



APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY PARA ANALISAR O DESEMPENHO DA LOGÍSTICA DE SUSTENTABILIDADE EM DEPARTAMENTOS INDUSTRIAIS

Ana Claudia Mota Castilho de Moura

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: Sil Franciley dos Santos Quaresma
Jandecy Cabral Leite

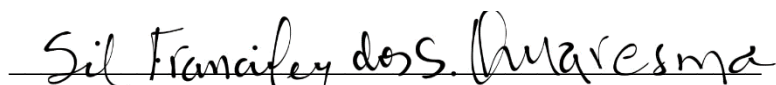
Belém
Agosto de 2021

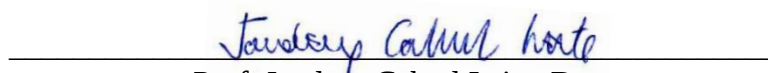
**APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY PARA ANALISAR O DESEMPENHO DA
LOGÍSTICA DE SUSTENTABILIDADE EM DEPARTAMENTOS
INDUSTRIAIS**

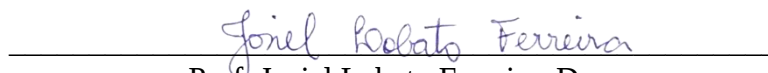
Ana Claudia Mota Castilho de Moura

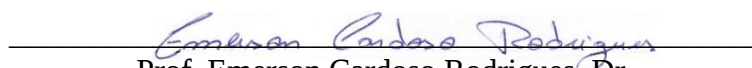
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

Examinada por:


Prof. Sil Francilex dos Santos Quaresma, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)


Prof. Jandecy Cabral Leite, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Coorientador)


Prof. Josiel Lobato Ferreira, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Membro)


Prof. Emerson Cardoso Rodrigues, Dr.
(FEQ/ITEC/UFPA-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

NOVEMBRO DE 2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Moura, Ana Claudia Mota Castilho de, 1978-
Aplicação da lógica fuzzy para analisar o desempenho da
logística de sustentabilidade em departamentos industriais /
Ana Claudia Mota Castilho de Moura - 2021.

Orientadores: Sil Franciley dos Santos Quaresma
Jandecy Cabral Leite

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal
do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Processos, 2021.

1. Logica Fuzzy. 2. Desempenho. 3. Departamentos
industriais. I. Título

CDD 23.ed.660.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, ao meu esposo Alessandro Melo de Moura, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem me apoiando nos momentos de dificuldades, aos meus pais José Castilho e Eliana Castilho que sempre foram meus incentivadores torcendo por esse presente.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, o criador de todas as coisas pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

Ao meu orientador, Dr. Sil Franciley dos Santos Quaresma, pelo apoio e incentivo para concluir esta pesquisa, aos professores do PPGEF.

Ao meu coorientador Dr. Jandecy Cabral Leite pelo incentivo na elaboração deste trabalho para tornar possível a conclusão de um grande sonho.

Aos meus familiares, meus pais José das Graças Castilho e Eliana Mota Castilho, meus incentivadores ao longo dessa caminhada.

Aos meus irmãos, dedico todo o apoio ao longo desta caminhada, Ana Caroline Mota Castilho, Ana Paula Mota Castilho e Sebastião Mota Castilho.

Ao Sr. Paulo Adroaldo Ramos Alcântara (in memoriam), que foi um dos grandes incentivadores dessa conquista.

Ao Sr. Fernando Moreira Júnior incentivo para o meu crescimento profissional.

Dedico este trabalho a quem colaborou diretamente e indiretamente para realização desse grande sonho, sem a qual eu não teria concluído.

Muito Obrigada!

*“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e
os seus planos serão bem-sucedidos”*
(Provérbios 16:3)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGE/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

**APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY PARA ANALISAR O DESEMPENHO DA
LOGÍSTICA DE SUSTENTABILIDADE EM DEPARTAMENTOS
INDUSTRIAIS**

Ana Claudia Mota Castilho de Moura

Agosto/2021

Orientadores: Sil Franciley dos Santos Quaresma
Jandecy Cabral Leite

Área de Concentração: Engenharia de Processos

Tendo em vista que a melhoria das atividades da logística sustentável tendem a reduzir impactos sociais, ambientais e econômicos, modelos de mensuração de nível de sustentabilidade como ferramenta de apoio na tomada de decisão, são cada vez mais relevantes para o processo de identificação de empresas/departamentos, que precisam de uma melhor prática sustentável, a fim de mitigar os custos ou aumentar o lucro. O objetivo da pesquisa é analisar o desempenho da logística de sustentabilidade em departamentos de três empresas do segmento eletrônico. Como metodologia para desenvolver a pesquisa, é efetuado uma análise sustentável por meio de um modelo de inferências Fuzzy, a fim de consolidar um agente especialista, que é capaz de mensurar ou indicar o nível de desempenho da sustentabilidade nos departamentos de Recursos Humanos (RH), Patrimônio e Tecnologia da Informação (TI), o conjunto de dados para análise e inferência das variáveis de entrada e saída vão de encontro com as características de atividades e práticas executadas em cada departamento. Como resultado foi possível identificar uma influência da variável “*Prioridade*” em função do “*Desempenho*”, além disso, a empresa 1 do segmento eletrônico apresentou uma performance de 87,6 para o RH, 88,1 para o TI e 65,5 para o Patrimônio com o nível de “*Desempenho*” na Sustentabilidade.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

APPLICATION OF FUZZY LOGIC TO ANALYZE THE PERFORMANCE OF SUSTAINABILITY LOGISTICS IN INDUSTRIAL DEPARTMENTS

Ana Claudia Mota Castilho de Moura

August/2021

Advisors: Sil Franciley dos Santos Quaresma
Jandecy Cabral Leite

Research Area: Process Engineering

Bearing in mind that the improvement of sustainable logistics activities tend to reduce social, environmental and economic impacts, models for measuring the level of sustainability as a support tool in decision making are increasingly relevant to the process of identifying companies/departments, which need sustainable best practice in order to mitigate costs or increase profit. The objective of the research is to analyze the performance of sustainability logistics in departments of three companies in the electronic segment. As a methodology to develop the research, a sustainable analysis is carried out using a Fuzzy inferences model, in order to consolidate an expert agent, who is able to measure or indicate the level of sustainability performance in the Human Resources (HR) departments. Heritage and Information Technology (IT), the data set for analysis and inference of the input and output variables are in line with the characteristics of activities and practices performed in each department. As a result, it was possible to identify an influence of the “*Priority*” variable as a function of “*Performance*”, in addition, company 1 in the electronic segment presented a performance of 87.6 for HR, 88.1 for IT and 65.5 for Equity with the level of “*Performance*” in Sustainability.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	2
1.2.1 - Objetivo geral.....	2
1.2.2 - Objetivos específicos.....	2
1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	3
1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1 - LOGÍSTICA DE SUPRIMENTOS.....	4
2.2 - LOGÍSTICA DA SUSTENTABILIDADE.....	6
2.3 - LÓGICA <i>FUZZY</i>	8
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
3.1 - MATERIAIS.....	13
3.1.1 - Etapa 1: Levantamento do histórico de atividades e práticas.....	13
3.1.2 - Etapa 2: Seleção das variáveis significativas para o modelo de inferências.....	14
3.1.3 - Etapa 3: Desenvolvimento da aplicação do modelo de inferências Fuzzy.....	14
3.1.3.1 - Variáveis de entrada.....	15
3.1.3.2 - Variável de saída.....	20
3.1.3.3 - Regras utilizadas para modelagem.....	21
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 - GRÁFICO DE SUPERFÍCIE.....	23
4.2 - AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE COM O MODELO FUZZY....	24
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	29
5.1 - CONCLUSÕES.....	29
5.2 - SUGESTÕES.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Atividades da logística de suprimentos.....	5
Figura 2.2	Defuzzificação centroide.....	11
Figura 2.3	Resultado da saída do TSK.....	12
Figura 3.1	Etapas da pesquisa.....	13
Figura 3.2	Modelo de inferências <i>Fuzzy</i>	15
Figura 3.3	Variável de entrada “Prioridade”.....	17
Figura 3.4	Variável de entrada “Nota”.....	18
Figura 3.5	Variável de entrada “Dimensão”.....	19
Figura 3.6	Variável de saída “Desempenho”.....	21
Figura 4.1	Gráfico de superfície.....	24
Figura 4.2	Simulador.....	25
Figura 4.3	Comparação de departamentos de patrimônio.....	26
Figura 4.4	Comparação de departamentos de TI.....	27
Figura 4.5	Comparação de departamentos de RH.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Variáveis linguísticas.....	14
Tabela 3.2	Amostra de regras utilizadas.....	21

NOMENCLATURA

GLMPs	GREEN LOGISTICS MANAGEMENT PRACTICES
IA	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
P1	PATRIMÔNIO 1
P2	PATRIMÔNIO 2
P3	PATRIMÔNIO 3
RH	RECURSOS HUMANOS
RH1	RECURSOS HUMANOS 1
RH2	RECURSOS HUMANOS 2
RH3	RECURSOS HUMANOS 3
TI	TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO
TI1	TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO 1
TI2	TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO 2
TI3	TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO 3
TSK	<i>TAKAGI – SUGENO – KANG</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO

A sustentabilidade é uma temática amplamente discutida na academia e na indústria, considerando que as práticas da sustentabilidade tendem a ser elementos de inovação e inclusão da empresa no mercado competitivo, tendo em vista que as leis estaduais e governamentais são os maiores influenciadores para novas perspectivas de estratégias implementadas na indústria.

A melhoria contínua dos processos com o conceito de logística de suprimento sustentável, permite a redução de impactos ambientais, sociais e econômicos, considerando a execução de atividades como: Seleção de suprimentos, Recebimento de matéria prima, Armazenagem, Transporte e Embalagem, a tendência de mercado consiste em controlar não apenas os processos logísticos interno, mas também os externos (VAN DER VORST, BEULENS *and* VAN BEEK, 2005; SABERI *et al.*, 2019).

A avaliação de departamentos e empresas no que tange a sustentabilidade é de caráter de prioridade entre as empresas e tende a ser um dos pilares para se manter no mercado competitivo. Isso se deve ao fato que com mais produtos sendo utilizados de forma reciclada e energia renovável por exemplo, os gastos diminuem e possibilita as empresas oferecerem preços menores em seus produtos ou aumentando o lucro da empresa (SAAVEDRA *et al.*, 2013; HARIK, 2015).

Na literatura é encontrado alguns modelos de avaliação da sustentabilidade, porém não foi encontrado um que avalie a questão da sustentabilidade de departamentos de empresas, sendo a maioria apenas focado nos fornecedores, além disso não utilizam técnicas de Inteligência Artificial (IA) como lógica *fuzzy* para apoiar na avaliação e na tomada de decisão.

Dessa forma, a presente pesquisa contribui com o desenvolvimento de um modelo computacional para analisar e avaliar o desempenho da logística de sustentabilidade em três departamentos de empresas do segmento eletrônico, sendo eles: Tecnologia da Informação (TI), Recursos Humanos (RH) e Patrimônio, não se limitando a tais, podendo ser utilizado em outros departamentos, desde que possua as

mesmas práticas e atividades elencadas neste trabalho, caso não possua o modelo deve ser ajustado para o devido fim.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo geral

Analisar o desempenho da logística de sustentabilidade em departamentos de uma empresa do polo industrial de Manaus através de Lógica *Fuzzy*.

1.2.2 - Objetivos específicos

- Mapear as variáveis de desempenho.
- Coletar os dados das variáveis.
- Criar um modelo de inferências *Fuzzy*.
- Aplicar os dados da empresa de estudo no modelo.

1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

A presente pesquisa se justifica pela oportunidade de melhorar os métodos de análise do nível de sustentabilidade em departamentos de empresas, considerando as técnicas inovadoras e eficientes de IA. A aplicação da lógica *fuzzy* permite um suporte na tomada de decisão, considerando as variáveis analisadas e levantadas para o modelo de inferências.

Tendo em vista que a avaliação da sustentabilidade se torna importante no âmbito industrial, ferramentas que trabalhem as características dos processos na tomada de decisão são cada vez mais pesquisadas. As práticas e atividades da logística sustentável possibilitam a minimização de custos se corretamente implementadas, por isso, a avaliação por meio de indicadores se torna importante para mensurar o grau de sustentabilidade e apontar os pontos fracos e fortes de cada departamento.

A pesquisa contribui com um modelo de avaliação que é aplicado com lógica *fuzzy* enfatizando a temática do social, ambiental e econômico, uma vez que a reorganização dos processos impacta diretamente nos custos logísticos, portanto,

avaliações periódicas são necessárias para qualificar e analisar o quão sustentável é o departamento, tendo em vista que isso é uma tendência de mercado.

1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 1 apresentou a motivação, o objetivo geral e os específicos e a contribuição do estudo de avaliação de sustentabilidade.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre a logística de suprimentos, logística de sustentabilidade e a lógica *fuzzy*, conceituando os principais pontos em relação a lógica *fuzzy* e suas funções matemáticas.

O capítulo 3 detalha as etapas que se seguiram para a elaboração deste trabalho, passando pelos pontos de seleção das variáveis de entrada do modelo de inferências *fuzzy* e sua elaboração utilizando o software *Matlab*® 2016a.

O capítulo 4 apresenta os resultados preliminares alcançados da avaliação dos departamentos de TI, RH e Patrimônio, os departamentos avaliados foram de três empresas do setor de eletrônicos.

O capítulo 5 apresenta as conclusões parciais dos resultados preliminares que foram alcançados até o momento. Neste capítulo também se encontram as etapas a serem realizadas para a dissertação final.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

Em um mercado competitivo em que a qualidade da logística se transforma em uma tendência determinante que permite a geração de metodologias eficazes na redução de custos e otimização do tempo para determinado produto ou serviço, principalmente com a inclusão e concentração de sistemas logísticos que acompanham o desenvolvimento e os ecossistema econômico (DA SILVA e FREIRE, 2020; SHEGELMAN *et al.*, 2020).

Sendo este um dos conceitos gerenciais amplamente aplicado na indústria, a logística se torna ao mesmo tempo uma das atividades mais ricas e conceituadas que tende a ser confundida com o início da atividade econômica organizada na qual estavam envolvidos a produção e troca de excedentes, surgindo então as atividades primordiais e básicas de uma base logística: armazenagem, estoque e transporte (KABINGA, 2020). Não se limitando a estes conceitos a logística usufruiu de seus conceitos e sofreu melhorias contínuas que foram de encontro com o avanço das tecnologias envolvidas trazendo a notoriedade de temas como logística reversa, de suprimentos, sustentabilidade, interna e muitos outros (KABINGA, 2020; MOSTEANU *et al.*, 2020).

2.1 - LOGÍSTICA DE SUPRIMENTOS

A sustentabilidade na cadeia de suprimentos e logística se transformou em uma característica da moda, drivers podem ser identificados como medida notável de qualidade na manutenção, características operacionais típicas de uma estrutura de mercado competitivo (MOSTEANU *et al.*, 2020; CHAND *et al.*, 2020). Os recursos tecnológicos são significativos para os gerentes, uma vez que todas as partes interessadas estão progressivamente pedindo uma análise de impactos naturais e sociais devido as performances e atividades (MOSTEANU *et al.*, 2020; KARMAKER *et al.*, 2020).

A logística de suprimento é uma área da logística que permite e tende a ser planejada com sucesso para os sistemas logísticos, por meio disso é possível suprir processos produtivos atuando na cadeia de suprimentos, com todas as necessidades de materiais, além disso, contribui com uma parcela significativa na redução de custos da

empresa, por meio de negociações de preços na busca de materiais alternativos e do desenvolvimento de fornecedores (SALUM *et al.*, 2020; DA SILVA *et al.*, 2020).

Para SALUM *et al.* (2020) o principal objetivo do suprimento é executar a logística de entrada de forma eficiente, dando suporte à produção, proporcionando compras em tempo hábil e com um menor custo. FOLLMANN *et al.* (2012) afirma que na logística de suprimentos é realizado análises de controle de custos em empresas que envolvem não apenas o preço do produto, mas também custos logísticos como: processamento de pedidos, transporte, recebimento, qualidade, manutenção de estoque, armazenagem e devolução. Dito isto, algumas atividades em comum são citadas pelos autores e ilustradas na Figura 2.1.



Figura 2.1 - Atividades da logística de suprimentos.

Fonte: Adaptado de FOLLMANN *et al.* (2012) e SALUM *et al.* (2020).

A seleção de suprimentos compreende em boas práticas de selecionar um bom fornecedor por meio de critérios previamente levantados que estejam de acordo com os requisitos de sustentabilidade que são avaliados por meio de práticas executadas no ambiente, além disso, é considerado consultas com *stakeholders* (BALDASSIN *et al.*, 2020; NAYAK, 2020).

O recebimento de matéria-prima compreende em avaliar requisitos de materiais recebidos que atendam aos critérios de sustentabilidade da empresa e que beneficiem boas práticas da logística (NAYAK, 2020).

A armazenagem compreende em utilizar de métodos e equipamentos que caracterizam a aplicação da logística de sustentabilidade, sendo considerada uma das principais atividades do suprimento por impactar diretamente nos custos logísticos (PRANANINGTYAS e ZULAEKHAH, 2021).

O transporte compreende no planejamento e utilização de sistemas logísticos que avaliem e determinem estratégias inteligentes que impactam diretamente nos custos logísticos, atuando principalmente na minimização de perdas, danos, tempo de entrega,

disponibilização estratégica de produtos com qualidade e redução de impactos negativos ao meio ambiente (PAUL *et al.*, 2020).

A embalagem compreende na utilização de critérios de seleção de matérias-primas que reduzam os custos logísticos vinculados a expedição e embalagem de materiais, oferecendo proteção aos insumos, facilitando a armazenagem e movimentação desses insumos, maximizando o uso de equipamentos de transporte (DAVID B, 2020; MOLINA-BESCH e PÅLSSON, 2020).

Contudo, o uso dessas atividades se torna importante em se tratar especificamente de métodos para minimização de custos logísticos (PAUL *et al.*, 2020), inclusão da empresa em uma perspectiva competitiva ao aderir práticas de suprimento sustentáveis, além de relacionar mudanças organizacionais que proporcionem melhorias econômicas e ambientais (KARAMAN *et al.*, 2020).

2.2 - LOGÍSTICA DA SUSTENTABILIDADE

As tendências de mercado exigem que as empresas utilizem conceitos inovadores que usufruem não apenas de tecnologias e metodologias que minimizem riscos e prejuízos econômicos, mas também a mitigação dos impactos ambientais e uma construção idealizada de logística sustentável onde diversos elementos dentro de um setor são pensados nessa perspectiva (PETRUCELLI, 2020; DE SOUZA MIGUEL, 2021).

Essas mudanças implicam diretamente na postura das empresas tanto na conscientização dos consumidores quanto nas legislações locais e nacionais ao se responsabilizar pelas consequências ambientais e sociais (DE SOUZA MIGUEL, 2021). A logística sustentável passou a ser uma realidade aplicável em larga escala visando:

- Reduzir os impactos ambientais;
- Melhorar a utilização de recursos;
- Otimizar o uso da mão de obra local;
- Aumentar a vida útil de um equipamento, obra ou ambiente;
- Usufruir de recursos tecnológicos para amplificar e melhorar o uso dos recursos naturais.

Partindo do princípio que a logística possui as finalidades citadas surge então os conceitos de logística verde e reversa (KARAMAN *et al.*, 2020) que tendem a serem

ferramentas ou evolução da logística para adaptar a visão da empresa como um todo e aderir práticas sustentáveis. Desse modo, a logística sustentável tende a englobar diversos processos logísticos, indo desde a primeira atividade na Seleção de Suprimentos até a Embalagem indicando a finalização do processo ou seu retorno (CENTOBELLI *et al.*, 2020).

A logística verde se preocupa em produzir e distribuir bens de forma eficiente sem agredir ou impactar nos fatores ambientais caracterizando a prática sustentável (SALUM *et al.*, 2020; KARAMAN *et al.*, 2020), um exemplo de atividade executada com a logística verde é a introdução de princípios e estratégias saudáveis em atividades logísticas ao considerar a conservação de energia e redução de seus efeitos no ambiente e sociedade, para isso o estudo melhora o desempenho da empresa aumentando a sustentabilidade através da redução de resíduos caracterizando a Green Logistics Management Practices (GLMPs) (AGYABENG-MENSAH *et al.*, 2020).

A logística tem como finalidade coordenar as atividades dentro de uma cadeia de suprimentos de tal forma que as necessidades dos beneficiários sejam atendidas com o menor custo para o meio ambiente contribuindo com uma abordagem de planejamento focada em sistemas logísticos que incorporam metas de sustentabilidade (HENRIQUE CECILIANO *et al.*, 2020). É possível considerar como atividades da logística verde o impacto ambiental de diferentes estratégias, distribuição, redução do consumo de água, energia, desperdícios e tratamento de resíduos (SALUM *et al.*, 2020).

Considerando essas abordagens acerca da logística verde uma análise do efeito das atividades logísticas sobre o meio ambiente pode ser feita, onde seus efeitos impactam no transporte, armazenagem, embalagem e processamento de informações atuando de forma intensa na redução de custos logísticos mitigando problemas de desperdício de recursos naturais e matéria-prima e eleva os processos da empresa (DE SÁ AMORIM *et al.*, 2020).

A logística reversa considera ganhos econômicos e ambientais por meio da reutilização de materiais antes descartados (SALUM *et al.*, 2020). A metodologia de reciclar tende a reduzir custos, em muitos casos auxilia na redução de emissões poluentes com processos produtivos que utilizam maquinários de alta taxa de trabalho e energia ou insumos biodegradáveis (PETRUCELLI, 2020).

Esse método se torna cada vez mais evidente no cenário de fabricação objetivando a inclusão da empresa no mercado competitivo almejando excelência operacional e qualidade de serviço no produto, contudo, uma reorganização de

processos e visão operacional deve ser elencada no planejamento estratégico, este que em diversos casos tende a ter uma demanda de adaptação (DE SÁ AMORIM *et al.*, 2020). O desenvolvimento de atividades que visam a utilização dos métodos de logística reversa e verde são primordiais para a inclusão da empresa no conceito de logística sustentável e suprimentos.

2.3 - LÓGICA FUZZY

A lógica *Fuzzy* ou teoria dos conjuntos nebulosos tem como finalidade resolver problemas difusos onde um espaço amostral apresenta limites inferiores e superiores definidos e determinados, por meio desta técnica de IA conceituada e definida por Lofti Asker Zadeh é possível nivelar outros intervalos de definição de uma variável onde 0 e 1 podem ter um intervalo que tende ao infinito, sendo estes valores definidos como grau de pertinência (SHAHBAZOVA *et al.*, 2020).

Um conjunto nebuloso ou difuso possui elementos integradores de processo como: fuzzificador, regras de inferência, máquina de inferências *fuzzy* e defuzzificador (CARTER, 2021), onde:

- **Fuzzificador:** Determina valores de pertinência para as definições de uma variável de entrada ou saída, sendo possível a utilização no sistema nebuloso;
- **Regras de inferência:** regras definidas por meio de um especialista conhecedor do negócio aplicado ao sistema nebuloso;
- **Máquina de inferências *fuzzy*:** Usufrui de processos de controle para agrupar as regras e aplicar em cenários de simulações que são enviados para o defuzzificador;
- **Defuzzificador:** Define a resultante de simulações apresentando resultados por meio de gráficos e interface que nivela as variáveis de entrada e saída conforme o processamento no sistema *fuzzy*.

Mamdani que é um dos modelos de controladores da lógica *fuzzy* estabelece um método de inferência que possui relações cruzadas ou nebulosas por meio de proposições e operadores lógicos matemáticos consequentes (ABLYAZOV *et al.*, 2020; ATANASSOV, 2021) sendo suas regras descritas pela Eq. (2.1):

$$\text{Se } \langle \text{antecedente} \rangle \langle \text{operador} \rangle \langle \text{antecedente} \rangle \dots, \text{ então } \langle \text{consequente} \rangle \quad (2.1)$$

A composição de relações *fuzzy* é de importância fundamental nas aplicações, considere R e S duas relações *fuzzy* tradicionais conhecidas como binária em $U \times V$ e $V \times W$, respectivamente (SILVA, 2011; ABLYAZOV *et al.*, 2020; ATANASSOV, 2021). A composição é uma relação *fuzzy* binária em $U \times W$ com função de pertinência expressa pela Eq. (2.2):

$$\varphi RS(u, w) = \max_{v \in V} [\min(\varphi R(u, v), \varphi S(v, w))] \quad (2.2)$$

Onde $\varphi R(u, v) = \varphi U(u) \wedge \varphi V(v)$ e $\varphi S(v, w) = \varphi V(v) \wedge \varphi W(w)$, sendo $\wedge$ uma t-norma, quando os conjuntos U, V e W são finitos, então a forma matricial da relação R e S dada pela composição max-min pode ser obtida como uma multiplicação de matrizes substituindo o produto pelo mínimo e a soma pelo máximo (SILVA, 2011; ABLYAZOV *et al.*, 2020), as Eqs (2.3), (2.4) e (2.5) expressa um modelo:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}; \quad (2.3)$$

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_p\}; \quad (2.4)$$

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}; \quad (2.5)$$

Suponha que:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}_{m \times n} \quad e \quad S = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1p} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \cdots & s_{np} \end{pmatrix}_{n \times p}$$

Onde é possível expressar a definição pela Eq. (2.6):

$$r_{ij} = \varphi U(u_i, v_j) = \varphi U(u_i) \wedge \varphi V(v_j) \text{ e } s_{jk} = \varphi S(v_j, w_k) = \varphi V(v_j) \wedge \varphi W(w_k) \quad (2.6)$$

Para $i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$ e $k = 1, \dots, p$.

De acordo com a definição R e S , a relação *fuzzy* binária dada pela composição max-min apresenta a seguinte forma matricial:

$$T = R \circ S = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{1n} \\ t_{21} & t_{22} & \cdots & t_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{m1} & t_{m2} & \cdots & t_{mn} \end{pmatrix}_{m \times p}$$

Expressa pela Eq. (2.7):

$$t_{ij} = \max_{1 \leq k \leq n} [\min(\varphi R(u_i, v_k), \varphi S(v_k, w_j))] = \max_{1 \leq k \leq n} [\min(r_{ik}, s_{kj})] \quad (2.7)$$

As regras são modelos de inferência baseados em relações ou operadores lógicos, compostos por proposições *fuzzy* e pode ser expressa em forma linguística.

$$\text{Se } x_1 \text{ é } A_1 \text{ e } x_2 \text{ é } A_2 \text{ e } \dots \text{ e } x_n \text{ é } A_n$$

$$\text{Então } u_1 \text{ é } B_1 \text{ e } u_2 \text{ é } B_2 \text{ e } \dots \text{ e } u_m \text{ é } B_m$$

Com a construção lógica de cada regra provida de um especialista, ou conhecimento técnica acerca do assunto o conjunto de instruções são catalogadas, estas que serão utilizadas no motor de inferências (ESCOTTÁ e BECCARO, 2020).

Uma máquina de inferência *fuzzy* traduz matematicamente cada proposição *fuzzy*, onde é definido quais t-normas terão implicações e serão utilizadas como relações *fuzzy*, estas que modelam a base de regras (SILVA, 2011; ESCOTTÁ e BECCARO, 2020).

São muitos os métodos de defuzzificação que podem ser utilizados em um modelo de inferências *fuzzy*, nesta pesquisa em específico é utilizado o método Centroide ou Centro de área (SILVA, 2011; JUNIOR *et al.*, 2020), semelhante à média ponderada para a distribuição de dados, ele consiste em apresentar a média de todas as figuras que representam os graus de pertinência de um subconjunto *fuzzy*, as Eqs. (2.8) e (2.9) expressam o domínio discreto e contínuo.

$$G(C) = \frac{\sum_{i=0}^n u_i \varphi C(u_i)}{\sum_{i=0}^n \varphi C(u_i)} \quad (2.8)$$

$$G(C) = \frac{\int_R u_i \varphi C(u) du}{\int_R u_i C(u) du} \quad (2.9)$$

A Figura 2.2 ilustra um exemplo de gráfico de defuzzificação, nela é possível identificar uma linha central denominada como função $G(C)$ que é expressa pelas Eqs (2.8) e (2.9), a centralização permite encontrar a média do espaço amostral (SILVA, 2011; ESCOTTÁ e BECCARO, 2020).

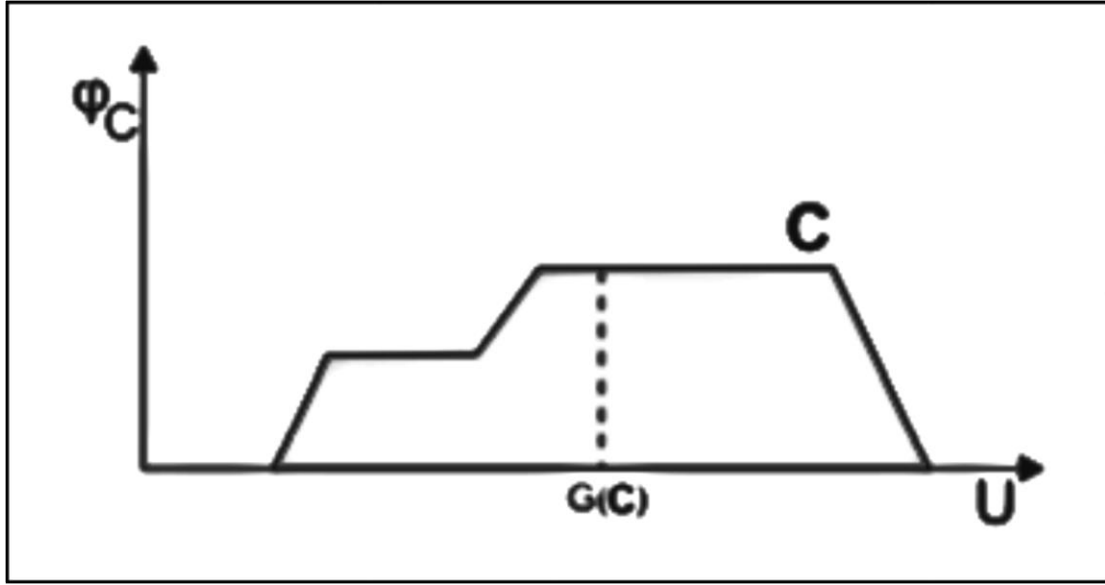


Figura 2.2 - Defuzzificação centroide.
Fonte: Adaptado de SILVA (2011).

O modelo de *Takagi – Sugeno – Kang* (TSK) se difere do *Mamdani* pela forma de escrever as regras de inferência e no processo de defuzzificação para gerar a saída geral do sistema (SILVA, 2011; ESCOTTÁ e BECCARO, 2020), onde a saída geral do sistema é expressa pela Eq. (2.10).

$$u = f_r(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\sum_{j=1}^r w_j \cdot g_j(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\sum_{j=1}^r w_j} = \frac{\sum_{j=1}^r w_j \cdot u_j}{\sum_{j=1}^r w_j} \quad (2.10)$$

Onde os pesos w_j são dados por $w_j = \varphi_{A_{j1}}(x_1) \Delta \varphi_{A_{j2}}(x_2) \Delta \dots \Delta \varphi_{A_{jn}}(x_n)$ e Δ é uma t-norma. O peso w_j corresponde a contribuição da regra R_j para a saída geral. Supondo que Δ seja a t-norma mínimo, se tem como saída geral o valor u dado pela Eq. (2.11).

$$u = \frac{w_1 u_1 + w_2 u_2}{w_1 + w_2} = \frac{w_1 g_1(x_1, x_2) + w_2 g_2(x_1, x_2)}{w_1 + w_2} = f_r(x_1, x_2) \quad (2.11)$$

Onde $w_i = \min[\varphi A_{i1}(x_1), \varphi A_{i2}(x_2)]$ corresponde ao peso da regra R_i na saída geral do processo.

Considere um controlador *fuzzy*, com duas entradas e uma saída onde os conjuntos envolvidos A_{ij} são números *fuzzy* triangulares e as saídas de cada regra são dadas por funções g_i , lineares afins. (SILVA, 2011; COUTINHO *et al.*, 2020). A Figura 2.3 ilustra um exemplo.

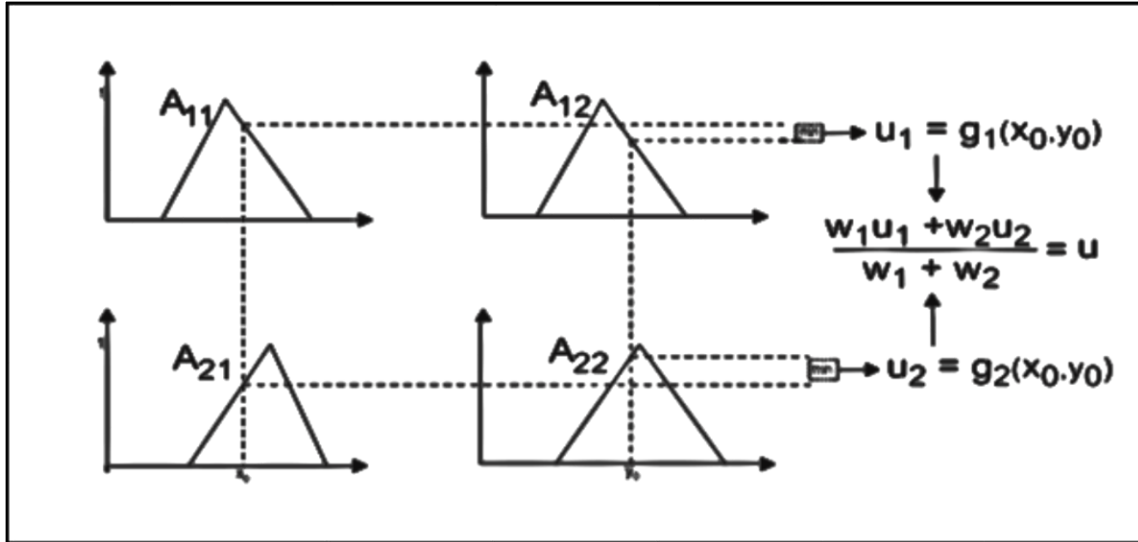


Figura 2.3 - Resultado da saída do TSK.
Fonte: Adaptado de SILVA (2011).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - MATERIAIS

A pesquisa tem como enfoque analisar o desempenho da logística de suprimentos nos departamentos de uma indústria do polo industrial de Manaus, para isso foi necessário um levantamento do histórico de atividades e práticas para selecionar as variáveis significativas para o desenvolvimento do modelo de inferências, por fim realizar uma análise qualitativa e quantitativa do desempenho entre os setores de RH, TI e Patrimônio. A Figura 3.1 ilustra as etapas de atividades para o desenvolvimento da pesquisa.

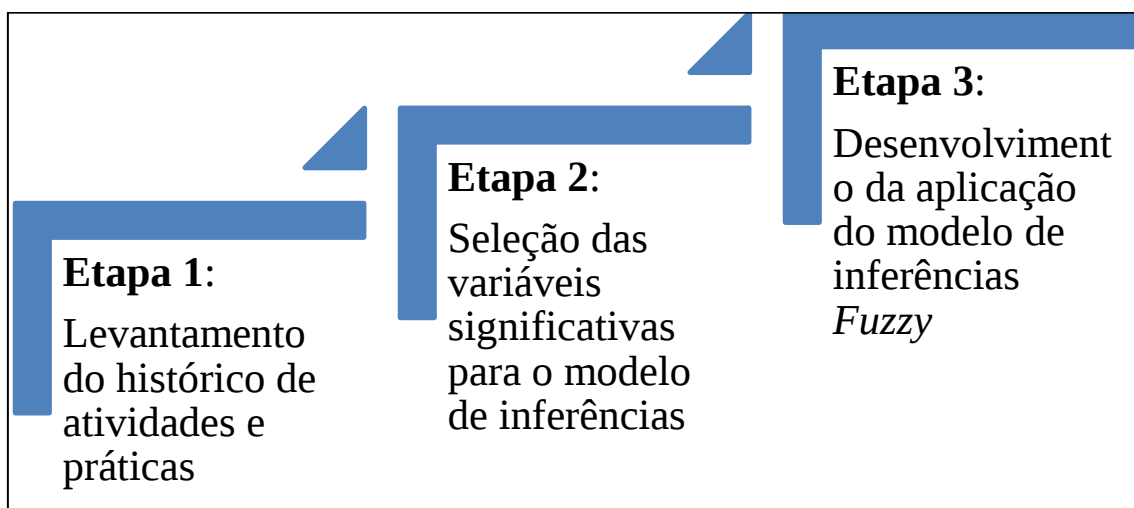


Figura 3.1 - Etapas da pesquisa.

3.1.1 - Etapa 1: Levantamento do histórico de atividades e práticas

O levantamento do histórico de atividades e práticas foi realizado por meio de visitas in loco na indústria, com esse histórico foi possível consolidar uma base de dados contendo os principais elementos necessários para a pesquisa, esse estudo compreende uma avaliação referente ao ano de 2019.

3.1.2 - Etapa 2: Seleção das variáveis significativas para o modelo de inferências

Com a base de dados estruturada contendo os campos: nome do título, data de execução da avaliação, etapa de avaliação, setor, número de práticas avaliadas, nota da prática, dimensão da prática e grau de prioridade da prática foi possível determinar a importância das mesmas e a divisão entre variáveis de entrada e saída para modelar as regras de inferência. A Tabela 3.1 apresenta a relação de variáveis e seus respectivos valores linguísticos.

Tabela 3.1 - Variáveis linguísticas.

Variáveis	Tipo	Nível de inferência
Prioridade	Entrada	1 – Prioridade baixa, 2 – Prioridade Regular, 3 – Prioridade mediana, 4 – Prioridade intermediária, 5 – Prioridade alta
Nota	Entrada	1 – Parcialmente realizada, 2 – regularmente realizada, 3 – medianamente realizada, 4 – frequentemente realizada, 5 – totalmente realizada
Dimensão	Entrada	1 – Preocupação baixa, 2 – Preocupação Regular, 3 – Preocupação mediana, 4 – Preocupação frequente, 5 – Preocupação total
Desempenho	Saída	1 – Crítico, 2 – Ruim, 3 – Bom, 4 – Ótimo, 5 – Excelente

A variável “*Prioridade*” tem como finalidade mensurar o grau de importância com que a empresa executa determinada atividade no setor, a “*Nota*” tem como objetivo definir a frequência com que determina prática é executada considerando a atividade macro, a “*Dimensão*” define quão preocupado a empresa está com relação as atividades da logística de sustentabilidade, por fim o “*Desempenho*” permite mensurar o nível logístico do setor considerando as variáveis que influenciam ou impactam no estágio de sustentabilidade.

3.1.3 - Etapa 3: Desenvolvimento da aplicação do modelo de inferências Fuzzy

Para o desenvolvimento do modelo foi utilizado o software *Matlab*® 2016a no qual utilizou-se da ferramenta de *toolbox fuzzy* para a modelagem e simulação dos cenários.

O modelo contém três variáveis de entrada denominadas de “*Prioridade*”, “*Nota*” e “*Dimensão*”, para a variável de saída foi definido o “*Desempenho*”. A modelagem contou com 125 regras, no qual cada variável de entrada possui cinco níveis de inferência com intervalo de valores iguais em cada variável. Para a variável de saída foram definidos valores diferentes para os níveis de inferência, mas continuou com a padronização de cinco níveis de inferência.

Na Figura 3.2 é mostrado o modelo para a avaliação do desempenho da logística de suprimentos na sustentabilidade.

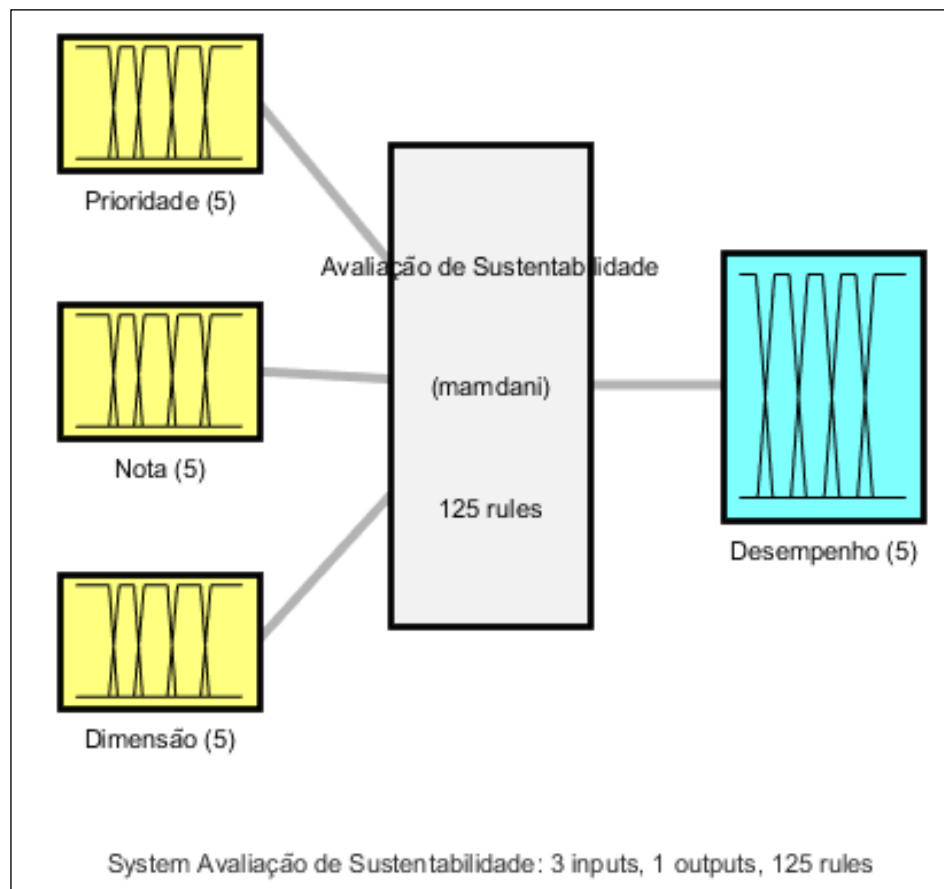


Figura 3.2 - Modelo de inferências *Fuzzy*.

3.1.3.1 - Variáveis de entrada

Na Figura 3.3 é apresentado a variável de entrada denominada “*Prioridade*”, na qual possui cinco níveis de inferência:

Baixa: Este nível de inferência é formado pelo intervalo de valores de 0 a 25 (eixo horizontal), sendo que os intervalos de 0 a 20 tem uma pertinência máxima, equivalente a 1 (eixo vertical), já o intervalo de 20 a 25 a pertinência diminui

linearmente até atingir o ponto 25. É composto por uma função trapezoidal com os seguintes valores (0 0 20 25).

Regular: É constituído pelo range de valores de 20 a 40, tendo seus pontos de ligação em (20 26 35 40), onde foi utilizado uma função trapezoidal. Do ponto 20 (eixo horizontal) ao 26 ocorre um aumento gradativo de pertinência, alcançando seu valor máximo no ponto 26 e mantendo uma constância no intervalo 26 a 35, a partir daí o nível de pertinência reduz novamente até chegar em seu estágio baixo atingindo o valor 0 (nulo) no ponto 40.

Mediana: Neste nível de inferência é utilizado uma função trapezoidal tendo como definição os pontos (35 41 55 60), sendo seu range os pontos 35 ao 60. O nível de inferência *Mediana* tem sua pertinência máxima (1 no eixo vertical) prolongada por um maior intervalo se comparado ao nível de inferência *Regular*. Do ponto 35 ao 41 (eixo horizontal) há uma elevação do nível de pertinência até chegar ao valor 1 e se estende neste valor até o ponto 55, onde começa a diminuir até chegar ao valor 0 de pertinência.

Intermediária: O nível de inferência *Intermediária* é composto por uma função trapezoidal com os pontos definidos em (55 61 75 80). Do ponto 55 ao 61 (eixo horizontal) há uma elevação do nível de pertinência atingindo o seu máximo (1 no eixo vertical), no qual o nível de inferência se mantém constante até o ponto 75 (eixo horizontal) e a partir deste ponto há uma queda em sua pertinência até atingir o ponto 80 quando o nível de pertinência é 0.

Alta: Neste nível de inferência é usado uma função trapezoidal com os seguintes pontos (75 81 100 100), sendo que o range de valores entre 75 e 81 (eixo horizontal) há um aumento de pertinência chegando a um valor de 1 (eixo vertical), no intervalo de valores entre 81 e 100 a pertinência segue constante e máxima.

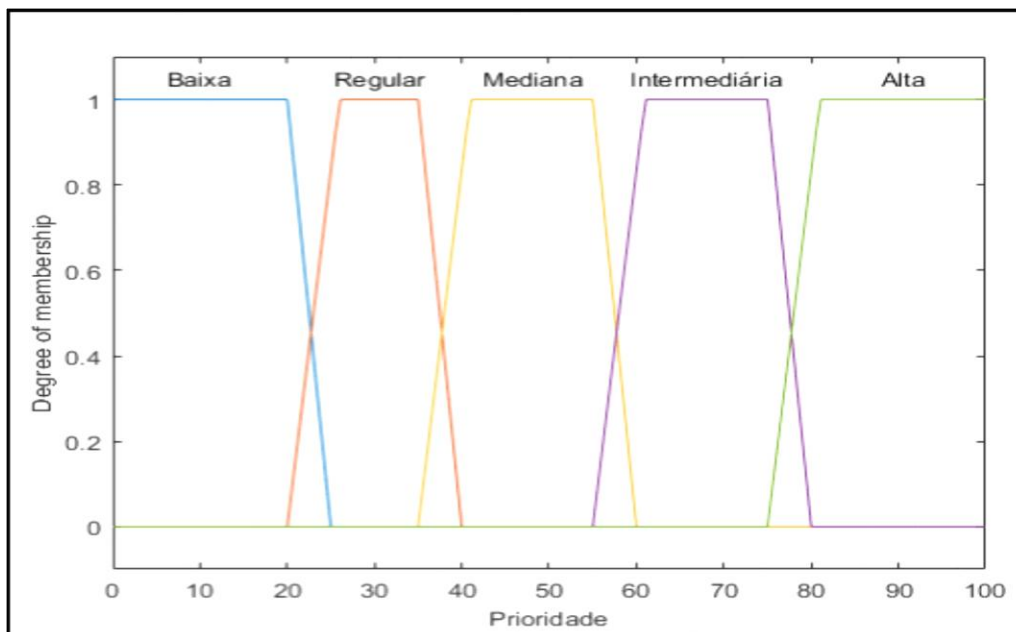


Figura 3.3 - Variável de entrada “prioridade”.

A Figura 3.4 exibe a variável de entrada “Nota” com seus níveis de inferência, tendo um total de cinco níveis bem definidos, tais níveis podem ser detalhados a seguir:

Parcialmente Realizada: Este nível de inferência é composto por uma função trapezoidal configurada com os seguintes pontos (0 0 20 25), no qual o intervalo de valores entre 0 e 20 (eixo horizontal) a pertinência permanece constante com o valor 1 (eixo vertical) e no intervalo de 20 a 25 a pertinência diminui ao ponto de atingir o valor 0.

Regularmente Realizada: Neste nível é possível notar que é utilizado uma função trapezoidal, já que possui quatro pontos (20 26 35 40). Do ponto 20 ao 26 (eixo horizontal) há uma elevação da pertinência saindo do valor 0 e atingindo seu ponto máximo em 1 (eixo vertical), nos pontos que se segue (26 35) o valor da pertinência se mantém em 1 e cai a partir do ponto 35 até atingir o ponto 40, quando o valor da pertinência é 0.

Medianamente Realizada: Para este nível de inferência se utilizou assim como nos níveis de inferência anteriores uma função trapezoidal, sendo seus pontos estabelecidos em (35 41 55 60), no qual o ponto 35 (eixo horizontal) se eleva a um grau de pertinência de valor 1 (eixo vertical) no ponto 41, o intervalo entre 41 e 55 é constante, voltando a variar gradativamente do ponto 55 ao 60, no qual há uma queda de pertinência de 1 até 0, sendo o ponto 60 o último ponto deste nível de inferência.

Frequentemente Realizada: Foi utilizado quatro pontos (55 61 75 80), logo é uma função trapezoidal. Para os pontos de 55 a 61 (eixo horizontal) há uma elevação no grau de pertinência chegando ao valor máximo (1 no eixo vertical), o intervalo composto pelos valores 61 e 75 o grau de pertinência se mantém o mesmo, e cai a partir do ponto 75 atingindo um valor 0 (eixo vertical) no grau de pertinência no ponto 80.

Totalmente Realizada: Este nível de inferência é caracterizado por quatro pontos (75 81 100 100) sendo uma função trapezoidal. O intervalo entre os pontos 75 e 81 (eixo horizontal) ocorre uma elevação de grau de pertinência chegando a 1 (eixo vertical), o intervalo entre os pontos 81 e 100 o grau de pertinência permanece em seu máximo.

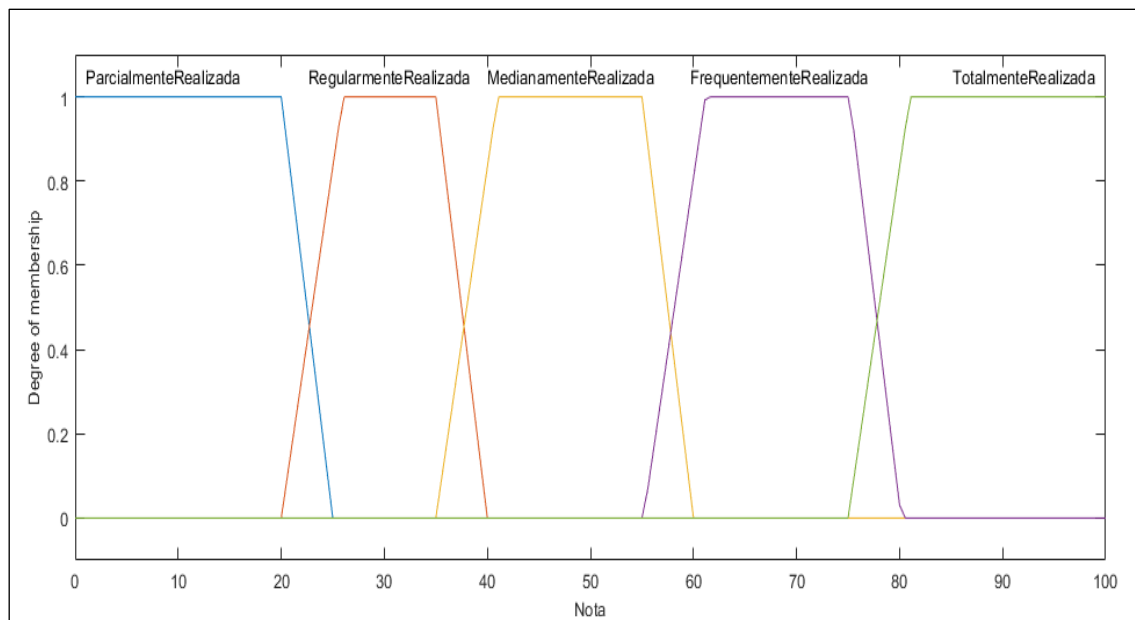


Figura 3.4 - Variável de entrada “nota”.

Na Figura 3.5 é observado a variável de entrada denominada “*Dimensão*”, onde é observado os cinco níveis de inferência:

Preocupação Baixa: Nível de inferência que utiliza uma função trapezoidal configurada com os seguintes pontos (0 0 20 25), sendo o ponto 0 (eixo horizontal) ao ponto 20 uma constante de pertinência igual a 1 (eixo vertical). Já o do intervalo de pontos entre 20 e 25 o grau de pertinência cai gradativamente até o ponto 25 (eixo horizontal), atingindo uma pertinência de valor 0.

Preocupação Regular: Este nível de pertinência é caracterizado por uma função trapezoidal que é definida por (20 26 35 40), no qual o ponto inicial (20) ao ponto 26 (eixo horizontal) há uma elevação do grau de pertinência (eixo vertical) alcançando o

valor 1, já do ponto 26 ao 35 há uma regularidade na pertinência se mantendo em 1. Para o segmento dos pontos 35 ao 40 existe uma diminuição no valor do grau de pertinência, atingindo o valor de 0 no ponto 40.

Preocupação Mediana: Nível de inferência que possui uma função trapezoidal como elemento de configuração, ao qual estão definidas nos seguintes pontos (35 41 55 60). No intervalo entre os pontos 35 ao 41 (eixo horizontal) o grau de pertinência aumenta até o valor 1 (eixo vertical). Já no intervalo de valores entre 41 e 55 a pertinência se mantém inalterada. Para o os pontos de 55 ao 60 a pertinência baixa para o valor 0 no ponto 60.

Preocupação Frequente: Para este nível de inferência é utilizado uma função trapezoidal configurada com os pontos (55 61 75 80). Para o ponto 55 a 61 (eixo horizontal) há um aumento de grau de pertinência que chega em seu máximo (1 eixo vertical) no ponto 61. No intervalo de pontos entre 61 e 75 a pertinência permanece com o valor 1 e a partir deste ponto há a queda até o valor nulo (0 eixo vertical).

Preocupação Total: Para este nível foi utilizado uma função trapezoidal com os pontos (75 81 100 100), no ponto 75 inicia-se a função e no intervalo entre 75 e 81 (eixo horizontal) é elevado o nível de pertinência a 1 (eixo vertical) mantendo-se constante a partir deste ponto até o ponto 100.

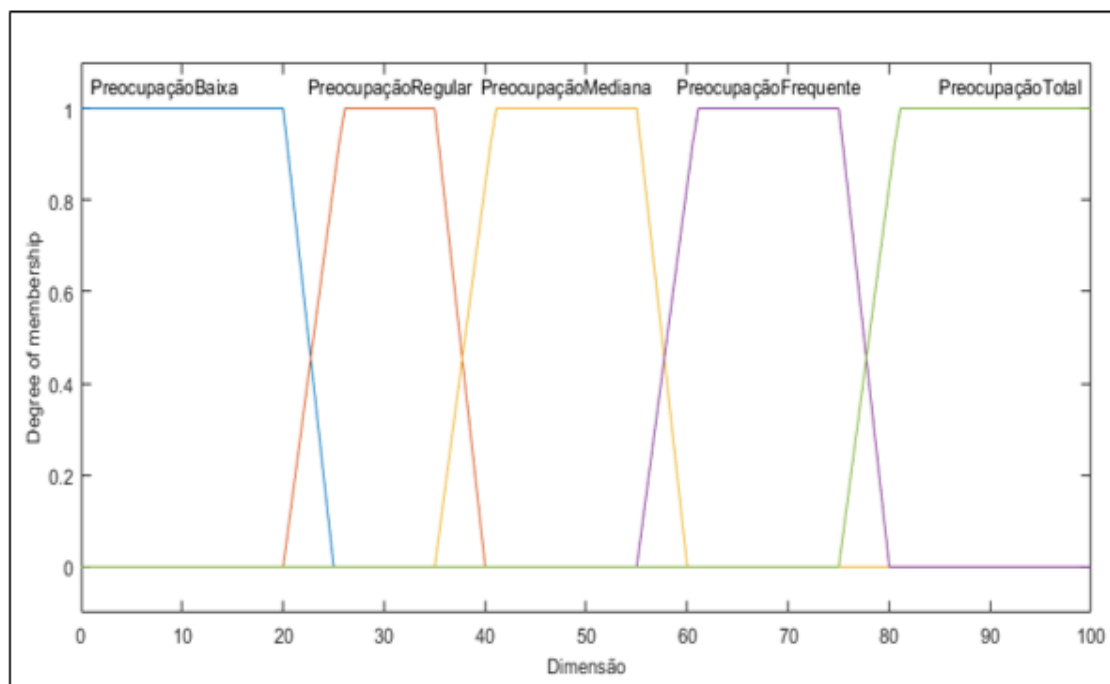


Figura 3.5 - Variável de entrada "dimensão".

3.1.3.2 - Variável de saída

Para a variável de saída mostrada que é apresentada na Figura 3.6, foi definido o nome “*Desempenho*” indicando o desempenho final da avaliação de departamentos industriais no quesito sustentabilidade. A variável de saída possui cinco níveis de inferência e são listados da seguinte forma:

Crítico: Nível formado por uma função trapezoidal com os valores definidos nos pontos (0 0 10 20), no qual o valor de pertinência 1 (eixo vertical) no intervalo entre 0 e 10 (eixo horizontal) segue constante, já no intervalo entre os valores 10 e 20 a pertinência de valor 1 (eixo vertical) cai drasticamente para o valor 0. Indicando o nível crítico que há no desempenho do departamento analisado.

Ruim: Nível que há uma função trapezoidal como modelo tendo seus valores fixados em (11 21 30 40), onde o intervalo entre os valores 11 e 21 (eixo horizontal) possui uma tendência de aumento até o ponto 21, que segue constante até o ponto 30 com um valor no grau de pertinência de 1 (eixo vertical). Para o intervalo entre os valores 30 e 40 o grau de pertinência decresce até atingir seu nível mais baixo (0 eixo vertical) no ponto 40.

Bom: Para este nível de pertinência foi utilizado uma função com quatro pontos (função trapezoidal) que possui seus valores definidos em (31 41 50 60), no qual o intervalo entre os dois primeiros pontos (31 e 41 no eixo horizontal) há um crescente gradual de grau de pertinência, indo do valor 0 até o 1 (eixo vertical), já no intervalo de 41 ao 50 o grau de pertinência se mantém em 1. Para o último intervalo de seguimento de valores entre os pontos 50 e 60 o grau de pertinência cai para 0 gradativamente.

Ótimo: Nível de pertinência configurado com quatro pontos (51 61 70 80, função trapezoidal), no qual o primeiro intervalo entre os valores no eixo horizontal (51 e 61) existe uma elevação de grau de pertinência indo de 0 a 1 (eixo vertical), para o seguimento do intervalo entre os valores 61 e 70 há um mantimento de valores inalteráveis, permanecendo em 1. A partir do ponto 70 ao 80 a pertinência desce para o valor 0 (eixo vertical) atingindo o ponto 80 seu menor valor (0).

Excelente: Neste nível foi utilizado assim como em todos os outros níveis de pertinência uma função trapezoidal que possui quatro pontos, sendo eles (71 81 100 100). Do ponto 71 a 81 que se encontra no eixo horizontal, há uma elevação do grau de pertinência de 0 ao valor 1 que se encontra no eixo vertical. Para a sequência dos pontos a pertinência se mantém no valor 1.

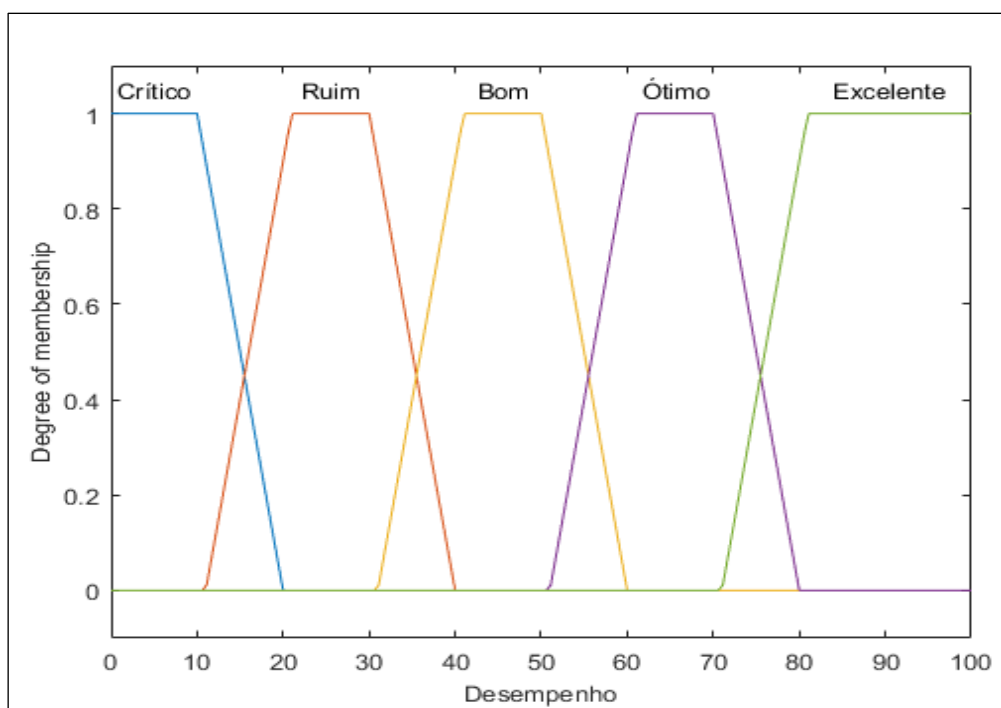


Figura 3.6 - Variável de saída “desempenho”.

3.1.3.3 - Regras utilizadas para modelagem

Na Tabela 3.2 encontra-se uma amostra de 11 regras do total de 125 que foram utilizadas no motor de inferência *fuzzy*. Regras que consistem em modelar o sistema *fuzzy* a fim de que seja capaz de gerar resultados que seriam conseguidos por especialistas da área. Na Tabela 3.2 pode-se visualizar cinco colunas com os nomes das três variáveis de entrada e a variável de saída, além do número da regra imputada no sistema *fuzzy*.

Tabela 3.2 - Amostra de regras utilizadas.

Número da Regra	Variáveis de Entrada			Variável de Saída
	Prioridade	Nota	Dimensão	Desempenho
1	Prioridade Baixa	Parcialmente Realizada	Preocupação Baixa	Crítico
7	Prioridade Baixa	Regularmente Realizada	Preocupação Regular	Ruim
20	Prioridade Baixa	Frequentemente Realizada	Preocupação Total	Ótimo
28	Prioridade Regular	Parcialmente Realizada	Preocupação Mediana	Bom
50	Prioridade	Totalmente	Preocupação	Ótimo

	Regular	Realizada	Total	
56	Prioridade Mediana	Regularmente Realizada	Preocupação Baixa	Bom
71	Prioridade Mediana	Totalmente Realizada	Preocupação Baixa	Bom
87	Prioridade Intermediária	Medianamente Realizada	Preocupação Regular	Bom
101	Prioridade Alta	Parcialmente Realizada	Preocupação Baixa	Bom
119	Prioridade Alta	Frequentemente Realizada	Preocupação Frequente	Excelente
125	Prioridade Alta	Totalmente Realizada	Preocupação Total	Excelente

As regras foram definidas com base na análise e conhecimento de um especialista da área de gestão de processos industriais, a fim de deixar o sistema mais próximo da realidade, confiável e genérico para que possa ser utilizado em diversos tipos de departamentos de uma empresa, como por exemplo: Departamento de TI; Logística; Embalagem; Suprimentos; Estocagem; Produção de matéria prima, entre outros

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - GRÁFICO DE SUPERFÍCIE

Na Figura 4.1 é mostrado o gráfico de superfície gerado pelo sistema de inferência fuzzy modelado, no qual pode se observar que possui três dimensões sendo elas as variáveis de entrada “Nota”, “Prioridade” e a variável de saída “Desempenho”. No eixo x está localizada a variável de entrada “Prioridade” com um range de 0 a 100, no eixo y, localiza-se a variável de entrada “Nota” com um intervalo entre 0 a 100 e a variável de saída “Desempenho” se encontra no eixo z, com um intervalo entre 0 a 100, com os mesmos parâmetros que estão configuradas as variáveis de entrada, porém na Figura 4.1 é exibido apenas até o ponto 60 da variável “Desempenho”. A variável “Dimensão” não aparece nesta figura, pois é a variável que menos tem influência na variável de saída.

Conforme pode ser observado na Figura 4.1 as cores mais claras correspondem a um valor maior na variável de saída, sendo a cor que representa o maior desempenho o amarelo. A variável “Prioridade” possui uma maior influência na variável de saída, isso pode ser notado devido aos valores apresentados na Figura 4.1 com a marcação retangular na cor vermelha, no qual o valor 85 da variável “Prioridade” faz com que o desempenho ultrapasse o valor 60 da variável “Desempenho”, enquanto que a variável “Nota” quando chega ao valor 80 ainda não garante que a variável “Desempenho” ultrapasse o valor 60, isso pode ser notado observando a intersecção dos pontos 15 a 40 da variável “Prioridade” juntamente com os pontos 80 a 100 da variável de entrada “Nota” marcado por um círculo na cor vermelha na Figura 4.1.

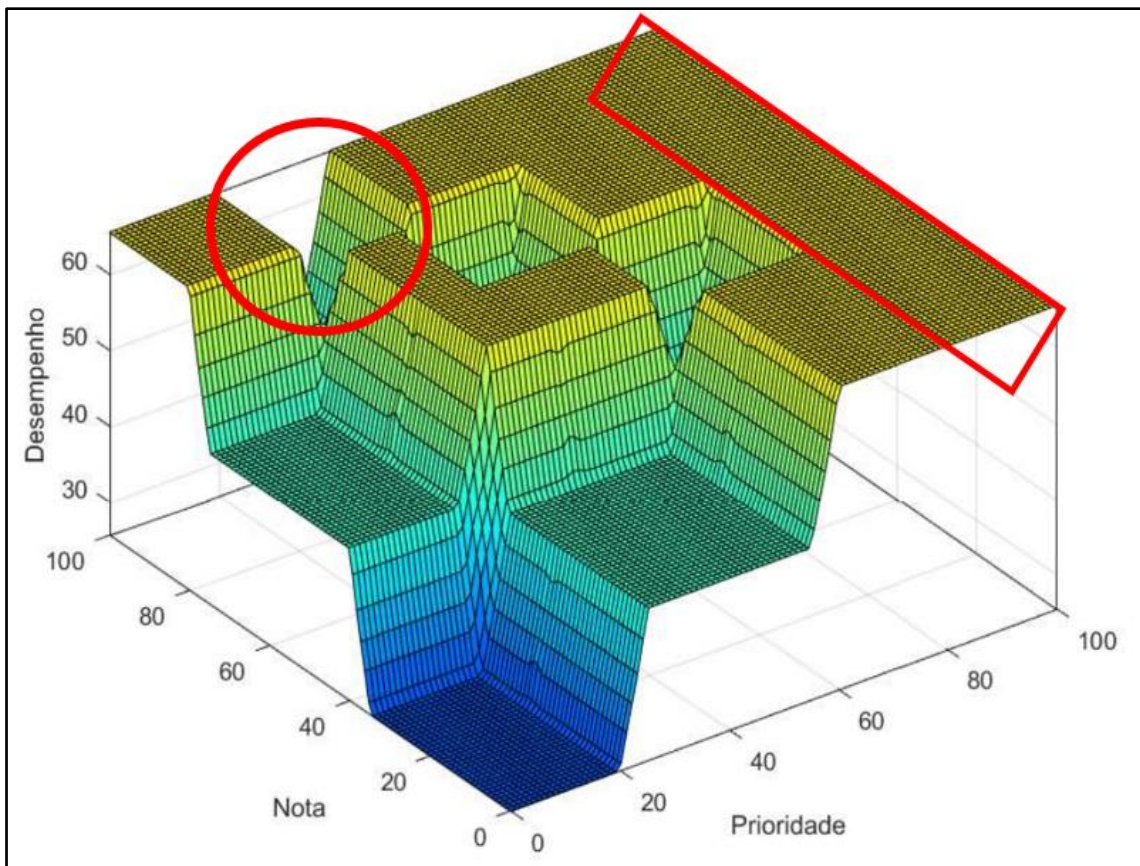


Figura 4.1 - Gráfico de superfície.

4.2 - AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE COM O MODELO *FUZZY*

Os resultados foram alcançados através do toolbox do Matlab®, que pode ser visualizado na Figura 4.2, no qual contém os parâmetros a serem preenchidos para a simulação dos departamentos. O simulador serve para que seja adicionado valores nas variáveis de entrada, retornando um valor na variável de saída “*Desempenho*”, que na Figura 4.2 é de 25,5, resultante da “*Prioridade*” com um valor de 12, “*Nota*” com 30 e “*Dimensão*” com um valor numérico de 47.

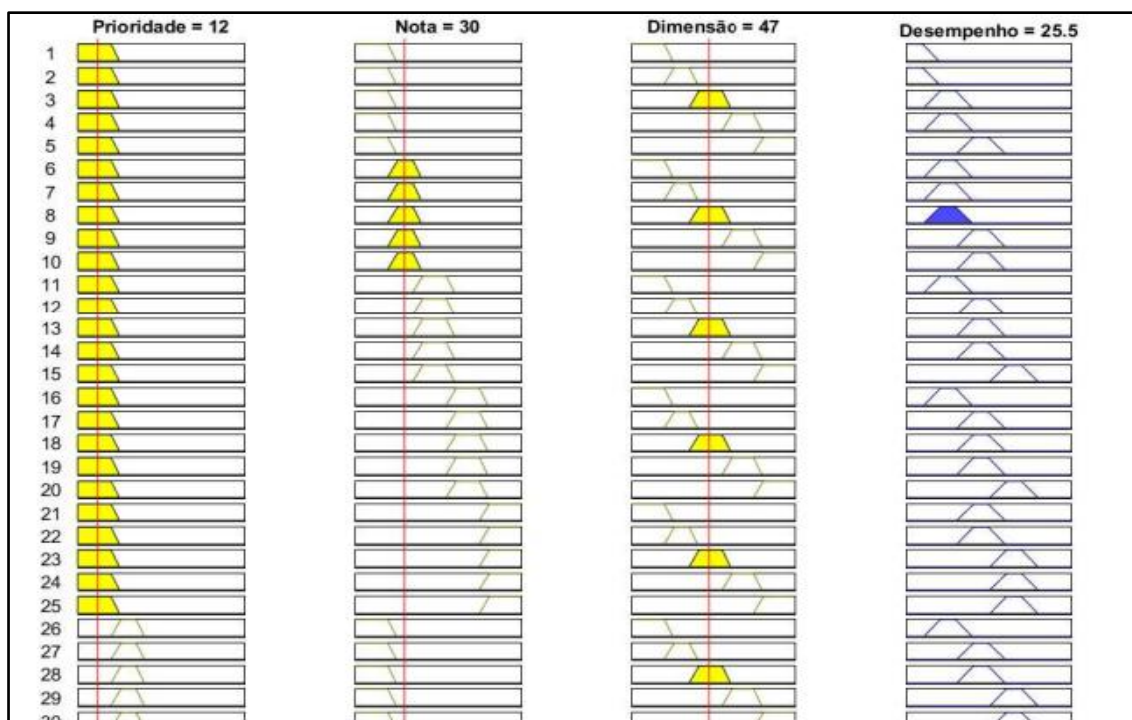


Figura 4.2 - Simulador.

Na Figura 4.3 é mostrado os resultados alcançados da avaliação do departamento de patrimônio de três empresas, sendo denominadas de Patrimônio 1 (P1), Patrimônio 2 (P2) e Patrimônio 3 (P3).

Pode-se observar que a melhor performance do departamento de patrimônio foi o P1, já que obteve o melhor resultado na variável de saída de “Desempenho”. É válido reafirmar que mesmo o P2 tendo valores maiores (68 e 71) em relação ao P1 (54 e 61) na variável “Nota” e “Dimensão”, O resultado final na variável de “Desempenho” é maior para P1 (65,5), isso se deve a variável “Prioridade” que tem uma influência maior em relação ao a “Nota” e a “Dimensão”.

Mesmo P2 alcançando um resultado final de “Ótimo” assim como P1, P1 se mantém com a melhor performance, pois o valor numérico é maior em relação ao P2, sendo P1 tendo alcançado 65,5 de desempenho na avaliação e o P2 56,5.

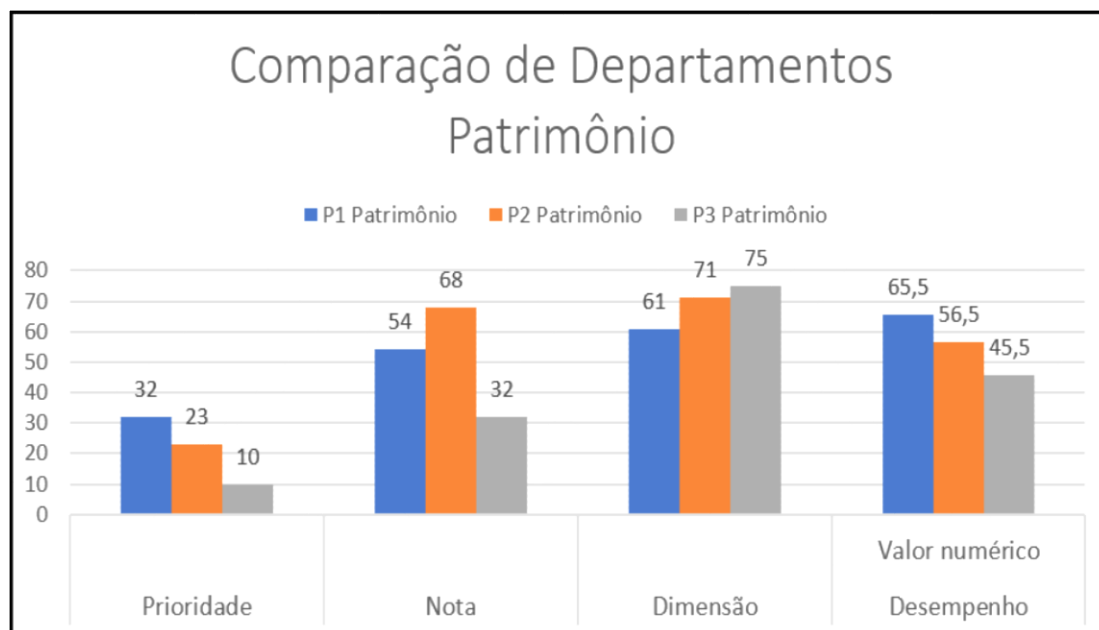


Figura 4.3 - Comparação de departamentos de patrimônio.

A Figura 4.4 contém os departamentos de Tecnologia da Informação (TI), divididos em três departamentos de diferentes empresas, tais departamentos são nomeados da seguinte forma: o nome fictício de Tecnologia da Informação 1 (TI1), Tecnologia da Informação 2 (TI2) e Tecnologia da Informação 3 (TI3).

Na Figura 4.4 observa-se que a melhor performance entre os departamentos de TI analisados das empresas que foram objeto de estudo é o TI1, isso ocorre devido a variável de entrada “*Prioridade*” possuir um valor maior que o TI2, tendo o TI1 um valor de 73 de prioridade e o TI2 um valor de 66. Os dois departamentos têm um desempenho “*Excelente*”, porém o TI1 é superior pelo seu valor numérico maior em relação ao TI2 na variável de saída “*Desempenho*”, tendo o TI1 alcançado um desempenho de 88,1 e o TI2 um valor numérico de 87,0.

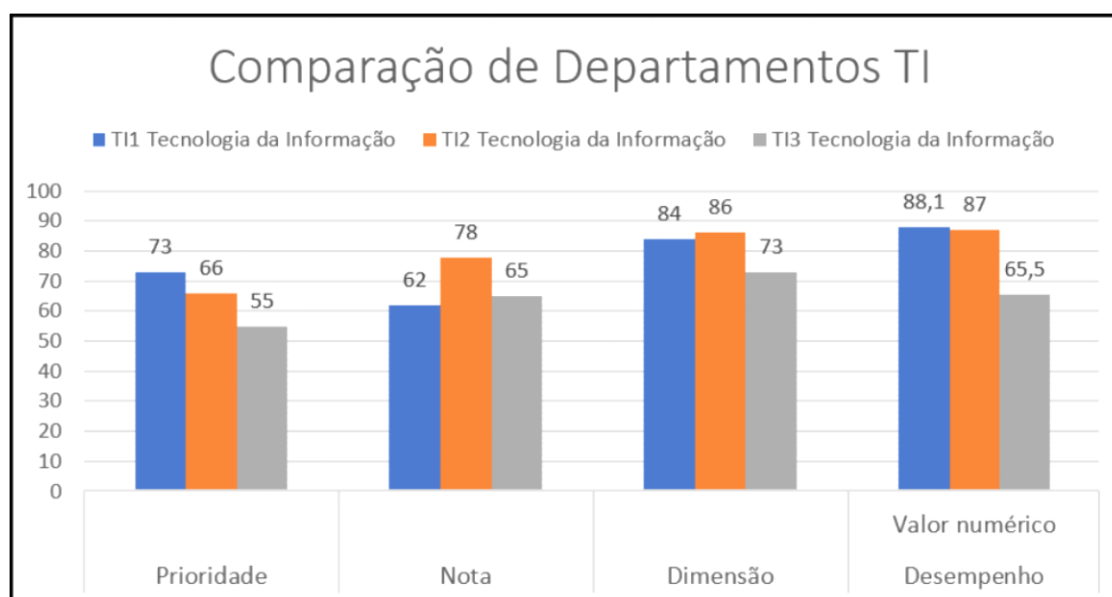


Figura 4.4 - Comparação de departamentos de TI.

A Figura 4.5 evidencia o resultado da avaliação feita para três departamentos de Recurso Humanos (RH), sendo eles identificados por Recurso Humanos 1 (RH1), Recurso Humanos 2 (RH2) e Recurso Humanos 3 (RH3), no qual o RH1 teve o melhor desempenho com um valor numérico de 87,6, o RH2 teve 65,5 de desempenho e o RH3 ficou com o pior desempenho com 25,5.

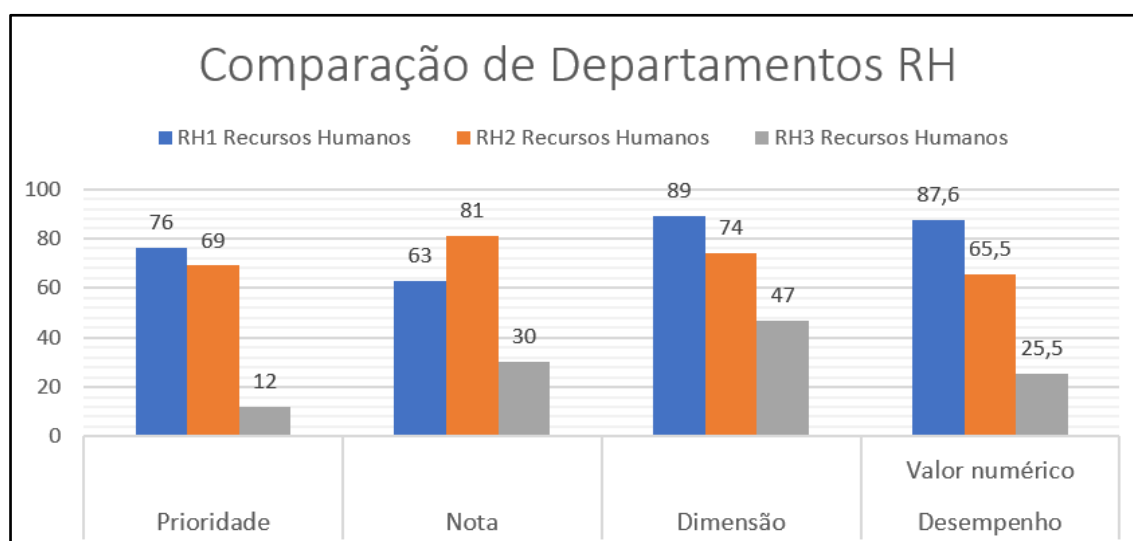


Figura 4.5 - Comparação de departamentos de RH.

Foi utilizado um único modelo de inferência *fuzzy* para avaliar os três departamentos (Patrimônio, RH e TI) de diferentes empresas, isso ocorreu devido às práticas utilizadas serem genéricas e se adaptarem a vários tipos de departamentos

diferentes. Assim o modelo pode ser utilizado para avaliação de diversos departamentos, desde que os mesmos se encaixem nas práticas utilizadas neste modelo.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

Conclui-se que o presente trabalho cumpriu com o objetivo estabelecido de analisar departamentos de empresas industriais do setor eletrônico, por meio de um modelo de inferência *fuzzy*. Foi observado que ao analisar as variáveis de desempenho na etapa inicial do desenvolvimento da pesquisa, a variável “*Prioridade*” teve maior influência em função da variável “*Desempenho*” que pode ser analisado pelo gráfico de superfície, as demais variáveis de entrada contribuem com menos influência no “*Desempenho*”.

Na etapa de seleção das variáveis significativas para o modelo foi possível observar a importância com relação as inferências das variáveis de entrada para delimitar o grau de desempenho da logística sustentável nos departamentos analisados, tendo em vista que as atividades da logística de suprimentos e suas práticas podem ser avaliadas por meio dessas características levantadas.

Portanto, o modelo é caracterizado por uma base de inferências que é adaptada por um conjunto de práticas e atividades em comum dos departamentos das empresas do segmento eletrônico, e sua aplicação permite ter uma análise abrangente acerca do grau de logística da sustentabilidade nos departamentos, estes que são indicados por meio de simulações onde os diferentes níveis de valores nas entradas definem o “*Desempenho*” final.

Por fim, a análise dos departamentos indica que a empresa do segmento eletrônico 1 tem um fator de sustentabilidade elevado em relação as empresas 2 e 3, onde os departamentos de RH, Patrimônio e TI, possuem respectivamente 87,6, 88,1 e 65,5 como performance sustentável.

Contudo, algumas limitações foram encontradas, estas que devem ser solucionadas na defesa final, onde o modelo foi aplicado em um único segmento industrial, o que não permite uma caracterização homogênea das práticas elencadas, por isso, outros segmentos industriais serão avaliados com a finalidade de constatar a adaptabilidade do modelo em relação ao “*Desempenho*”.

5.2 - SUGESTÕES

- Considerar dados de outras empresas para aplicar o modelo;
- Aplicar o modelo em empresas de outros segmentos que possuam os departamentos de RH, Patrimônio e TI;
- Analisar o Desempenho dos departamentos de empresas de diferentes segmentos elencando as que possuem o melhor indicador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABLYAZOV, V.; DRACHEV, O.; TISENKO, V. Fuzzy control under uncertainty in machine building. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2020. p. 022026.

AGYABENG-MENSAH, Y.; AFUM, E.; AHENKORAH, E. Exploring financial performance and green logistics management practices: examining the mediating influences of market, environmental and social performances. **Journal of cleaner production**, v. 258, p. 120613, 2020.

ATANASSOV, K. Third Zadeh's Intuitionistic Fuzzy Implication. **Mathematics**, v. 9, n. 6, p. 619, 2021.

BALDASSIN, F.; CAMPANA, L. F.; DE ANDRADE BERTAZZI, J. Seleção e avaliação de fornecedores do setor de fundição. **Journal of Open Research**, v. 1, n. 2, p. e18-e18, 2020.

CARTER, J. Fuzzy Logic: Recent Applications and Developments. **Springer Nature**, 2021.

CENTOBELLI, P.; CERCHIONE, R.; ESPOSITO, E. Evaluating environmental sustainability strategies in freight transport and logistics industry. **Business Strategy and the Environment**, v. 29, n. 3, p. 1563-1574, 2020.

CHAND, P.; THAKKAR, J. J.; GHOSH, K. K. Analysis of supply chain sustainability with supply chain complexity, inter-relationship study using delphi and interpretive structural modeling for Indian mining and earthmoving machinery industry. **Resources Policy**, v. 68, p. 101726, 2020.

COUTINHO, Pedro HS et al. A Multiple-Parameterization Approach for local stabilization of constrained Takagi-Sugeno fuzzy systems with nonlinear consequents. **Information Sciences**, v. 506, p. 295-307, 2020.

DA SILVA, A. L.; FREIRE, R. Z. Reverse logistics applied to E-commerce: A Systematic Literature Review on Methods, Applications, and Trends for a Virtual Sustainable Market. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 98347-98379, 2020.

DA SILVA, L. A. *et al.* Um diagnóstico sobre o alcance da cadeia de suprimentos na ação logística de uma indústria do setor de panificação. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 6, n. 2, p. 5-19, 2021.

DAVID B. G. *et al.* **Sustainable logistics and supply chain management**. 2021.

DE SÁ AMORIM, R. *et al.* Logística verde: um olhar sobre os resíduos plásticos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 63149-63156, 2020.

DE SOUZA MIGUEL, P. L. Tendências pós-pandemia. **GV EXECUTIVO**, v. 20, n. 1, p. 44-44, 2021.

ESCOTTÁ, A. T.; BECCARO, W. Controle Automático de Volume em Tempo Real Utilizando Inferência Fuzzy em um Sistema Embarcado. **Trends in Computational and Applied Mathematics**, v. 22, n. 1, p. 41-60, 2021.

FOLLMANN, N. *et al.* **Modelo de maturidade logística para empresas industriais de grande porte**. 2012.

HARIK, R. *et al.* Towards a holistic sustainability index for measuring sustainability of manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 13, p. 4117-4139, 2015.

HENRIQUE CECILIANO, P.; SANTANA MOREIRA, A. L.; DA COSTA VIEIRA, P. R. Logística Verde: A Influência da Orientação Estratégica e da Concorrência de Mercado nas Empresas de Capital Aberto no Brasil. **Revista FSA**, v. 17, n. 1, 2020.

JUNIOR, M. A. B. *et al.* Implementação de um Controlador Fuzzy para Controle de Temperatura. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 38231-38245, 2020.

KABINGA, Lawrence. Safari Chain Management Theory. A “New” Theory Of Supply Chain Management. **A “New” Theory of Supply Chain Management**. (October 27, 2020), 2020.

KARAMAN, A. S.; KILIC, M.; UYAR, A. Green logistics performance and sustainability reporting practices of the logistics sector: The moderating effect of corporate governance. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, p. 120718, 2020.

KARMAKER, C. L. *et al.* Improving supply chain sustainability in the context of COVID-19 pandemic in an emerging economy: Exploring drivers using an integrated model. **Sustainable production and consumption**, v. 26, p. 411-427, 2021.

MOLINA-BESCH, Katrin; PÅLSSON, Henrik. A simplified environmental evaluation tool for food packaging to support decision-making in packaging development. **Packaging Technology and Science**, v. 33, n. 4-5, p. 141-157, 2020.

MOSTEANU, N. R. *et al.* Sustainability Integration in Supply Chain Management through Systematic Literature Review. **Calitatea**, v. 21, n. 176, p. 117-123, 2020.

NAYAK, R. (Ed.). Supply Chain Management and Logistics in the Global Fashion Sector: **The Sustainability Challenge**. **Routledge**, 2020.

PAUL, A.; MOKTADIR, Md A.; PAUL, S. K. An innovative decision-making framework for evaluating transportation service providers based on sustainable criteria. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 24, p. 7334-7352, 2020.

PETRUCELLI, F. L. A TI modernizando a gestão: uma abordagem com foco na logística. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 17, n. 1, 2020.

PRANANINGTYAS, P.; ZULAEKHAH, S. The effect of logistics management, supply chain facilities and competitive storage costs on the use of warehouse financing of agricultural products. **Uncertain Supply Chain Management**, v. 9, n. 2, p. 457-464, 2021.

SALUM, M. I. F. *et al.* **Modelo para avaliação do grau da sustentabilidade na logística de suprimentos**. 2020.

SHAHBAZOVA, S. N.; SUGENO, M.; KACPRZYK, J. (Ed.). Recent Developments in Fuzzy Logic and Fuzzy Sets: Dedicated to Lotfi A. Zadeh. **Springer Nature**, 2020.

SHEGELMAN, I. R.; VASILEV, A. S.; KRUPKO, A. M. Logistics linking territories-producers of raw materials and territories-producers of final products. **Journal of Environmental Treatment Techniques (United Arab Emirates)**, v. 8, n. 2, p. 727-734, 2020.

SABERI, S. *et al.* Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 7, p. 2117-2135, 2019.

SAAVEDRA, Y. M. B. *et al.* Remanufacturing in Brazil: case studies on the automotive sector. **Journal of Cleaner Production**, v. 53, p. 267-276, 2013.

SILVA, F. F. B. S., **Desvendando a Lógica Fuzzy**. Minas Gerais. 129f. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Matemática. Universidade Federal de Uberlândia. 2011.

YANAR, T.; KOCAMAN, S.; GOKCEOGLU, C. Use of Mamdani fuzzy algorithm for multi-hazard susceptibility assessment in a developing urban settlement (Mamak, Ankara, Turkey). **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 2, p. 114, 2020.

VAN DER VORST, J.; BEULENS, A.; VAN BEEK, P. **10 Innovations in logistics and ICT in food supply chain networks**. *Innov. agri-food Syst*, v. 245, 2005.