

PROPOSTA DE MATRIZ DE DECISÃO PARA RANQUEAMENTO DE FORNECEDORES DE OSCILOSCÓPIOS VISANDO ORIENTAR GESTORES E PROFESSORES NA SELEÇÃO DOS MELHORES INSTRUMENTOS PARA USO EM CURSOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETROTÉCNICA DE UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA USANDO O MÉTODO HÍBRIDO PSI-COCOSO

Jucileia Filomena Barbosa Severino (UFF) jucileia@gmail.com
Marcos dos Santos (UFF) marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br
Carlos Francisco Simões Gomes (UFF) cfsg1@bol.com.br
Robisom Damasceno Calado (UFF) robisomcalado@id.uff.br

Resumo

Com a evolução tecnológica em áreas como engenharia, ocorre um fomento na demanda por instrumentação de precisão no ambiente acadêmico, sendo os osciloscópios parte da formação acadêmica e do desenvolvimento profissional nesse campo, que busca garantir a qualidade e efetividade dos equipamentos utilizados nos laboratórios. Assim, o presente artigo realiza uma proposta de matriz de decisão para classificar fornecedores de osciloscópio, primando por orientar gestores e professores na escolha dos melhores equipamentos para uso em cursos de engenharia elétrica e técnico em eletrotécnica de uma instituição pública de ensino. Considerando o problema da pesquisa, que busca encontrar soluções de adversidades reais perante a sociedade, destaca-se que este problema, instaura-se na carência de uma matriz de decisão para aquisição de equipamentos para uso no curso de engenharia de uma instituição de ensino. Metodologicamente, enfatiza-se na pesquisa, a utilização de ferramentas matemáticas que possibilitem a comparação e a análise dos dados alcançados. A proposta é de utilização do método PSI (Preference Selection Index) para a geração de pesos da matriz proposta e o CoCoSo (Combined Compromise Solution) para o ranqueamento dos fornecedores de osciloscópios na abordagem de atributos de estudo quantitativo. Como resultado, a matriz de decisão conseguinte, não apenas atende às demandas técnicas dos laboratórios, mas também considera elementos pedagógicos e ergonômicos, alinhando-se às melhores práticas identificadas pelos professores em seus respectivos ambientes laborais de ensino.

Palavras-Chaves: Matriz de Tomada de Decisão, Osciloscópio e PSI-CoCoSo.

1. Introdução

Avanços na área de engenharia elétrica representam uma crescente demanda por instrumentação padronizada. Assim, o uso dos osciloscópios digitais como instrumentos de medição e visualização de sinais, normalmente de tensões e correntes, as grandezas elétricas fundamentais, são essenciais para a formação acadêmica e o desenvolvimento profissional na área. Escolher de maneira criteriosa fornecedores deste tipo de equipamento é uma tarefa fundamental para as instituições públicas que primam pela qualidade do ensino em seus cursos técnicos e de graduação garantindo a utilização otimizada dos recursos.

A relevância do estudo proposto pode ser observado através de Tsoug-You Chou e Juei-Ping Liao (2020) que, em seu artigo publicado, estabelecem um modelo de avaliação para aquisição de máquinas para processamento de alimentos. Os autores combinam conceitos e métodos, para criar um modelo de apoio à tomada de decisão.

Para embasar essa pesquisa, estabelecer critérios objetivos e transparentes que permitam avaliar e comparar as opções disponíveis no mercado, é fundamental recorrer-se a modelos de decisão, utilizando-se de matriz que abordem aspectos relevantes, proporcionando melhor resolução para consumação de osciloscópios, maximizando suas aplicações pedagógicas.

Diante deste contexto, o presente artigo se propõe integrar estudos recentes, consolidando um conjunto abrangente de técnicas que permitam uma análise holística e informada na escolha de fornecedores de osciloscópios para uso em cursos de engenharia elétrica e técnico de eletrotécnica de uma instituição pública. Assim, busca-se aqui, encontrar soluções para adversidades reais da sociedade, que no presente estudo, instaura-se na carência de uma matriz de decisão para aquisição de equipamentos para uso nos cursos tecnológicos de uma instituição de ensino.

A matriz de decisão resultante não apenas atenderá às demandas técnicas dos laboratórios, mas também considerará elementos pedagógicos e ergonômicos, alinhando-se às melhores práticas identificadas pela pesquisa acadêmica recente na área.

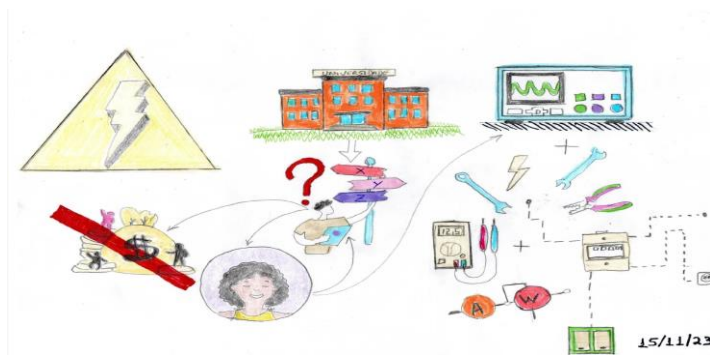
2. Descrição do Problema

A engenharia elétrica, alinhada a outras áreas tecnológicas, tem experimentado um crescimento exponencial nas últimas décadas. Esse crescimento vem impulsionado por avanços rápidos e constantes nas ciências e nas demandas do mercado. Nesse cenário, extremamente dinâmico, a

formação acadêmica é crucial para preparar profissionais capazes de enfrentar desafios complexos e as inovações disruptivas. Um elemento vital no processo de formação é a utilização de materiais adequados, e entre eles, os osciloscópios ocupam posição central no processo de medições das grandezas estudadas.

Entretanto, mesmo diante da crescente importância desses equipamentos, uma lacuna se faz presente no ambiente acadêmico, especificamente em relação à carência de uma proposta de matriz de decisão para o ranqueamento de fornecedores. A ausência de critérios objetivos e específicos para a escolha dos melhores instrumentos, têm impactos diretos na qualidade do ensino e na formação dos futuros profissionais dessas áreas. A descrição visual, mostrada na Figura 1, apresenta a sistemática do desafio enfrentado pelos professores e gestores de instituições públicas de ensino.

Figura 1 – Figura Rica da Descrição do Problema



Fonte: Autores (2023)

Em instituições públicas, onde recursos muitas vezes são limitados, a necessidade de otimizar investimentos e garantir a eficiência no processo de aquisição de equipamentos é ainda mais premente. Gestores e professores se veem desafiados a realizar escolhas informadas e estratégicas que atendam não apenas às demandas técnicas dos laboratórios, mas também às expectativas pedagógicas e aos requisitos específicos de cada disciplina.

A complexidade dessa tomada de decisão é evidenciada pela diversidade de modelos e especificações oferecidos por diferentes fornecedores, bem como pelas constantes inovações tecnológicas. A falta de uma matriz de decisão padronizada e adaptável à realidade de cada instituição pública torna o processo de seleção mais subjetivo e suscetível a escolhas que podem não ser as mais adequadas para as necessidades específicas do ambiente acadêmico.

Assim, a presente pesquisa visa preencher essa lacuna ao desenvolver uma Proposta de Matriz de Decisão para o Ranqueamento de Fornecedores de Osciloscópios. Essa ferramenta pretende

oferecer um guia sistemático e abrangente para gestores e professores, facilitando a escolha dos melhores instrumentos para os cursos de engenharia elétrica, eletrotécnica e afins em instituições públicas. Ao fazer isso, busca-se otimizar o uso de recursos, promover a eficácia pedagógica e contribuir para a formação de profissionais altamente qualificados e alinhados com as demandas do mercado atual.

Como um dos instrumentos para recurso de estruturação e entendimento do problema de pesquisa, pode-se destacar o quadro para tomada de decisões estratégicas (GOMES, 2020) adaptado para o cenário de proposta de elaboração de matriz de decisão do trabalho. A Figura 2 apresenta o quadro.

Figura 2 – Quadro de Tomada de Decisões Estratégicas

Regras - São permitidos fornecedores em dia com obrigações legais do país. - Não são permitidos equipamentos não certificados. Classes - A lei 14.133 aumentou a transparência para licitações. - Manual de conduta dos agentes públicos. - Lei de improbidade administrativa (L8429)	Desafio - A proposta de ranqueamento pode ser afetada pela falta de transparência nas licitações de alguns setores. - Obtenção de orçamentos com validade Capacidade - A capacidade técnica e operacional está presente na instituição pelo grupo qualificado. A capacidade financeira muitas vezes é prejudicada por políticas de governo.	Recompensa - Otimização do uso dos recursos da instituição - Melhorar na prática laboratorial. - Atendimento as demandas dos usuários. Motivações - Estabelecer padrão de compra primando pela qualidade e melhor relação custo-benefício - Auxiliar a escolha de compras com parâmetros técnicos.	Alternativas - Fabricantes reconhecidos no mercado e com certificação do INMETRO. - Principais opções: Testonix, Minipa, Victor Rucchi, Bisco e Novotest. Viabilidade - Risco da escolha não atender a demanda de todos; - Vantagem de buscar não só o menor preço mas ele alinhado ao atendimento dos critérios.	Decisão a fazer - Ranquear os fornecedores; - Orientar a compra mais eficiente - Atender as demandas dos profissionais
Jogadores - Ainda temos alguns vícios e irregularidades nas licitações prejudicando o processo de compra. - A letargia do processo ainda é um ponto preocupante. - Os parceiros são os professores e gestores de compras. Vantagem - Otimização de recursos - Redução de custos - Melhorar as escolhas dos equipamentos	Recursos - Ferramentas matemáticas propostas nos métodos de tomada de decisão. - Experiência dos gestores e servidores do setor de compras Categoria - Material		Indicadores - As fontes de dados são os manuais técnicos dos equipamentos; - Número de canais, taxa de amostragem, largura de banda, tamanho da tela e preço são os critérios adotados para a escolha. - Orçamentos de fornecedores cadastrados. Tipos - Dados públicos; - Informações Técnicas	Decisão a não fazer - Não escolha baseada apenas no preço. - Não atendimento à legislação e transparência pública.
Cenário - Ocorre dentro de uma instituição pública de ensino de engenharia Considerações - Dependência de orçamento público - Dependência de cenário internacional de preços		Estratégia - Escolha de método matemático objetivo - Coleta de dados reais - Análise através de entrevistas com especialistas		

Fonte: Autores, adaptado de GOMES, 2020.

O Quadro para Tomada de Decisões Estratégicas proposto tem utilidade multiforme. Sendo visual, proporcionando uma estrutura objetiva e abrangente para gestores e professores que buscam selecionar os melhores instrumentos para otimizar a qualidade do ensino e a formação de profissionais qualificados.

Inicialmente, o Quadro para Tomada de Decisões Estratégicas estabelece critérios claros e objetivos para a avaliação de osciloscópios, abrangendo aspectos técnicos, ergonômicos e financeiros. A inclusão de critérios como número de canais, taxa de amostragem, largura de banda, tamanho da tela e preço permite uma análise holística dos fornecedores e de seus produtos. Essa abordagem multifacetada aborda diretamente as necessidades específicas de instituições públicas, onde a eficiência dos recursos e a adequação pedagógica são de extrema importância.

Em última análise, a implementação desse Quadro para Tomada de Decisões Estratégicas auxilia na superação da falta de uma matriz de decisão padronizada, proporcionando um guia estratégico e adaptável para gestores e professores. Ao integrar critérios técnicos, pedagógicos e financeiros, o Quadro emerge como uma ferramenta valiosa na busca por osciloscópios que não apenas atendam às demandas técnicas dos laboratórios, mas também enriqueçam o processo de aprendizagem dos estudantes e fortaleçam a posição das instituições públicas na vanguarda da educação em engenharia elétrica e eletrotécnica.

3 Fundamentação Teórica

3.1 Tomada de Decisão para Gestores na Seleção de Fornecedores

Calache *et al.* (2019), através de sua pesquisa acadêmica propõe um modelo de avaliação e seleção de fornecedores para manutenção industrial baseado em Fuzzy-TOPSIS. utilizando uma técnica de apoio para tomada de decisão. O artigo utiliza o modelo para hierarquizar as alternativas com base na proximidade com solução ideal. Para os autores, a aplicação prática de um modelo para tomada de decisão, demonstra sua viabilidade e utilidade no contexto real.

Já Akcan e Güldes (2019) discutem em seu trabalho diferentes modelos híbridos para resolver o problema de seleção de fornecedores para hospitais. Os autores utilizam métodos como AHP (Analytic Hierarchy Process), TOPSIS, ELECTRE (Elimination et Choix Traduisant la Réalité), GRA e SAW mostrando a consistência entre ele e encorajando os tomadores de decisão na escolha do método mais adequado para suas limitações.

Os métodos multicritérios de tomada de decisão (MCDM) possuem características e vantagens distintas. Neste contexto, a seleção do método mais apropriado para cada sistema gerido é fundamental para o sucesso da decisão. Da Silva *et al.* (2021) elaboraram um diagrama que recomenda o método MCDM mais adequado no contexto de planejamento de manutenção de uma organização, destacando a importância de considerar o contexto operacional específico ao selecionar o método multicritério a ser utilizado.

Quanto a pesquisa sobre licitações públicas Dotoli *et al.* (2020) em seu artigo incluem uma análise comparativa utilizando AHP, PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations), MAUT (Multi attribute Utility Theory) e DEA (Data Envelopment Analysis) para auxiliar tomadores de decisão na seleção adequada de licitante garantindo transparência, objetividade e não discriminação nos processos.

Para a coleta de dados, a literatura científica apresenta como uma boa opção de ferramenta o método Delphi. Em seu trabalho, Hazza *et al.* (2021) fazem uma abordagem integrada de Delphi com AHP para a seleção de fornecedores. A coleta de dados, feita com Delphi, mostra consenso no trabalho, nos quesitos de preço do produto, tempo de entrega e taxa de rejeição. Assim os autores desenvolveram um framework com base no consenso alcançado pelos especialistas mostrando eficácia do modelo na seleção de fornecedores.

Rong e Yu (2023) em seu trabalho de sistema de apoio à decisão para priorização de instalações de parques eólicos propõe e utilização do método híbrido PF-PSI-SWAR-CoCoSo para selecionar a localidade ótima para a planta eólica. No estudo as Pictures Fuzzy (PF), PSI e SWARA (Stepwise Weights Assessment Ratio Analysis) foram utilizados para avaliar os pesos dos critérios levando em consideração os pesos objetivos e subjetivos da proposta enquanto o método CoCoSo (Combined Compromise Solution) deu o suporte para a tomada de decisão no intuito de selecionar o local ótimo para a instalação da planta eólica. Complementando o estudo, os autores propõem ainda, em pesquisas futuras, o desenvolvimento de um sistema mais abrangente que considere desenvolvimento sustentável e baixas emissões de carbono para decisões mais voltadas para as problemáticas atuais das plantas eólicas em implementação.

Uma variação de método de tomada de decisão para seleção de fornecedores é o CoCoSo-G. Yazdani *et al.* (2019) discutem a aplicação da versão estendida do método original onde são utilizados números cinza, quem tem intervalo fechado conhecido. A técnica pode ser utilizada para lidar com situações e problemas complexos com a seleção de fornecedores na indústria da construção.

A fundamentação teórica para métodos aplicados para a tomada de decisão utilizada na seleção de fornecedores por gestores se apresentou fundamental para a definição de parâmetros seguidos neste estudo. Ela não se esgota, mas de maneira reduzida pode trazer muitos subsídios para dar sequência a proposta do trabalho.

3.2 Tomada de Decisão para Avaliação e Seleção de Equipamentos

Uma abordagem, através de uma matriz de decisão, proporciona a exploração de características técnicas essenciais equipamentos em geral. Para os osciloscópios modernos, ressaltando a importância de parâmetros como tamanho de canais, taxa de amostragem, largura de banda e tamanho de tela. Esses elementos desempenham papel importante na precisão das medições e

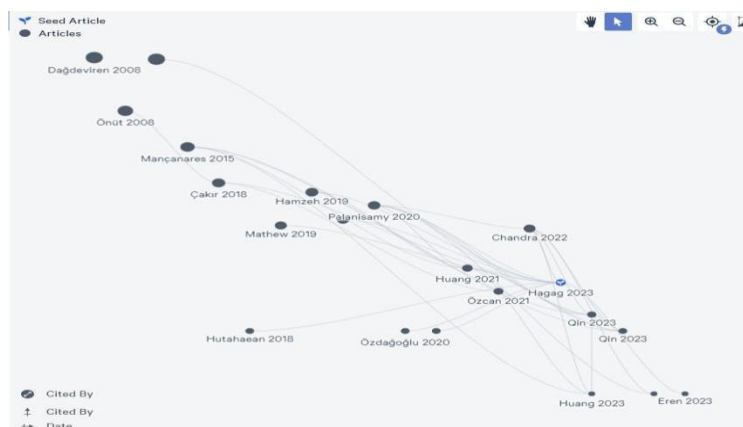
no desempenho dos instrumentos, fatores cruciais a serem considerados na seleção de fornecedores para ambientes acadêmicos.

Tsoug-You Chou e Juei-Ping Liao (2020) abordam através do seu artigo, a importância da compreensão do comportamento de compra organizacional e dos processos de tomada de decisão. Assim, a pesquisa desses dois autores visa fornecer uma estrutura sistemática de avaliação de compras e contribuir para a compreensão do valor percebido pelo cliente de equipamentos a serem adquiridos, como citado no caso de um osciloscópio.

Tsai *et al.* (2021) fizeram uma ampla revisão da literatura sobre seleção de fornecedores discutindo limitações de métodos existentes. Além disso, os resultados do estudo indicam que habilidade tecnológica e critérios bem definidos são essenciais na seleção de fornecedores da indústria de produção de tecnologia, mais precisamente, com caso do estudo em questão, a seleção de displays de TFT (transistor de película fina).

Já Hagag *et al.* (2023) revisam o uso de métodos multicritério na seleção de máquinas na indústria de manufatura e construção, incluindo robôs industriais, máquinas CNC (Computer Numerical Control), alimentos, farmacêuticas, processamento de materiais, usinagem e construção. Neste artigo é observado ainda um crescimento significativo na utilização de MCDM para seleção de máquinas nos setores de destaque da publicação.

Figura 3: Mapa de Sementes do Artigo de Hagz *et al.* (2023)



Fonte: LITMAPS (2023)

Assim, analisando o artigo publicado com a ferramenta LITMAPS (<https://app.litmaps.com/>) cujo mapa de semente é mostrado na Figura 3 é possível perceber que o estudo publicado fez ampla pesquisa analisando artigos que propunham método multicritério como AHP, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), VIKOR

(ViseKriterijumskaOptimizacija i KompromisnoResenje), SWARA, CRITIC e EDAS para seleção de fornecedores e que, principalmente, o artigo já frutificou no setor tecnológico dando base para a publicação de dois trabalhos sendo um a apresentação de uma ferramenta onde os Chaipraha e Chancharen (2023) destacam que a escolha de melhores opções e parâmetros pelos especialistas otimizam o processo.

Em seu artigo “Selection of insulation material with PSI-CRITC basead CoCoSo method”, Ulutas *et al.* (2021) avaliam que a escolha de materiais isolantes para paredes externas se mostraram eficientes levando em consideração o impacto financeiro e a conservação de energia alcançada. No trabalho estudado foi a escolha foi baseada no método CoCoSo com os pesos definidos pelo PSI-CRITIC. Assim como ocorreu no trabalho de Tsoug-You Chou e Juei-Ping Liao (2020), o artigo fornece uma visão detalhada do problema e das metodologias utilizadas na avaliação de materiais de isolamento, reforçando mais uma vez que o conhecimento especializado é fator fundamental para as boas escolhas.

4 Metodologia

Como consequência da investigação, no presente capítulo metodologia, busca descrever os procedimentos empregados, sua caracterização, instrumento utilizado e tratamento dos dados.

A presente pesquisa, quanto a natureza é aplicada, com objetivo de resolver o problema da falta de uma matriz de decisão para seleção de fornecedores de osciloscópios digitais para uma instituição pública de ensino de engenharia elétrica e eletrotécnica, tendo uma abordagem de atributos de estudo quantitativo utilizando-se de ferramentas matemáticas e estatística, que possibilitam a comparação e análise dos dados.

O procedimento adotado baseia-se em uma pesquisa bibliográfica, tendo como base o banco de dados de base Scopus e ainda a matriz de decisão apresentada na seção Proposta de Solução, permitindo assim utilização de ferramentas matemáticas e estatísticas.

Nesse contexto, realizou-se uma revisão sistemática da literatura, sendo especificamente utilizado como base, o banco de dados Scopus, realizando-se em três etapas conforme Figura 4, acrescentando detalhes abaixo sobre levantamento bibliográfico:

- a) definição das palavras-chave para busca e escolha das bases de dados;
- b) coleta dos dados;
- c) triagem dos artigos; e
- d) análise do portfólio construído.

Figura 4 - Figura representativa de metodologia

PRIMEIRA ETAPA	SEGUNDA ETAPA	TERCEIRA ETAPA
Levantamento Bibliográfico na Base Scopus	Verificação e levantamento da abordagem de matriz para tomada de decisão	Correlação dos pesos com as alternativas disponibilizadas
Levantamento do Problema de Pesquisa com entrevistas dos professores e gestores.	Determinação do Conjunto de Critérios e alternativas para tomada de decisão	Organização das alternativas, pesos conforme modelo aplicado
Elaboração do Quadro de Tomada de Decisão	Aplicação do modelo CoCoSo	Análise e discussão dos resultados
Elaboração da Matriz de Decisão com dados de compras públicas.	Determinação dos pesos dos critérios pelo Método PSI.	Conclusões

Fonte: Autores (2023)

Para esta pesquisa aplicada, utilizou-se de instrumentos de avaliação o Quadro para Tomada de Decisões Estratégicas mostrado na Figura 2 e Matriz de Decisão obtida através de entrevistas a professores que utilizam os equipamentos nos laboratórios da instituição. Foram consultados seis docentes da área de instrumentação da instituição. Além de professores, foram consultados dois servidores especializados em compras e um gestor do centro de custos. As características dos instrumentos foram selecionadas e estão apresentadas na Tabela 1 separados quanto aos parâmetros ergonômicos, técnicos e administrativos

Tabela 1: Resultado da Pesquisa para Definição dos Critérios

		Professores	Gestores
Ergonômicas	Tamanho da tela	≤ 6 pol.	Indiferente
	Tipo de tela	LCD ou LED	Indiferente
	Peso	$\geq 4,0$ kg	Indiferente
Técnica	Número de canais	≤ 2	Indiferente
	Taxa de amostragem	≤ 500 Ms/s	Indiferente
	Largura de banda	≤ 50 MHz	Indiferente
	Alimentação	$110 \leq V 240$ V	Indiferente
	Certificação	INMETRO	Indiferente
Administrativas	Preço	Indiferente	$\leq R\$35,000$
	Conformidade administrativa	Indiferente	Cadastrado no Compras.net

Fonte: Autores (2023)

- a) O número de canais necessários, sendo escolhido para alternativas equipamentos com mínimo dois canais e máximo quatro.
- b) Quanto a taxa de amostragem que determina o número de vezes que o osciloscópio coleta amostras em um segundo foi determinado um valor mínimo de 0.5 Gs/s e 2.5Gs/s.
- c) Para a banda de largura é necessário atender o teorema de Nysquit que determina que para a reconstrução do sinal devemos ter pelo menos o dobro da frequência do sinal estudado. Para os cursos de engenharia elétrica foi determinado com os especialistas que uma frequência entre 50MHZ e 200MHZ é suficiente para atender os sinais analisados.
- d) O tamanho da tela atende aos critérios ergonômicos e assim, definiu-se que osciloscópios com tela entre 6 e 8 polegadas atendem às demandas dos cursos atendidos.
- e) O preço foi definido pelos gestores colocando valor máximo de R\$ 31.000.

De posse dos dados filtrados de alguns fabricantes já cadastrados na base de compras do governo fez-se tabulação dos dados no programa Microsoft Excel.

Foi ainda definido a utilização do método PSI-CoCoSo pela objetividade do PSI (MANIYA, 2010) em definir os pesos e pela ampla possibilidade de utilização do CoCoSo (YAZDANI, 2019) de maneira a generalizar a definição de matriz de decisão para equipamentos. A análise de sensibilidade do método facilita sua utilização em uma boa gama de aplicações verificadas no referencial teórico. Para a ordenação, sua depuração foi feita na ferramenta computacional web CoCoSo Method (SANTOS, 2023) e PSI and MPSI-MARA For Decision Making (ARAÚJO, 2023).

5 - Proposta de Solução

A solução apresentada para ordenação de fornecedores de osciloscópios digitais de uma instituição pública de ensino, é apresentada a seguir, com todos os passos propostos no método CoCoSo, sendo que os pesos são gerados pelo método PSI. (Preference Selection Index).

Seguindo o algoritmo do método CoCoSo, o primeiro passo é estabelecer matriz de decisão com as alternativas e critérios apresentados na metodologia. Assim, a Tabela 2 apresenta a matriz de decisão trabalhada. A matriz permite a comparação direta entre diferentes fornecedores, evidenciando suas respectivas pontuações em cada critério. Isso simplifica o processo de avaliação e possibilita a identificação rápida de pontos fortes e fracos de cada opção. A transparência resultante contribui para uma tomada de decisão mais objetiva e fundamentada.

Tabela 2 – Matriz de Decisão

	Canais	Tx. Amostra	Larg. Banda	Tela	Preço (R\$)
	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN
Tektronix TPS 2014	4	1 Gs/s	100MHz	7 pol	19,796
Tektronix THS3014	4	2.5 Gs/s	100MHz	6 pol	31,000
Tektronix TBS 1202B	2	2 Gs/s	200MHz	7 pol	10,400
Minipa MVB-100	4	1 Gs/s	100MHz	8 pol	16,042
Minipa MVB-70	4	1 Gs/s	70MHz	8 pol	14,585
Victor Ruoshi 1050S	2	0.5 Gs/s	50MHz	7 pol	3,872
Novotest.br UTD21022CEX	2	1 Gs/s	100MHz	7 pol	7,175
Rigol DS1054Z	4	1 Gs/s	50MHz	7 pol	4,300

Fonte: Autores (2023)

Tendo a disponibilização da matriz, executou-se a normalização desta, usando-se para isso, a equação (1) que é a mesma utilizada no método AHP.

$$r_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}} \quad \text{para } i=1,2,\dots,m \quad (1)$$

Tabela 3 – Matriz de Decisão Padronizada

	C1	C2	C3	C4	C5
	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN
A1	0,1538462	0,10	0,1298701	0,1228071	0,1847159
A2	0,1538462	0,25	0,1298701	0,1052632	0,2892601
A3	0,0769231	0,20	0,2597403	0,1228071	0,0970421
A4	0,1538462	0,10	0,1298701	0,1403509	0,1496874
A5	0,1538462	0,10	0,0909091	0,1403509	0,1360922
A6	0,0769231	0,05	0,0649494	0,1228071	0,0361295
A7	0,0769231	0,10	0,1298701	0,1228071	0,0669497
A8	0,1538462	0,10	0,0649494	0,1228071	0,0401232

Fonte: Autores (2023)

A matriz sequência de comparabilidade, apresentada na Tabela 4, foi obtida utilizando a equação (2) para critério de benefício e (3) para critério de custo.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad \text{para } i=1,2,\dots,m \quad (2)$$

para $i=1,2,\dots,m$ (3)

$$r_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}$$

Tabela 4 – Matriz Sequência de Comparabilidade

	C1	C2	C3	C4	C5
	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN
A1	1	0.25	0.3333333	0.5	0.143005
A2	1	1	0.3333333	0.49999	0
A3	0	0.75	1	0.5	0.759363
A4	1	0.25	0.3333333	1	0.551386
A5	1	0.25	0.1333333	0.49999	0.605094
A6	0	0	0	0.5	1
A7	0	0.25	0.3333333	0.5	0.878243
A8	1	0.25	0	0.4	0.984223

Fonte: Autores (2023)

Para a elaboração da sequência de comparabilidade ponderada (Si) foi necessário primeiro o cálculo de peso de cada critério. Para o caso estudado, fez-se a opção pelo uso do método PSI (Preference Selection Index). O método foi escolhido pois é um método objetivo baseado nos dados de entrada bruto, ou seja, é um método puramente matemático. Assim usando a matriz de decisão mostrada na Tabela 1 e normalizada com as equações (4) para os critérios de lucro e (5) para os critérios de custo apresenta-se a matriz padronizada utilizada para o cálculo dos pesos dos critérios segundo o método PSI.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \text{ com } i = 1, 2, \dots, m; r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \text{ com } i = 1, 2, \dots, m \quad \text{Equação (4)}$$

$$r_{ij} = \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} \text{ com } i = 1, 2, \dots, m; r_{ij} = \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} \text{ com } i = 1, 2, \dots, m \quad \text{Equação (5)}$$

Tabela 5 – Matriz Normalizada pelo método PSI com os Pesos

	C1	C2	C3	C4	C5
	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN
A1	1	0.4	0.5	0.5	0.195595
A2	1	1	0.5	0.5	0.124903
A3	0.5	0.8	1	1	0.372308
A4	1	0.4	0.5	0.5	0.241366
A5	1	0.4	0.35	0.35	0.265478
A6	0.5	0.2	0.25	0.25	1
A7	0.5	0.4	0.5	0.5	0.539652
A8	1	0.4	0.25	0.25	0.900465
PSI	0.1868	0.1828	0.2128	0.3358	0.0818

Fonte: Autores (2023)

Na execução desta etapa, o aplicativo está disponível em (<https://psi-mpsi-mara.streamlit.app/>) elaborado por (Araújo, Túlio Mozart Pires de Castro; Gomes, Carlos Francisco Simões; Santos, Marcos dos. PSI e MPSI-MARA para tomada de decisão (v1), Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2023.) foi utilizado para execução dos cálculos apresentados no método PSI que aqui foi utilizado para a obtenção dos pesos.

Assim, seguindo para a implementação e usando a ferramenta computacional que calcula as estratégias de agregação e a agregação final do Método Combined Compromise Solution

(CoCoSo) [SANTOS, Marcos dos.; FLOQUET, Sérgio. cocosoR em R (v.1) 2023.] encontramos a sequência de comparabilidade ponderada (S_i) dada pela equação (6) e a sequência de comparabilidade ponderada exponencialmente (P_i) através da equação (7).

$$S_i = \sum_{j=1}^n (w_j r_{ij}) \quad \text{equação (6)}$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad \text{equação (7)}$$

Foi calculado na ferramenta as estratégias de agregação (equações 8, 9 e 10), agregação final (equação 11) que fornece a ordenação dos osciloscópios.

$$k_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^m (P_i + S_i)} \quad \text{equação (8)}$$

$$k_{ib} = \frac{S_i}{\min_i S_i} + \frac{P_i}{\min_i P_i} \quad \text{equação (9)}$$

$$k_{ic} = \frac{\lambda(S_i) + (1 - \lambda)(P_i)}{(\lambda \max_i S_i + (1 - \lambda) \max_i P_i)}; 0 \ll \lambda \ll 1 \quad \text{equação (10)}$$

$$k_i = (k_{ia} k_{ib} k_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3} (k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \quad \text{equação (11)}$$

Tabela 6 – Resultado Obtido

	Si	Pi	Ka	Kb	Kc	K	Ordem
A1	0.5002	4.2956	0.1483	4.4328	0.9232	2.6814	3
A2	0.4405	2.7915	0.0999	3.3524	0.6222	1.9511	7
A3	0.575	3.7242	0.1329	4.4205	0.8276	2.5801	4
A4	0.6745	4.5201	0.1606	5.2698	1	3.0894	1
A5	0.6364	4.3872	0.1553	5.0399	0.9671	2.9655	2
A6	0.2448	1.7977	0.0632	2	0.3932	1.1864	8
A7	0.3515	3.3549	0.1146	3.3019	0.7135	2.023	6
A8	0.476	3.5726	0.1252	3.9317	0.7794	2.3387	5
PSI	0.5002	4.2956	0.1483	4.4328	0.9232	2.6814	

Fonte: Autores (2023)

A Tabela 6, apresenta os valores encontrados, destacando a alternativa 4 (Minipa MVB-100) como a melhor opção de osciloscópio digital tem adotado como critério a quantidade de canais, taxa de amostragem, largura de banda, tamanho da tela e preço.

6 Discussão dos Resultados

O uso do Quadro para Tomada de Decisões Estratégicas possibilitou, junto com a avaliação dos professores e servidores possibilitou a definição dos multicritérios no ranqueamento de

fornecedores de osciloscópios para instituições públicas de ensino em engenharia elétrica e eletrotécnica.

A estrutura clara da matriz, mostrada na Tabela 7 permitiu uma comparação direta e transparente entre os fornecedores avaliados. Os gestores e professores puderam visualizar rapidamente as pontuações de cada fornecedor em relação a cada critério, facilitando a identificação de pontos fortes e fracos de cada opção. Essa transparência contribui para uma decisão fundamentada, mitigando possíveis vieses e promovendo uma escolha objetiva.

Tabela 7 – Matriz tomada de Decisão obtida para Ordenação de Fornecedores de Osciloscópios

	Ordenação	Canais	Tx Amostr	Band Freq.	Tela	Preço
Minipa MVB-100	1	4	1 Gs/s	100 MHz	8 pol	R\$16.042
Minipa MVB-70	2	4	1 Gs/s	70 MHz	8 pol	R\$ 14.585
Tektronix TPS 2014	3	4	1 Gs/s	100 MHz	7 pol	R\$ 19.796
Tektronix TBS 1202B	4	2	2 Gs/s	200 MHz	7 pol	R\$ 10.400
Rigol DS1054Z	5	4	1 Gs/s	50 MHz	7 pol	R\$ 4.300
Novotest.br UTD21022CEX	6	2	1 Gs/s	100 MHz	7 pol	R\$ 7.175
Tektronix THS3014	7	4	2.5 Gs/s	100 MHz	6 pol	R\$ 31.000
Victor Ruoshi 1050S	8	2	0.5 Gs/s	50 MHz	7 pol	R\$ 3.872

Fonte: Autores (2023)

O uso das ferramentas baseada nos métodos PSI e CoCoSo se apresenta como facilitador para gestores e professores, simplificando o processo de tomada de decisão. Assim, a simplificação da complexidade inerente à escolha de fornecedores de osciloscópios contribui para uma decisão mais rápida e informada, economizando tempo e recursos.

7 Considerações Finais

O presente estudo atendeu ao seu objetivo geral de investigar e propor uma Matriz de Decisão para Ranqueamento de Fornecedores de Osciloscópios, Visando Orientar Gestores e Professores na Seleção dos Melhores Instrumentos para uso em Cursos de Engenharia Elétrica e Eletrotécnica de uma Instituição Pública.

Considerando o problema da pesquisa, que busca encontrar soluções para adversidades reais para sociedade, destaca-se que este problema tem como proposta uma solução viável através dos resultados da pesquisa que restaura a carência de uma matriz de decisão para aquisição de equipamentos para uso no curso de engenharia de uma instituição de ensino.

Esta proposta estabelece critérios objetivos para o ranqueamento de fornecedores de osciloscópios utilizando o método híbrido PSI-CoCoSo. A utilização da matriz proposta

garantirá que a instituição pública adquira osciloscópios de alta qualidade e que atendam às necessidades dos cursos de engenharia.

7 Referências

ARAÚJO T. M. P C; Gomes, C. F.S; Santos, M. dos. **"PSI and MPSI-MARA For Decision Making"** (v1), Fluminense Federal University, Niterói, Rio de Janeiro, 2023.

AKCAN, Serap et al. **Integrated multicriteria decision-making methods to solve supplier selection problem: A case study in a hospital.** Journal of healthcare engineering, v. 2019, 2019.

AL HAZZA, Muataz Hazza et al. **An integrated approach for supplier evaluation and selection using the delphi method and analytic hierarchy process (AHP): A new framework.** Int. J. Technol, v. 13, n. 1, p. 16-25, 2022.

CALACHE, Lucas Daniel Del Rosso et al. **Supplier selection and evaluation model proposal for industrial maintenance based on Fuzzy-TOPSIS.** Gestão & Produção, v. 26, p. e3565, 2019.

CHAIPRABHA, Kantawatchr; CHANCHAREON, Ratchatin. **Innovative Smart Drilling with Critical Event Detection and Material Classification.** Journal of Manufacturing and Materials Processing, v. 7, n. 5, p. 155, 2023.

CHOU, Tsung-Yu; LIAO, Juei-Ping. **Using MEC and FAHP to Establish an Evaluation Model for Food Processing Machinery Procurement.** Mathematical Problems in Engineering, v. 2020, p. 1-10, 2020.

DA SILVA, Renan Favarão et al. **Deciding a Multicriteria Decision-Making (MCDM) Method to Prioritize Maintenance Work Orders of Hydroelectric Power Plants.** Energies, v. 14, n. 24, p. 8281, 2021.

DOTOLI, Mariagrazia; EPICOCO, Nicola; FALAGARIO, Marco. **Multi-Criteria Decision Making techniques for the management of public procurement tenders: A case study.** Applied Soft Computing, v. 88, p. 106064, 2020.

GOMES, A. E de S. **Teoria dos jogos aplicada na educação profissional para desenvolvimento de competência em tomada de decisões estratégicas.** [178 f.]. Dissertação (Programa de Mestrado Profissional em Gestão da Economia Criativa) -Escola Superior de Propaganda e Marketing, Rio de Janeiro, 2020.

HAGAG, Asmaa M.; YOUSEF, Laila S.; ABDELMAGUID, Tamer F. **Multi-criteria decision-making for machine selection in manufacturing and construction: Recent trends.** Mathematics, v. 11, n. 3, p. 631, 2023.

Litmaps is an online research platform Litmaps.com. Available at < <https://app.litmaps.com>> / (Accessed on 22/11/2023)

RONG, Yuan; YU, Liying. **Decision Support System for Prioritization of Offshore Wind Farm Site by Utilizing Picture Fuzzy Combined Compromise Solution Group Decision Method.** Entropy, v. 25, n. 7, p. 1081, 2023.

SANTOS, M. dos., Floquet, S. **"CocosoR in R"** (v.1). Available at: <<https://sergiofloquet.shinyapps.io/cocoso/>>

TSAI, Jung-Fa et al. **Analysis of key factors for supplier selection in taiwan's thin-film transistor liquid-crystal displays industry.** Mathematics, v. 9, n. 4, p. 396, 2021.

ULUTAŞ, Alptekin et al. **Selection of insulation materials with PSI-CRITIC based CoCoSo method.** Revista de la Construcción, v. 20, n. 2, p. 382-392, 2021.

YAZDANI, Morteza et al. **A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems.** Management Decision, v. 57, n. 9, p. 2501-2519, 2019.

XII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

“A contribuição da Engenharia de Produção para alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU”

Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil – 22 a 24 de maio de 2024.

YAZDANI, Morteza et al. **A grey combined compromise solution (CoCoSo-G) method for supplier selection in construction management.** Journal of Civil Engineering and Management, v. 25, n. 8, p. 858-874, 2019.