entrada do Modelo

Dados de entrada	
Tempo simulado	1 turno de trabalho (6:00 h)
Tempo de ciclo do robô	Erlang(6,2)
Tempo entre paradas longas	Erlang (600,2)
Tempo de reparo	ExpoNegat (5)
Tempo entre paradas curtas	Erlang (30,2)
Tempo de reparo	ExpoNegat (1,5)

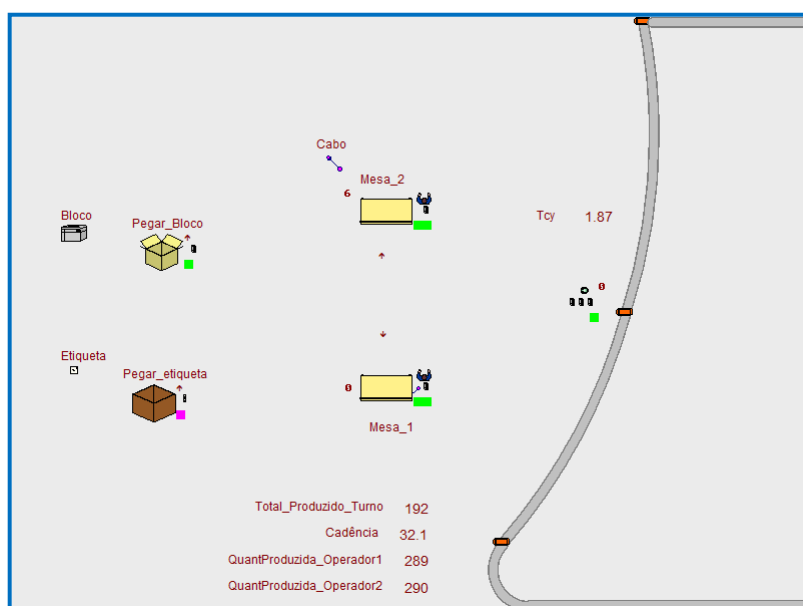
Fonte: A autora, 2020.

A tradução do modelo trata-se da transformação do modelo conceitual apresentado nas Figuras 32, 33 e 34 para o modelo computacional, para isso optou-se pelo software de simulação *Witness®* v.12. Este software foi escolhido pois é uma ferramenta disponibilizada pela fábrica.

Primeiramente foi construído o modelo da situação atual (Figura 35), verificando o grau de aderência ao sistema real.

A etapa de verificação e validação foi realizada por um analista de fluxos, que é responsável por realizar simulações de sistemas atuais e projetos futuros da empresa. Além disso, foram utilizados dados históricos de cronoanálises para comparar com os resultados encontrados.

Figura 35 – Simulação do Cenário Atual



Fonte: A autora, 2020.

Validado o modelo, iniciou-se as alterações sugeridas para cada cenário.

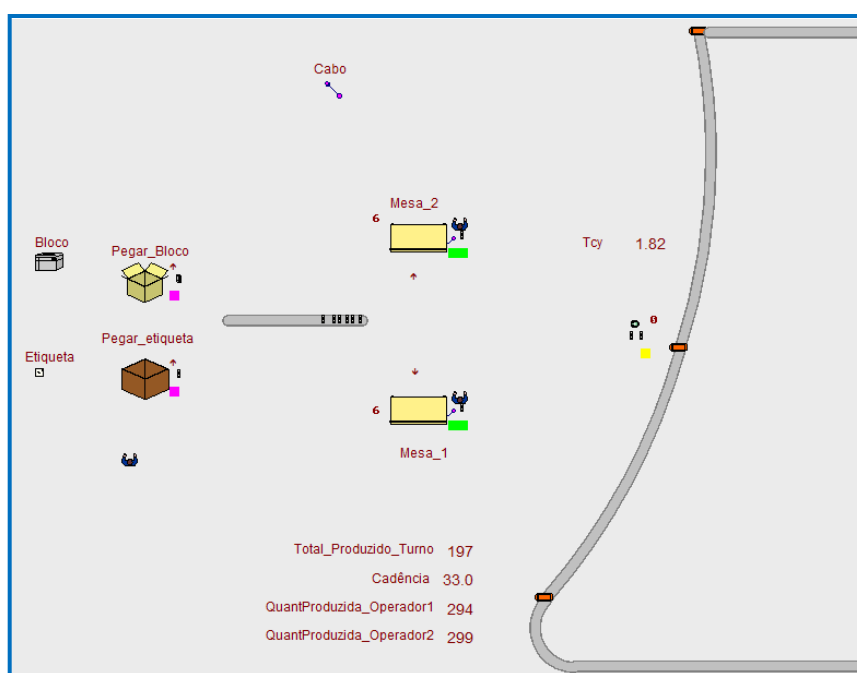
5.5.3 Etapa de Experimentação

Com o novo cenário modelado, iniciou-se o processo de experimentação, ou seja, foram realizadas simulações a fim de testar como o modelo irá se comportar, testando parâmetros como produção total durante o tempo de um turno de serviço, ociosidade dos operadores e verificando se a nova configuração do posto consegue atingir durante todo período simulado o tempo de ciclo requerido. A representação dos cenários simulados pode ser visto nas Figuras 36, 37 e 38.

a) Simulação Cenário 1

Como já foi mencionado anteriormente o cenário 1, pretende diminuir o tempo de ciclo do posto incluindo uma esteira para que possam ser colocados os blocos etiquetados mais próximos dos operadores, evitando o constante deslocamento.

Figura 36 – Simulação do Cenário Futuro 1

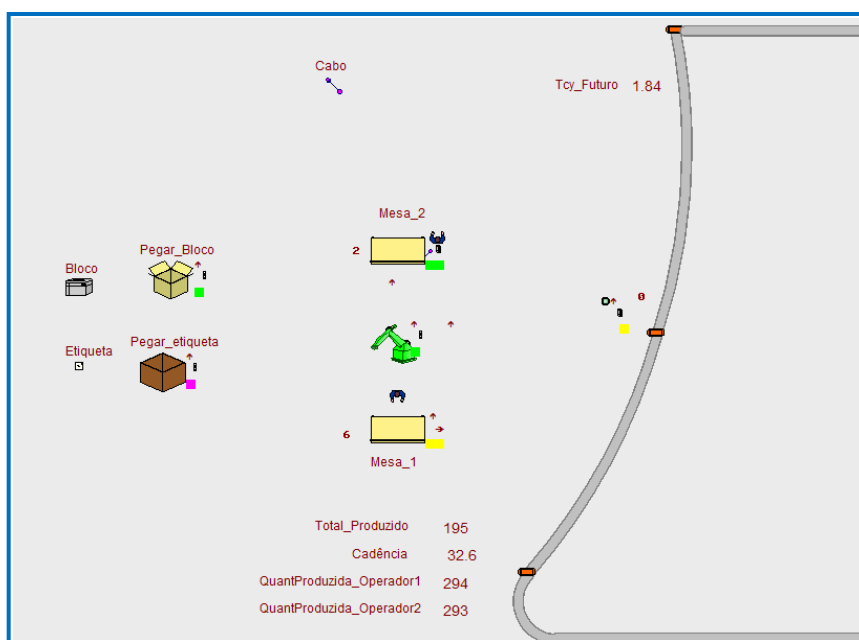


Fonte: A autora, 2020.

b) Simulação Cenário 2

No cenário 2 é considerado que a operação de torque é realizada por um robô colaborativo. Nesse cenário ainda são necessários 2 operadores.

Figura 37 – Simulação do Cenário Futuro 2

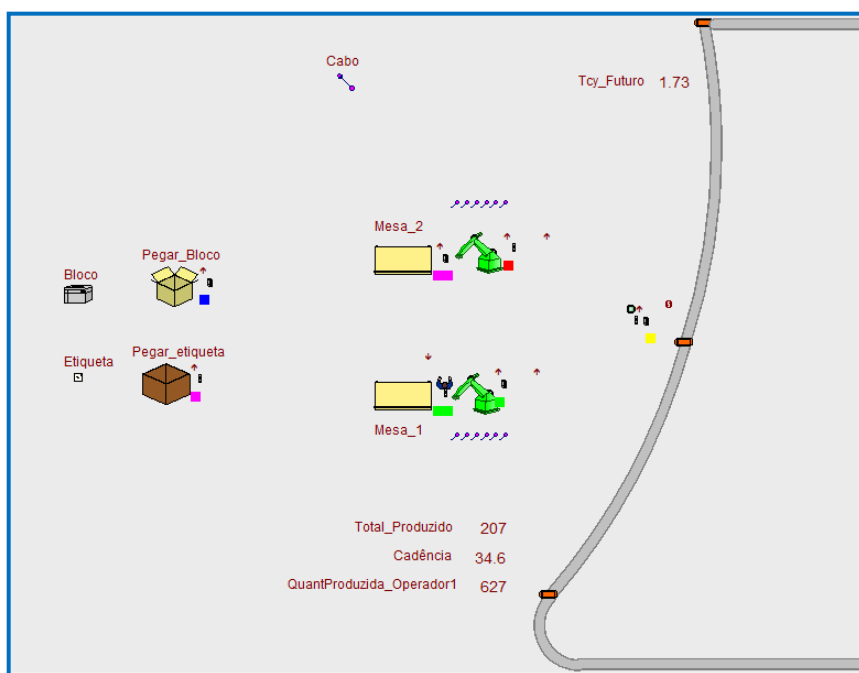


Fonte: A autora, 2020.

c) Simulação Cenário 3

No cenário 3 temos a inclusão de dois robôs colaborativos, realizando as etapas de parafusamento e o torque final. Nesse cenário a quantidade de operadores também diminui, será necessário apenas 1 operador.

Figura 38 – Simulação do Cenário Futuro 3



Fonte: A autora, 2020.

A Tabela 11 mostra a comparação dos dados de saída dos cenários simulados.

Tabela 11 - Comparação dos Resultados dos Cenários Simulados

	Quantidade Operadores	Ociosidade Operador (%)	Tempo de Ciclo do Posto (min)	Cadência do posto (hora)	Quantidade produzida operador 1	Quantidade produzida operador 2	Quantidade de AGVs liberados por turno
Cenário Atual	2	0%	1,87	32,1	289	289	192
Cenário Futuro 1	2,2	1%	1,82	33,0	294	299	197
Cenário Futuro 2	2	25%	1,84	32,6	294	293	195
Cenário Futuro 3	1	7%	1,73	34,6	627	-	207

Fonte: A autora, 2020.

Como pode ser observado na Tabela 11, todos os cenários futuros atenderiam o tempo de ciclo exigido do posto de trabalho de 1,84 minutos, porém a alternativa que apresentou o menor valor de tempo de ciclo foi a alternativa C (Cenário Futuro3) com 1,73 minutos.

Apesar de todos os cenários simulados estarem abaixo de 1,84 minutos é importante analisar algumas considerações.

No cenário 1, apesar do tempo de ciclo ficar abaixo do tempo proposto para o posto, foi necessário considerar a ajuda do supervisor da linha. Essa situação já acontece no cenário atual. Por vezes o supervisor precisa adiantar a etapa de colar a etiqueta no bloco e entregá-los para os operados, para que consigam trabalhar dentro do tempo de ciclo. Na simulação do cenário 1, sem a ajuda do supervisor para carregar a esteira, o posto ainda não atingiria o tempo de ciclo, ao contrário do que se havia imaginado antes da simulação. O supervisor necessitará estar 20% do seu tempo no posto de trabalho para que se consiga atingir o tempo de 1,82 minutos apresentado na simulação.

O cenário 2 conseguiu atingir exatamente o tempo de ciclo necessário, porém pode-se observar na Tabela 11 que os operadores ficaram 25% do tempo ociosos, pois existe apenas um robô para realizar o torque final, dessa forma algumas vezes coincidiu de os operadores terminarem o processo de parafusamento juntos, assim o torque final de uma das peças precisou aguardar o término da peça que foi levada ao robô antes.

O cenário 3 foi o que apresentou o melhor resultado, ficando bem abaixo do tempo de ciclo necessário, além disso precisará de apenas um operador, não apresentando muito tempo de ociosidade. Porém, é importante salientar que caso essa operação diminua muito o tempo de ciclo, como apresentado na simulação, certamente outro posto será o gargalo. Lembrando que no processo de *kitting*, a chegada muito antecipada da peça também pode ser um problema, pois pode se acumular na borda de linha, atrapalhando o fluxo.

5.6 FASE IV - PRIORIZAR CENÁRIOS

Uma vez que os cenários estão simulados e seus resultados fornecem informações que nos permite avaliá-los, inicia-se agora a etapa de priorização, realizada através da metodologia PROMETHEE, com a auxílio do software Visual PROMETHEE. A matriz de avaliação é demonstrada na Figura 39. Os critérios para avaliação são os indicadores selecionados, onde o peso de cada um dos critérios foi retirado da etapa Selecionar Indicadores por meio do AHP. Pode-se notar que no AHP esses indicadores eram utilizados como alternativas, já no PROMETHEE são usados como critérios.

Os critérios (indicadores) foram parametrizados em um único cluster. Já as unidades foram definidas de acordo com o critério avaliado em cada indicador. Para as preferências foi observado os objetivos de cada indicador (maximizar ou minimizar).

Figura 39 - Matriz de avaliação PROMETHEE.

Bertrand	ROI	Acidentalidade	R.O	OEE	IFA
Unit	R\$	unit	%	5-point	impact
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences					
Min/Max	min	min	max	max	min
Weight	28,72	22,34	16,26	16,80	15,88
Preference Fn.	V-shape	Linear	V-shape	Level	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	5,0	n/a	1,0	n/a
- P: Preference	\$ 15,000	30,0	2,0	2,5	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics					
Minimum	\$ 353.200,000	6,0	94,3	3,0	2,00
Maximum	\$ 432.000,000	18,0	98,9	5,0	4,00
Average	\$ 393.733,333	12,7	96,3	4,0	3,00
Standard Dev.	\$ 32.209,867	5,0	1,9	0,8	0,82
Evaluations					
Cenário A	\$ 353.200,000	18,0	94,3	average	low
Cenário B	\$ 432.000,000	14,0	95,9	good	moderate
Cenário C	\$ 396.000,000	6,0	98,9	very good	high

Fonte: A autora, 2020.

Os valores para avaliar cada cenário foram extraídos de diferentes formas. Para avaliar o indicador ROI, foi necessário calcular os custos envolvidos em cada um dos cenários, que estão discriminados na Tabela 12.

Tabela 12 - Custo anual por cenário.

	Operador	Robô	Esteira	Turno	Custo anual
Cenário A	2,2	0	1	2	\$ 353.200,00
Cenário B	2	1	0	2	\$ 432.000,00
Cenário C	1	2	0	2	\$ 396.000,00

Fonte: A autora, 2020.

Para o indicador acidentalidade foram estudados os riscos envolvendo lesões e acidentes em históricos do posto em estudo e de postos que tiveram a inclusão de robôs colaborativos. Com bases nas análises feitas desses postos foi avaliado cada cenário de acordo com a tabela de probabilidade de 3 pontos (Tabelas 13 e 14), onde:

- Lesões leves: são aquelas que não implicam o afastamento do trabalhador.

- Lesões graves: aquelas que implicam o afastamento do trabalhador (amputação, avulsão, choque, fratura ou luxação, corte profundo, queimadura não superficial, choque).
- Nível de complexidade: identificar as posturas difíceis (agachado, de joelho, obstáculos a saltar, subir e descer escadas, de costas) classificar de acordo com a tabela.
- Nível de esforço exigido: identificar os esforços importantes, classificar de acordo com a tabela.

Tabela 13 - Referência para pontuação probabilidade de acidentes.

Probabilidade	Pontuação
Baixa	1
Média	3
Alta	5

Fonte: A autora, 2020.

Tabela 14 - Pontuação em relação a probabilidade de acidentes por cenários.

	Lesões leves	Lesões graves	Nível de complexidade	Nível de esforço exigido	Total
Cenário A	5	3	5	5	18
Cenário B	3	3	5	3	14
Cenário C	3	1	1	1	6

Fonte: A autora, 2020.

Já para os indicadores R.O e OEE os dados foram retirados da simulação dos cenários (Tabela 11).

O IFA, indicador que geralmente é utilizado em linhas inteiras ou até mesmo na planta inteira, avalia diversos itens e fornece uma média de como determinado cenário está. Visto o quão amplo e complexo é o indicador, para esta aplicação foram selecionados apenas os itens dentro do indicador que podem ser avaliados no posto (Tabela 15).

Tabela 15 - Avaliação IFA dos cenários.

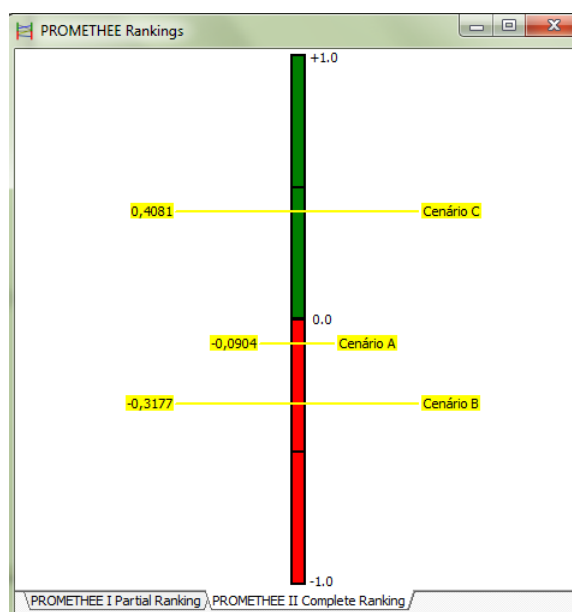
	Automatização	Eliminação de NVA	Sincronização dos processos	Resultado
Cenário A	N/A	Baixa	Baixa	Baixa
Cenário B	Média	Média	Média	Média
Cenário C	Alta	Média	Alta	Alta

Fonte: A autora, 2020.

Uma vez preenchido os dados, o software Visual PROMETHEE, calcula automaticamente os valores máximos, mínimos, média e desvio padrão dos indicadores. O programa auxilia na identificação das melhores soluções para cada critério, já que difere os resultados das alternativas em cada critério por cores (Figura 38), onde a melhor alternativa aparece em verde, a pior em vermelho, e os valores intermediários aparecem em preto. Assim, é possível ter análises parciais à medida que os valores são inseridos no programa. O resultado da priorização pode ser visto na Figura 40, que apresenta a função PROMETHEE Rankings. De forma clara, podemos ver na figura que a priorização dos cenários se dá de cima para baixo, ou seja, a melhor alternativa foi o Cenário C, estando bem à frente da demais.

Para a análise da sensibilidade dos resultados foram modificados os pesos das preferências dos critérios, dessa forma é possível comparar com a hierarquização encontrada anteriormente. Como vimos na Figura 40, a hierarquização dos cenários foi: Cenário C - A - B. Ao mudar o peso da preferência apenas do critério ROI, dobrando o seu valor percebeu-se que a sequência continuava a mesma, a hierarquização só mudou quando se atribui um valor 3 vezes maior que o encontrado mudando a sequência para: Cenário A – C – B. Ao mudar o valor dos demais critérios não houve mudança significativa dos resultados, apenas um empate na segunda opção. Podemos concluir então que a única variável que poderia interferir no resultado é o aumento da importância do critério ROI.

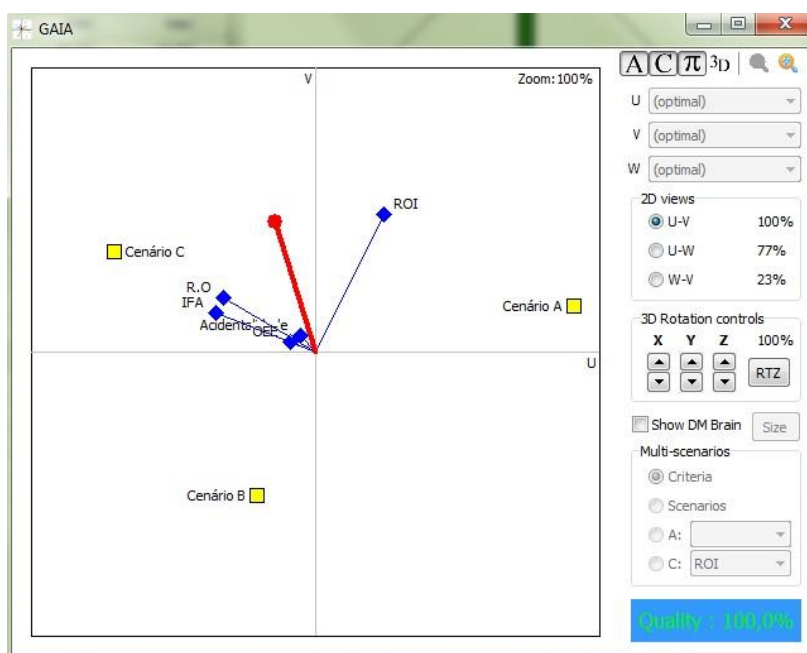
Figura 40 - Priorização dos cenários pelo PROMETHEE.



Fonte: A autora, 2020.

Para completar a análise anterior, a Figura 41 apresenta a função Gaia, onde o gráfico mostra um panorama global dos critérios e alternativas em forma multidimensional. É possível dessa forma verificar o resultado de cada alternativa em relação a um determinado critério. Pode-se notar, por exemplo, que a apesar de alguns critérios ficarem bem próximos da alternativa B (cenário B), ele não apresentou vantagem em nenhum dos critérios (indicadores).

Figura 41 - Panorama global das alternativas no PROMETHEE.



Fonte: A autora, 2020.

5.7 AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO

Os resultados obtidos através da aplicação da estrutura proposta se mostram satisfatórios. A abordagem consegue integrar conhecimentos quantitativos e qualitativos, permitindo decisões mais assertivas ao passo que permite ranquear e selecionar os cenários. Outra contribuição importante é a utilização dos indicadores de desempenho servindo como base para geração de ideias, pois permitem enxergar o que o cenário atual precisa melhorar em diferentes perspectivas.

A customização de escolha de indicadores para criação e avaliação de cenários é outra contribuição do método, conforme demonstrado, é possível adequar o processo (ambiente de avaliação) ao contexto e direcionamento da empresa. Assim,

a estrutura de avaliação torna-se dinâmica, permitindo a inclusão ou retirada de indicadores, e alterações nos pesos estipulados a estes dependendo do contexto.

A simulação contribui de forma significativa para a estrutura de apoio a decisão, já que permite verificar os impactos das alterações sem perturbar o sistema real. A ferramenta, portanto, traz alguns insights para a avaliação dos cenários, contribuindo também com a ferramenta PROMETHEE, já que fornece dados para avaliação mais robustos.

Sob a ótica da avaliação dos resultados do estudo de caso, as avaliações realizadas a partir da aplicação da estrutura permitiu que as decisões fossem feitas de forma mais embasadas e justificáveis. O resultado da aplicação da estrutura resultou na escolha do Cenário C. Para embasar e justificar a escolha podemos analisar que o Cenário C apesar de não apresentar a maior pontuação no critério avaliado como o mais importante entre os entrevistados, ROI, ainda sim foi escolhido, pois apresentou melhor desempenho nos demais indicadores. Por exemplo, no critério Acidentalidade, esse cenário foi avaliado como o mais seguro devido sua performance dentro dos critérios que compõem o indicador, apresentando a metade do fator de risco do cenário A, que teve a pior avaliação nesse quesito. Outro fator que contou a favor do cenário C, foi a taxa de automação. Dentro do indicador IFA, esse é um dos critérios mais relevantes, e em projetos paralelos analisados dentro da empresa, a automação apareceu como um forte indicativo de aprovação de projetos, desde que esteja dentro da taxa de retorno estabelecida pela empresa.

Logo, a ferramenta se mostra adequada para o seu propósito de auxílio a tomada de decisão em relação a cenários de processos. A aplicação de várias metodologias juntas resultou em uma análise sólida e interessante. Uma vez que as empresas possuem diversos dados à disposição, a integração dessas metodologias pode melhorar a qualidade de tomada de decisão e como consequência aumentar a confiabilidade das ações futuras.

Como pôde ser visto no estudo de caso, o modelo desenvolvido foi capaz de juntar informações quantitativas e qualitativas tendo como base os indicadores de sustentabilidade do GRI. Pode-se notar que a qualidade da aplicação da ferramenta em relação aos indicadores de sustentabilidade depende muito do grau de maturidade em sustentabilidade que a empresa e os funcionários possuem, pois, o nível de conhecimento dos profissionais em relação ao cumprimento de metas sustentáveis pode direcionar a estrutura da tomada de decisão. Além disso, como a ferramenta

pode ser aplicada em diferentes contextos e setores, e entendendo que cada área possui suas peculiaridades e diferentes necessidades em relação aos indicadores de sustentabilidade, pode ocorrer que ao invés de tentar selecionar indicadores dos três pilares, social, ambiental e econômico, um determinado setor coloque o foco em apenas uma ou duas das três dimensões. Isso pode ser visto no estudo de caso, onde apesar da empresa em estudo possuir uma forte iniciativa em questões sociais e ambientais, o setor onde foi aplicado o estudo prioriza o fator econômico, e como a opinião pessoal faz parte da tomada de decisão, os resultados foram direcionados a esta esfera. Pode-se notar que dos 5 indicadores selecionados como mais influentes, 4 deles se encontram na esfera econômica e apenas um na social. Apesar desse resultado poder ser justificado pelo contexto em questão, fica claro que a aprendizagem socioambiental interfere nos resultados, e que a análise dos indicadores de sustentabilidade pode apresentar variações de importância dependendo do contexto, áreas, empresas e serviços prestados.

Apesar disso, o GRI se mostrou como um grande direcionador para a construção de cenários, através dele e da ferramenta AHP foi possível entender quais indicadores eram mais importantes e como eles interferem nos demais indicadores. Uma vez que se entende como são calculados os indicadores e o que pretende medir, foi possível enxergar as melhorias que deveriam ser feitas no ambiente em estudo para que o mesmo apresentasse uma melhor performance nesses indicadores e por consequência nas demais métricas aos quais eles interferem.

A visão fornecida pelos indicadores selecionados, proporcionou as pessoas que participaram do *brainstorming* construir melhores cenários. Isso pode ser explicado, pois à medida que os profissionais envolvidos na problemática se esforçavam para descobrir como melhorar os indicadores, as soluções de cenários foram surgindo e se aprimorando através do *brainstorming*. A abordagem, portanto, pode ser considerada como um facilitador na construção de cenários futuros. Essa situação é de grande valia, pois o processo de simulação é algo que requer muito tempo, principalmente em ambientes complexos e essa junção de ferramentas pode realizar um direcionamento na criação de cenários para a simulação, tornando o processo de tomada de decisão mais rápido. O PROMETHEE, por sua vez, complementa a análise feita pela simulação abrangendo as questões quantitativas e qualitativas, auxiliando na escolha do melhor cenário após a simulação das alternativas.

Deve-se levar em conta que para atingir esse resultado, a ferramenta precisou ser alimentada com dados consistentes, dessa forma a simulação computacional se mostrou uma aliada para a ferramenta PROMETHEE, uma vez que para medir o desempenho dos cenários em relação a alguns indicadores é necessário mais que apenas a opinião dos envolvidos. A simulação é capaz de fornecer dados de entrada consistentes, dessa forma o PROMETHEE considera dados mais sólidos em sua análise, garantindo uma maior aderência a realidade. A ferramenta também é capaz de expor comportamentos imprevistos do sistema, como foi o caso do primeiro cenário estudado, onde pôde-se perceber que sem a ajuda do supervisor da linha a alternativa 1 ainda não conseguiria atender o tempo de ciclo proposto, ou seja, a simulação foi capaz de mostrar como o sistema realmente iria se comportar, apresentando um resultado diferente do que se havia imaginado.

5.8 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Todas as ferramentas utilizadas durante a etapa da avaliação, demonstram serem pertinentes ao contexto da pesquisa, permitindo atingir os objetivos previamente estipulados. A integração das diferentes ferramentas, portanto, auxiliam na criação e seleção de cenários permitindo que critérios quantitativos e qualitativos fossem levados em consideração, o que é essencial para o alcance dos resultados.

A primeira ferramenta a ser utilizada é a matriz de influência, que juntamente com o gráfico de Pareto, prioriza os aspectos do GRI mais influentes dentro do contexto da empresa. Uma vez selecionados os aspectos, quem contém vários indicadores, é utilizado o método AHP para selecionar os indicadores. O AHP, através da comparação paritária, permite avaliar todos os indicadores, e ponderar os pesos relacionados a cada um deles. Essa etapa, além de contribuir para a criação de cenários, já que a partir dos indicadores com maior avaliação foi possível montar cenários que visassem melhor a performance. Ela também contribui com a etapa final do PROMETHEE, ao atribuir pesos aos indicadores, servindo então com input para a aplicação do PROMETHEE. Logo após a construção dos cenários, realizado através de brainstorming, eles são simulados, para fornecer insights sobre o impacto das mudanças no sistema real, através da simulação pode-se tirar alguns pesos relacionados a performance de cada cenário, que também servirão de input para o PROMETHEE.

O último método aplicado, o PROMETHEE, é utilizado para fazer a classificação das alternativas. Através dele é possível determinar qual o cenário com melhor avaliação, considerando diferentes critérios e opiniões divergentes.

Assim, o resultado alcançado após a aplicação de todas essas ferramentas visa a ordenação das alternativas, auxiliando os tomadores de decisão a conseguirem enxergar mais facilmente os prós e contras de cada uma das alternativas e tomarem suas decisões de forma mais analítica.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma contextualização sobre a integração de métodos multicritérios e a simulação computacional como apoio a tomada de decisão. Tal contextualização aponta que essa abordagem pode tornar a análise do problema mais consistente. Os resultados encontrados no trabalho confirmaram os resultados apontados por outros autores que abordaram o mesmo tema, mostrando que a integração de ferramentas multicritério com a simulação computacional pode ser de grande interesse para lidar com questões de incerteza em grandes cenários de manufatura. O trabalho também aborda a questão da sustentabilidade trazendo os indicadores de desempenho do GRI como direcionadores para construção de cenários futuros, e também servindo como critérios avaliativos das alternativas construídas.

Um aspecto relevante da estrutura foi a sua capacidade de lidar com um problema complexo, identificando de maneira clara quais os aspectos eram mais relevantes ao contexto e explicitando as preferências dos decisores para cada um dos aspectos. Essa questão é importante, pois apesar dos tomadores de decisão saberem quais são suas preferências, a estrutura consegue hierarquizá-las, justificando a escolha de uma alternativa em detrimento de outras. Esse foi considerado um ponto importante para os decisores, pois segundo eles, a estrutura deixou claro suas justificativas e trouxe um embasamento maior para ganhar a aprovação do projeto.

A integração e customização de ferramentas de apoio a tomada de decisão tem se mostrado uma iniciativa essencial, e a estrutura proposta colabora para que essas ferramentas sejam cada vez mais difundidas dentro das organizações. A abordagem se mostrou útil no auxílio aos gestores no processo de tomada de decisão. Os problemas enfrentados por estes profissionais, geralmente envolvem diversas variáveis e incertezas, dessa forma precisam cada vez mais de ferramentas que apoiem a tomada de decisão, garantindo melhores resultados de forma rápida.

Um ponto a se observar é que apesar da estrutura direcionar a escolha de cenários, é necessário levar em consideração a disponibilidade e confiabilidade da base de dados da organização, assim como, o grau de importância que os colaboradores dão aos aspectos da sustentabilidade para uma melhor exploração da estrutura. A escassez de dados para alimentar a simulação e a falta de preocupação uniforme entre as 3 dimensões da sustentabilidade, podem comprometer o uso da

estrutura proposta, uma vez que a tomada de decisão baseada na estrutura necessita desses requisitos para ser feita.

Através da ferramenta desenvolvida espera-se que a escolha de cenários futuros de sistemas produtivos possa ser adequada aos requisitos da sustentabilidade e assim contribuam para um plano de desenvolvimento viável a organização. Além disso, uma vez que os aspectos sejam mapeados para uma determinada área, a próxima análise nessa mesma área pode ser feita a partir dos aspectos já mapeados, o que economizaria tempo nas futuras tomadas de decisão. Ou seja, a estrutura gera uma base de conhecimento que proporciona posterior utilização.

Em relação ao alcance dos objetivos específicos apresentados, (I) foi realizada a revisão da literatura refere aos temas Tomada de Decisão, Simulação Computacional, Métodos Multicritérios de Apoio a Tomada de Decisão e Indicadores de desempenho GRI. (II) A partir da revisão feita das Diretrizes do GRI, foi possível mapear e selecionar os indicadores de desempenho mais apropriados ao contexto em estudo. (III) Após selecionadas, as métricas serviram como direcionadores de características importantes para incorporarem as alternativas de cenários futuros. (IV) Por fim, foi possível selecionar o cenário que mais traria benefícios processo em estudo, (V) e para melhor entendimento da estrutura proposta, foi aplicada a estrutura em um sistema produtivo real, o qual apresentou resultados satisfatórios segundo a avaliação dos gestores que contribuíram com a análise do estudo. Isto posto, pode-se dizer que todos os objetivos do estudo foram alcançados.

Em relação a relevância do estudo, pode-se destacar a grande mudança de atitude por parte das organizações em relação a sustentabilidade. Muitas empresas vêm demonstrando crescente preocupação com essa questão e utilizando os indicadores de sustentabilidade como forma de medição atreladas as suas estratégias. Além disso, com a crescente utilização da simulação como apoio à tomada de decisão em projetos, principalmente nas indústrias, uma estrutura que auxilie antes da simulação, com a capacidade de construir cenários mais assertivos, e depois com a hierarquização desses cenários é de grande valia para as organizações.

Como limitações da pesquisa apontar-se a análise paritária do AHP feita no estudo de caso, a qual foi dividida entre os entrevistados devido ao escasso tempo dos tomadores de decisão, assim a escolha dos indicadores representou a preferência apenas das pessoas de uma determinada área, seria interessante ver a inclinação do

grupo de decisores das diferentes áreas envolvidas. Na etapa da simulação a obtenção dos dados de entrada também pode ser considerada uma limitação do estudo, pois o tempo de ciclo do robô colaborativo foi considerado analisando alguns modelos de robôs que realizam processos semelhantes, porém esses dados podem não representar perfeitamente a situação futura do posto.

Outra limitação é a aplicação em apenas um setor de negócio, como a proposta é de uma estrutura que possa ser utilizada em diferentes áreas e setores, seria interessante em trabalho futuros a aplicação dessa estrutura híbrida em diferentes empresas ou setores, buscando comprovar a sua generalização e utilidade. A utilização da estrutura de apoio a decisão em ambientes com diferentes níveis de maturidade em relação a importância dada as dimensões de sustentabilidade também seria interessante, assim pode-se verificar se há influência entre os resultados em função do nível de entendimento dos 3 pilares da sustentabilidade. Outro ponto a se considerar seria um estudo complementar que pondere a importância dos indicadores selecionados, realizado através de pesquisa com especialistas na área, com o objetivo de validar se o conjunto de métricas selecionados são os mais adequados a realidade do mercado. Outra sugestão, seria propor estudos que utilizassem somente uma das ferramentas, por exemplo, só a simulação, ou só um método MCDM aplicados no mesmo problema para mostra quais os resultados obtidos com apenas um dos métodos, buscando identificar as dificuldades encontradas e assim evidenciar os benefícios gerados pela integração da estrutura proposta.

Como mencionado no início do trabalho apesar da simulação sozinha já beneficiar os gestores com uma amostra de como irá se comportar uma possível mudança, foi através do direcionamento da construção dos cenários que foi possível conduzir a aplicação da simulação. Esse direcionamento, economiza tempo e dinheiro, uma vez que serão simulados somente cenários relevantes ao estudo. Outra vantagem da integração é conseguir selecionar os cenários simulados. A simulação mostra os benefícios de cada cenário, mas é o método multicritério que pode analisar de maneira quantitativa e qualitativa qual deles é o mais relevante, permitindo contemplar além dos dados fornecidos pela simulação as opiniões dos gestores. Dessa forma a integração das ferramentas pode representar um diferencial competitivo para as empresas, pois requer a interação de diversas áreas envolvidas, além disso a junção dos métodos multicritério com a simulação permite avaliar diferentes tipos de dados tornando o modelo mais sólido.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. **Modelo de decisão multicritério para a priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE**. *Gestão e Produção*, v. 9, p. 201-214, 2002. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2002000200007> > Acesso em 29 jun 2020.
- ALMEIDA, Adiel T. de. **O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão**. 2ed, Recife, Universitária /UFPR, 2011.
- ALRABGHI, A.; TIWARI, A. State of the art in simulation-based optimisation for maintenance systems. **Computers and Industrial Engineering**, v. 82, p. 167–182, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2014.12.022>>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- ATIEH, A. M.; KAYLANI, H.; ALMUHTADY, A.; AL-TAMIMI, O. A value stream mapping and simulation hybrid approach: application to glass industry., p **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 84, 1573–1586, 2016.
- AZADEH, A.; IZADBAKHS, H. Integration of DEA and AHP with computer simulation for railway system improvement and optimization. **Applied Mathematics and Computation**, v 195, p. 775–785, 2008.
- AZADEH, A.; NAZARI-SHIRKOUHI, S. A unique fuzzy multi-criteria decision making: computer simulation approach for productive operators assignment in cellular manufacturing systems with uncertainty and vagueness. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, p. 329–343, 2011.
- AZADEH*, A.; FAIZ, Z. S.; ASADZADEH, S. M. An integrated artificial neural network-computer simulation for optimization of complex tandem queue systems. **Mathematics and Computers in Simulation (MATCOM)**, Elsevier, vol. 82(4)., v. 82, p. 666–678, 2011.
- AZADEH, A.; KERAMATI, A.; KARIMI, A.; SHARAH, Z. J.; POURHAJI, P. Design of integrated information system and supply chain for selection of new facility and suppliers by a unique hybrid meta-heuristic computer simulation algorithm. **Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 71, p. 775–793, 2014.
- BANKS, J.; CARSON J. S.; NELSON B. L.; NICOL, D. **Discrete-event system simulation**. New Jersey: Prentice-Hall, 3ed., 2001. 594 p.
- BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. D.; GOG, T. J.; HARRELL, C. R; MOTT, J. R. A.; MONTEVECHI, J. A. B. **Simulação de Sistemas: Aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Campus/Elsevier, 2013. 184 p.
- BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R. B.; ALBADVI, A.; AGHDASI, M. PROMETHEE: A Comprehensive Literature Review on Methodologies and Applications. **European Journal of Operational Research**, Vol. 200 Issue: 1, 2010.

BENSMAINE, A.; DAHANE, M.; BENYOUCEF, L. A simulation-based genetic algorithm approach for process plans selection in uncertain reconfigurable environment. **IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)**, p. 1961–1966, 2013.

BERTONCINI, C.; BRITO, A.; LEME, E.; SILVA, I.; SILVA, T. F.; PERRI, R. A. **Processo Decisório: A Tomada de Decisão. Faculdade de Ciências Jurídicas e Gerenciais.** São Paulo, 2012. Disponível em: <faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/.../QjxDDqGcS5r3dHL_2013-5-3-12-8-34.pdf>. Acesso em: 02 out 2019.

BOGDANOVIC, D.; NIKOLIC, D.; ILIC, I. Mining Method Selection by Integrated AHP and PROMETHEE Method. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 84, 2011.

BRIOZO, R. A.; MUSETTI, M. A. Método Multicritério de Tomada de Decisão: Aplicação ao Caso da Localização Espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento – UPA 24 h. **Gestão & Produção**, v. 22 No.: 4, 2015.

CAMPOS, V. R. **Modelo de Apoio à Decisão Multicritério para Priorização de Projetos em Saneamento.** Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CARAVANTES, G.; PANNO, C.; KLOECKNER, M. **Administração: teorias e processo.** São Paulo: Pearson, 2005. 572 p.

CARVALHO, Fernanda de Medeiros. **Análise da Utilização dos Indicadores Essenciais da Global Reporting Initiative nos Relatórios Sociais em Empresas Latino-Americanas.** 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) - FACC/UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

CASARIN, H. C. S.; CASARIN, S. J. C. **Pesquisa Científica: da teoria à prática.** Curitiba: Ibplex, 2012. 200p.

CERTO, S. C. Supervisão: **Conceitos e Capacitação.** 6º Edição. Rio de Janeiro: Editora AMGH Ltda, 2010. 561 p.

CHAN, F. T. S.; JIANG, B.; TANG, N. K. H. The development of intelligent decision support tools to aid the design of flexible manufacturing systems. **International Journal of Production Economics**, v. Vol. 65, n. No. 1, p. 73–84, 2000.

CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração.** 7. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003. 630 p.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos.** São Paulo, 2006. 254p.

DAVIDSON, A. D.; CAMPBELL, M. L.; HEWITT, C. L. The role of uncertainty and subjective influences on consequence assessment by aquatic biosecurity experts. **Journal of Environmental Management**, v. 127, p. 103–113, 2013.

DREHER, A.; GASSEBNER, M.; SIEMERS, L.H.R. Globalization, Economic Freedom, and Rights. **Journal of Conflict Resolution**, v.56, n.3, p. 516-546, 2012.

DWEIRI, F.; KUMAR, S.; KHAN, S. A.; JAIN, V. Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. **Expert Systems with Applications**, v. 62, p. 273–283, 2016.

EHRLICH, P. J. **Pesquisa Operacional: curso introdutório**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 1985. 303p.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. **Processo de construção de indicadores para a avaliação de desempenho**. In: V Ciclo de debates - Avaliação de Políticas Públicas, 2009.

FANTINATTI, P. A. P.; ZUFFO, A. C.; FERRÃO, A. M. A. **Indicadores de sustentabilidade em engenharia: como desenvolver**. Rio de Janeiro: Elsevier, p.241 – 242, 2015.

FREITAS, F. P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas**. Florianópolis: Visual Books, 2001. 320 p.

FRAZZON, E. M.; ISRAEL, E.; ALBRECHT, A.; PEREIRA, C. E.; HELLINGRATH, B. Spare parts supply chains' operational planning using technical condition information from intelligent maintenance systems. **Annual Reviews in Control**, v. 38, n. 1, p. 147–154, 2014. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.arcontrol.2014.03.014>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

GARZA-REYES, J.A. An Investigation into Some Measures of Manufacturing Performance: Overall Equipment Effectiveness (OEE), Process Capability (PC), OEE+ and ORE. Saarbruecken: **Lambert Academic Publishing**, 2010. 340p.

GASPARINO, Marcelo Fernandes. Análise de Relatórios de Sustentabilidade, com Ênfase na GRI: Comparação entre Empresas do Setor de Papel e Celulose dos Estados Unidos e Brasil. In: ENANPAD, XXX, 2006, Salvador/BA. **Anais do XXX EnAnpad**. Salvador/BA:2006, CD-ROM.

GAVIRA, M. O. **Simulação Computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002. 192p.

GODOI, C. **Revista Gestão Industrial**. Método De Construção Das Matrizes De Julgamento Paritários No Ahp – Método Do Julgamento Holístico A Method For Building A Pairwise Comparison Matrix In Ahp - Wholistic Assessment Method, p. 474–493, 2014.

GOMES, L. F. A. M. **Teoria da decisão**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2007. 116 p.

GRANDZOL, J.R. Improving the faculty selection process in higher education: A case for the analytic hierarchy process. **IR Applications**, v. 6, n. 24, 2005.

GRI. **G4. Diretrizes para Relato de Sustentabilidade**. 2013. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3368600/mod_resource/content/1/Brazilian-Portuguese-G4-Part-One.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2020.

GUGLIELMETTI, F. V.; GUGLIELMETTI, F. V.; MARINS, F. A. S.; et al. Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios. **Pesquisa Operacional**, , n. 1977, p. 1–6, 2003.

HARREL, C. R; MOTT J. R. A.; BATEMAN R. E.; BOWDEN R. G.; GOGG T. J. **Simulação: otimizando os sistemas**. 2ed., São Paulo: IMAM, 2002.

HILDEBRANDT, T.; GOSWAMI, D.; FREITAG, M. Large-scale simulation-based optimization of semiconductor dispatching rules. **Proceedings - Winter Simulation Conference**, v. 2015–January, p. 2580–2590, jan. 2015.

INSTITUTO ETHOS. **Global Reporting Initiative**. 2007b. Disponível em <<http://www.ethos.org.br/DesktopDefault.aspx?TabID=4200&Alias=Ethos&Lang=pt-BR>>. Acesso em: 16 de Out de 2019.

LATEEF-UR R, ATEEKH-UR R. Manufacturing configuration selection using multicriteria decision tool. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, p. 625–639, 2013.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling and Analysis**. 2ed. New York: McGraw Hill, 1991.

LI, S.; Li, J. Z. Webinternational: Combining Web-based knowledge automation, fuzzy rules and on-line databases for international marketing planning. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 10, p. 7094–7100, 2010.

LIN, J. T.; CHEN, C. M. Simulation optimization approach for hybrid flow shop scheduling problem in semiconductor back-end manufacturing. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 51, p. 100–114, 2015. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.simpat.2014.10.008>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

MAGALHÃES, A. P. S. **Logística reversa de eletrodomésticos da linha branca: processo de escolha pela Método da Análise Hierárquica**. Disponível em: <www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2011/artigos/E2011_T00409_PCN42096.pdf>. Acesso em 2 set. 2017.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. DE O.; BARROS, M. DA S. O Uso Do Método De Análise Hierárquica (AHP) Na Tomada De Decisões Gerenciais - **Um Estudo**. **Xli Sbpo**, p. 11, 2009

MARTIN, A. c. m.; CARVALHO, M. M. Os benefícios e as restrições do uso da simulação virtual no processo de desenvolvimento de produtos. **ENEGEP**, Florianópolis, p. 2743–2750, nov. 2004.

MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando P. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 2005.

MAXIMIANO, A. C. A.. **Introdução à Administração**. Ed. Compacta. São Paulo: Atlas, 2009. 294 p.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 280p.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. Avaliação multicritério para adequação de sistemas de redução de perdas de água. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. Anais. 22, 2002.

PEGDEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to Simulation using SIMAN**. 2ed. New York: McGraw Hill, 1995.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, R.; JÖNS, S.; HERNÁNDEZ-AGUIRRE, A.; ALBERTO-OCHOA, C. Simulation optimization for a flexible jobshop scheduling problem using an estimation of distribution algorithm. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v 73, p. 3–21, 2014.

POHEKAR, S. D.; RAMACHANDRAN, M. **Application of Multi-Criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning – A Review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 8 Issue: 4, 2004.

PRADO, D. S. **Usando o Arena em simulação**. 4ª Edição. Belo Horizonte: Editora Falconi, 2010. 307p.

PRITSKER, A. A. B. **Introduction to Simulation and SLAM-II**. 3ed. New York: John Wiley & Sons, 1986.

RABELO, L.; Ã, H. E.; SHAALAN, T.; HELAL, M. Value chain analysis using hybrid simulation and AHP. **International Journal of Production Economics**, v. 105, p. 536–547, 2007.

ROBBINS, S.; JUDGE, T.; SOBRAL, F. **Comportamento organizacional: teoria e prática no contexto brasileiro**. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2010. 633p.

RUSSO, R. D. F. S. M.; CAMANHO, R. Criteria in AHP: A systematic review of literature. **Procedia Computer Science**, v. 55, n. Itqm, p. 1123–1132, 2015.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008.

SAATY, T. L. Introduction to a modeling of social decision processes. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 25, n. 2, p. 105–107, 1983.

SAATY, T.L. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SGS. **Transição da G4 para a GRI Standards – Compreenda a norma Global**. 2019. Disponível em: < <https://sgssustentabilidade.com.br/transicao-da-g4-para-a-gri-standards/>. Acesso em: 03 fev 2020.

SALEHI, A. A. V; ASGARI, M. J. A. An Integrated Multi-Criteria Computer Simulation-AHP-TOPSIS Approach for Optimum Maintenance Planning by Incorporating Operator Error and Learning Effects. , v. 2, n. 1, p. 35–53, 2016. **Springer Singapore**.

SALOMON, V. A. P. **Desempenho da modelagem do auxílio à decisão por múltiplos critérios na análise do planejamento e controle da produção**. 2004. 120 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SANTORO, M. C.; MORAES, L. H. Simulação de uma linha de montagem de motores. **Gestão & Produção**, v. 7, n. 3, p. 338–351, 2000.

SHARMA, S.; AGRAWAL, N. Selection of a pull production control policy under different demand situations for a manufacturing system by AHP-algorithm. **Computers & Operations Research**, v. 36, p. 1622–1632, 2009.

SHANG, J.; SUEYOSHI, T. A unified framework for the selection of flexible manufacturing systems. **European Journal of Operational Research**, v. 85, n. 2, p. 297–315, 1995.

TAHA, Z.; ROSTAM, S. A hybrid fuzzy AHP-PROMETHEE decision support system for machine tool selection in flexible manufacturing cell. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 23, n. 6, p. 2137–2149, 2012.

TRIANAPHYLLOU, E., MANN S. H. Using The Analytic Hierarchy Process For Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges. **International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice**, v. 2, n. 1, p. 35-44, 1995.

TUOMINEN, M; KIVIJÄRVI, H. Integrating Ahp and Dynamic Simulation: Experiences , Conceptualizations and Business Experiments, in **Proceedings of the ISAHP**, Kobe, Japan, p 386 -392, 1999.

TYTECA, D.; CARLENS, J.; BERKHOUT, F.;HERTIN, J.; WEHRMEYER, W.; WAGNER,M. Corporate environmental performance evaluation: evidence from the MEPI project. **Business Strategy and the Environment**, Hoboken, v. 11, i. 1, p. 1-13, Jan./Feb. 2002.

VARGAS, L.G. An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications. **European Journal of Operational Research**, v. 48, p. 2-8, 1990.

XIE, C.; ALLEN, T. T. Simulation and experimental design methods for job shop scheduling with material handling: a survey. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 80, n. 1–4, p. 233–243, 2015.

XU, T.; MOON, D. H.; BAEK, S. G. A simulation study integrated with analytic hierarchy process (AHP) in an automotive manufacturing system. **Simulation**, v. 88, n. 4, p. 450–463, 2012.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2010. 248 p.