



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:**
Limitações e possibilidades



ANÁLISE DE EFICIÊNCIA E SEGURANÇA: AHP APLICADO NA SOLDAGEM DE ROLETES DE MOENDA NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

LUIZ PAULO QUEVEDO - lp.quevedo@unesp.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB

MARCOS EDUARDO BRAZ - marcos.braz@unesp.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB

LUCAS HENRIQUE DA SILVA - lucas.henrique12@unesp.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB

ANDERSON YUKISHIGUE ONOHARA - andersononohara@yahoo.com.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB

REGIANE MÁXIMO SIQUEIRA - regiane.maximo@unesp.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB

ÁREA: 10. EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

SUBÁREA: 10.1 ENGENHARIA ECONÔMICA; QUALIDADE; PROCESSOS DE
NEGÓCIOS

RESUMO: NESTE ESTUDO, APLICA-SE O ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) PARA COMPARAR A SOLDAGEM AUTOMATIZADA E CONVENCIONAL EM ROLOS DE EXTRAÇÃO DE MOENDA NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA. INVESTIGA-SE EFICIÊNCIA, SEGURANÇA, DURABILIDADE, PRODUTIVIDADE, OPERAÇÃO CONTÍNUA E CUSTOS. Os MÉTODOS INCLUEM REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS, COLETA DE DADOS E ANÁLISE AHP. RESULTADOS DEMONSTRAM A SUPERIORIDADE DA SOLDAGEM AUTOMATIZADA: EFICIÊNCIA OPERACIONAL ELEVADA, SEGURANÇA APRIMORADA, MAIOR DURABILIDADE E PRODUTIVIDADE, OPERAÇÃO CONTÍNUA E REDUÇÃO DE CUSTOS. CONCLUI-SE QUE A AUTOMAÇÃO É CRUCIAL PARA OTIMIZAR PROCESSOS INDUSTRIAIS, OFERECENDO GANHOS SUBSTANCIAIS NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA.

PALAVRAS-CHAVES: AHP; ANALYTIC HIERARCHY PROCESS; INDÚSTRIA 4.0;
INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

1. INTRODUÇÃO

O estudo também explora temas como engenharia econômica, qualidade de processo e tecnologias da Indústria 4.0, enfatizando a adoção de tecnologias avançadas, como automação, Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA) para otimizar processos, reduzir custos e aumentar a eficiência. A importância da tomada de decisão multicritério na indústria sucroalcooleira (KUMAR et al., 2023), utilizando o método Analytic Hierarchy Process (AHP) para melhorar os processos de solda e corte. Destaca-se a falta de estudos sobre a eficácia do AHP neste setor, e o texto propõe uma análise que considera aspectos técnicos e de gestão ambiental, social e de governança (ESG), assim discute-se a integração de tecnologias da Indústria 4.0, como automação e Inteligência Artificial, para otimizar a manutenção dos equipamentos e aumentar a eficiência operacional. O estudo sugere uma abordagem sustentável e alinhada com práticas empresariais responsáveis, contribuindo para o avanço acadêmico e incentivando pesquisas futuras em tomada de decisão multicritério na indústria.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A engenharia utiliza conhecimentos científicos e matemáticos para desenvolver estruturas e sistemas. Avaliar a viabilidade econômica é essencial, considerando custos e benefícios ao longo do ciclo de vida do projeto. Ferramentas como VPL, TIR e Payback são usadas para medir a rentabilidade, enquanto análises de sensibilidade e risco avaliam o impacto de variáveis incertas. A viabilidade econômica, considerada desde a concepção até a desativação do projeto, é crucial para a sustentabilidade e o sucesso financeiro dos empreendimentos de engenharia. A gestão da qualidade em manutenção é crucial para a eficiência e sustentabilidade industrial. Ela assegura a disponibilidade de ativos, reduz custos e melhora a segurança. A TQM promove a melhoria contínua e a excelência, apoiada por normas como ISO 55000 e ISO 9001. Indicadores como MTBF e OEE avaliam a manutenção, que deve ser corretiva, preventiva ou preditiva, para otimizar o desempenho dos ativos. A qualidade na manutenção é um diferencial estratégico para a excelência operacional e sustentabilidade a longo prazo.

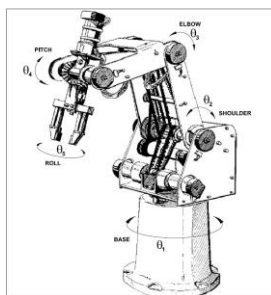
2.1 Tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas na Agricultura.

O tema principal deste estudo é a Indústria 4.0 e a Agricultura 4.0. Em ambos os setores, a Indústria 4.0, com suas tecnologias avançadas como IoT, IA, Big Data e Agricultura de Precisão, está transformando a agricultura em uma agricultura 4.0". Essa revolução visa

aumentar a eficiência, produtividade e qualidade dos produtos agrícolas através da digitalização, automação e otimização dos processos. A IoT permite o monitoramento em tempo real das condições agrícolas, enquanto a IA analisa dados para prever safras e detectar pragas. O Big Data fornece insights valiosos para decisões estratégicas e a Agricultura de Precisão utiliza tecnologias como GPS e drones para operações localizadas e eficientes (ABBASI et al., 2022). No entanto, desafios como infraestrutura, acesso a tecnologias e segurança de dados precisam ser superados para uma adoção bem-sucedida. A Agricultura 4.0 promete modernizar o setor agrícola, promovendo sustentabilidade, eficiência e segurança alimentar global (SCHLOSSER et al., 2020).

O estudo destaca a importância da ciência, tecnologia e inovação na Indústria 4.0 e Agricultura 4.0, onde automação e inteligência artificial são fundamentais. Analisa-se a soldagem robótica, que utiliza robôs com peças articuladas e sensores, programados pelo método "Teaching" para realizar tarefas precisas, exemplificando a evolução tecnológica nos processos produtivos (CORREIA, 2017)

Figura 1 - Demonstra o robô utilizado nas soldas das moedas.



Fonte: ResearchGate.

Um investimento deve considerar aspectos como produtividade, qualidade, tempo, segurança e recursos financeiros. A implementação de máquinas nos sistemas produtivos demonstra elevada eficiência, contudo, demanda um alto investimento inicial e mão de obra qualificada. Existem três tipos de manutenção: corretiva, preventiva e preditiva. A manutenção corretiva é realizada após a ocorrência de uma falha; a preventiva visa evitar falhas através de monitoramento periódico; e a preditiva envolve o monitoramento contínuo por meio de sensores. A escolha do tipo de manutenção deve levar em conta fatores como qualidade e recursos financeiros disponíveis. A manutenção corretiva é aplicada em equipamentos menos onerosos e com recursos financeiros limitados, enquanto a manutenção preventiva é destinada a equipamentos de maior valor, com foco na qualidade. A manutenção preditiva, indicada para equipamentos valiosos, também requer investimento inicial elevado e mão de obra qualificada. A discussão inclui a utilização da inteligência artificial e da

biotecnologia, ambas com potencial para melhorar a produção e a qualidade, mas também gerando debates sobre riscos, como o domínio das máquinas e o surgimento de novas doenças. A manutenção preventiva e a preditiva são mais prevalentes devido à preocupação com a perda de equipamentos e a qualidade do processo. A manutenção preditiva, que utiliza sensores eletrônicos, pode aumentar os custos de manutenção se não for implementada de maneira direcionada. A escolha do tipo de manutenção depende do processo de produção e dos objetivos específicos, como alta produção e qualidade. Um estudo detalhado é recomendado para orientar a melhor escolha de manutenção.

A soldagem robótica, apesar do alto custo inicial, é mais eficiente e segura, contribuindo para a durabilidade dos equipamentos. A manutenção industrial evoluiu para integrar abordagens corretiva, preventiva e preditiva, focando em custos e produtividade. O crescimento da Indústria 4.0 e Agricultura 4.0, impulsionado pela eletrônica e análise de dados, exige investimentos e qualificação profissional. No Brasil, a agricultura é vital para a economia, e o governo incentiva a renovação da força de trabalho rural e práticas sustentáveis, em resposta aos desafios ambientais e ao aquecimento global.

2.2 Pesquisas Atuais Relacionadas com o Tema

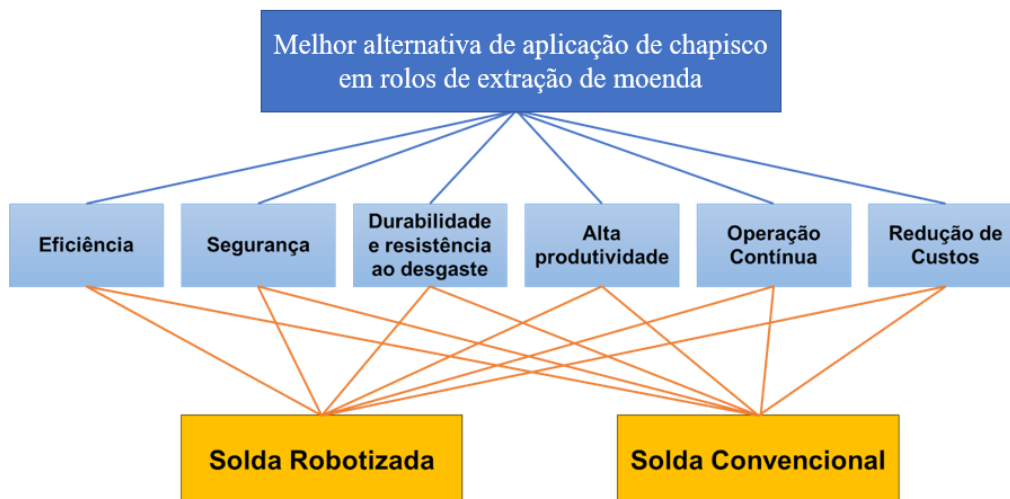
Para pesquisar a literatura relacionada ao tema foi realizada uma busca em duas plataformas de banco de dados de artigos científicos, sendo elas, a Web of Science (WoS) e Scopus. Para a busca foram considerados os seguintes conjuntos de palavras e conectivos: AHP or Analytic Hierarchy Process and Economic Engineering or Quality or Process or Industry 4.0 and Corrective Maintenance or Preventive Maintenance or Maintenance Management. Assim, no período entre 2022 a 2024, foram encontrados um total de 21 artigos distintos. Em seguida, apresentamos cada um deles, destacando as principais ideias, objetivos e metodologias aplicadas. No AL ZAROONI et al. (2023) apresentam um método baseado em GIS para identificar locais vulneráveis a vazamentos em redes de distribuição de água, utilizando fatores físicos e operacionais para criar mapas de vulnerabilidade. E em AYALEW et al. (2022) apresentam um modelo que integra Fuzzy AHP e Fuzzy TOPSIS para selecionar a melhor estratégia de manutenção para a Autoridade de Estradas da Etiópia. Temos em AI et al. (2022) propõem um método de avaliação para sobreposições asfálticas usando AHP e TOPSIS, identificando que misturas de AC e SBS têm o melhor desempenho. MAJSTOROVIĆ et al. (2022) desenvolvem um modelo de gestão de manutenção integrando AHP e TOPSIS para planejar e monitorar a manutenção de estradas não urbanas. Em FOROOZESH et al. (2022) propõem um modelo de decisão fuzzy para selecionar políticas de

manutenção considerando fatores de resiliência e critérios convencionais. E em KHERADRANJBAR et al. (2022) utilizam a abordagem DEMATEL para avaliar edifícios em termos de reparo e manutenção, identificando fatores críticos que afetam a longevidade e custo dos edifícios. Em MATHEW et al. (2020) utilizam um método multicritério fuzzy tipo-2 para selecionar a melhor estratégia de manutenção, comparando com métodos convencionais e fuzzy tipo-1. CHANG et al. (2022) combinam DSM e AHP para analisar e gerenciar riscos em corredores de dutos, identificando fatores que influenciam a operação e manutenção. Em GÜNER et al. (2021) propõem um método para criar planos opcionais de manutenção preventiva, utilizando análise de confiabilidade e decisão multicritério. GHOLAMI et al. (2022) utilizam AHP fuzzy para determinar a melhor estratégia de manutenção para elevadores, destacando a segurança e confiabilidade, relevantes para nossa metodologia e ABDUL JAWWAD et al. (2022) aplicam AHP para selecionar a melhor estratégia de manutenção em uma planta de fertilizantes, integrando critérios de custo, recursos, gestão e segurança. Utilizamos para a fundamentação teórica com GANDHARE et al. (2022) apresentam um framework de múltiplos critérios para avaliar o desempenho de manutenção em indústrias agro base, facilitando comparações internas e externas e PENG et al. (2022) propõem um modelo de avaliação e um framework para otimização de estratégias de manutenção de pontes, considerando critérios de sustentabilidade e aplicando FAHP e LINMAP. Em SALEM et al. (2023) desenvolvem um modelo ACA para prever e avaliar a condição de ativos em instalações de saúde, integrando AHP e técnicas de regressão. AVAKH DARESTANI et al. (2022) integram BWM e TOPSIS para priorizar estratégias de manutenção, utilizando programação de metas para otimizar a seleção. Em DE SOUSA OLIVEIRA SILVA et al. (2022) aplicam AHP para classificar unidades geradoras hidrelétricas, auxiliando no planejamento de manutenção preventiva. DE OLIVEIRA et al. (2023) utilizam AHP para definir intervalos de manutenção preventiva para máquinas em uma empresa siderúrgica, identificando uma periodicidade quinzenal como ideal. Os mais recentes estudos aplicados por GEDIKLI et al. (2023) aplicam PF-AHP e PF-TOPSIS para determinar a melhor política de manutenção para uma empresa de alimentos na Turquia, com a manutenção centrada na confiabilidade emergindo como a mais apropriada e por fim em ZHU et al. (2022) propõem um método baseado em DEMATEL para avaliar riscos de operação e manutenção de redes de comunicação de energia, melhorando a precisão e taxa de alerta precoce.

3. METODOLOGIA

AHP - Figura 2 está ilustrando o problema submetendo-se ao processo de multicritérios:

Figura 1 - Demonstração das ligações possíveis entre os critérios e as alternativas.



Fonte: Autores, 2024.

O Processo Analítico Hierárquico (AHP), desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970, é um método estruturado de decisão que auxilia na análise de problemas complexos com múltiplos critérios. O AHP é um método robusto e flexível que fornece um quadro sistemático para lidar com decisões complexas e multicritério, onde a possibilidade de aplicação prática abrange diversos setores, demonstrando sua versatilidade e utilidade em auxiliar na tomada de decisões mais informadas e justificáveis.

Temos a tabela 1 da Escala fundamental de Saaty:

Escala	Avaliação	Recíproco	Comentário
Igual importância	1	1	Os dois critérios contribuem igualmente para os objetivos
Importância moderada	3	1/3	A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre outro
Mais importante	5	1/5	A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente em relação a outro
Muito importante	7	1/7	Um critério é fortemente favorecido em relação a outro e pode ser demonstrado na prática
Importância extrema	9	1/9	Um critério é favorecido em relação a outro com o mais alto grau de certeza
Valores intermediários	2, 4, 6 e 8		Quando se procura condições de compromisso (<i>compromise</i>) entre duas definições. É necessário acordo.

Fonte: Saaty, 1990.

A análise do problema para a tomada de decisão, referente a escolhas do especialista ilustrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Escala de relevância

Decisão em grupo									
	1								
Robotizada	9	7	5	3	Eficiência	3	5	7	9
Robotizada	9	7	5	3	Segurança	3	5	7	9
Robotizada	9	7	5	3	Durabilidade e Resistência	3	5	7	9
Robotizada	9	7	5	3	Alta produtividade	3	5	7	9
Robotizada	9	7	5	3	Operação contínua	3	5	7	9
Robotizada	9	7	5	3	Redução de Custos	3	5	7	9

Fonte: Autores, 2024.

Foi gerada a matriz comparativa, conforme ilustrado na Figura 2 abaixo.

Figura 3 - Matriz de

Matriz comparação		C1	C2	C3	C4	C5	C6
		Eficiência	Segurança	Durabilidade e Resistência	Alta produtividade	Operação contínua	Redução de Custo
A1	Solda Robotizada	9	7	3	7	5	3
A2	Solda Convencional	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$

comparação

Fonte: Autores, 2024.

Para a alternativa A_1 com valores (C1=9, C2=7, C3=3, C4=7, C5=5, C6=3) e alternativa A_2 com valores menores:

$$A = \begin{pmatrix} 9 & 7 & 3 & 7 & 5 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Matriz Comparativa

Somando as colunas:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 \\ 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 3.7778 \\ 4.8572 \\ 10.9333 \\ 4.8572 \\ 6.8 \\ 10.9333 \end{pmatrix}$$

Dividindo cada elemento pela soma da coluna:

Vetor de Prioridade Final

$$A_{\text{normalizada}} = \begin{pmatrix} 0.2648 & 0.2648 & 0.2743 & 0.2648 & 0.2648 & 0.2743 \\ 0.2058 & 0.2058 & 0.2134 & 0.2058 & 0.2058 & 0.2134 \\ 0.0882 & 0.0882 & 0.0915 & 0.0882 & 0.0882 & 0.0915 \\ 0.2058 & 0.2058 & 0.2134 & 0.2058 & 0.2058 & 0.2134 \\ 0.1467 & 0.1467 & 0.1525 & 0.1467 & 0.1467 & 0.1525 \\ 0.0882 & 0.0882 & 0.0915 & 0.0882 & 0.0882 & 0.0915 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.26796 \\ 0.2083 \\ 0.0894 \\ 0.2083 \\ 0.1487 \\ 0.0894 \end{pmatrix}$$

Avaliação da aceitabilidade da matriz AHP de acordo com o método de consistência proposto por Saaty (1990).

Calcular o Autovalor Máximo (λ_{max})

Matriz Comparativa

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 \\ 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times w = \begin{pmatrix} 0.26796 \\ 0.2083 \\ 0.0894 \\ 0.2083 \\ 0.1487 \\ 0.0894 \end{pmatrix}$$

Multiplcamos a matriz pelos pesos:

$$\begin{pmatrix} 1 \times 0.26796 + 9 \times 0.2083 + 9 \times 0.0894 + 9 \times 0.2083 + 9 \times 0.1487 + 9 \times 0.0894 \\ 7 \times 0.26796 + 1 \times 0.2083 + 1 \times 0.0894 + 1 \times 0.2083 + 1 \times 0.1487 + 1 \times 0.0894 \\ 7 \times 0.26796 + 1 \times 0.2083 + 1 \times 0.0894 + 1 \times 0.2083 + 1 \times 0.1487 + 1 \times 0.0894 \\ 7 \times 0.26796 + 1 \times 0.2083 + 1 \times 0.0894 + 1 \times 0.2083 + 1 \times 0.1487 + 1 \times 0.0894 \\ 7 \times 0.26796 + 1 \times 0.2083 + 1 \times 0.0894 + 1 \times 0.2083 + 1 \times 0.1487 + 1 \times 0.0894 \\ 7 \times 0.26796 + 1 \times 0.2083 + 1 \times 0.0894 + 1 \times 0.2083 + 1 \times 0.1487 + 1 \times 0.0894 \end{pmatrix} = A \cdot w \approx \begin{pmatrix} 1.6394 \\ 1.2358 \\ 0.5902 \\ 1.2358 \\ 0.8807 \\ 0.5902 \end{pmatrix}$$

Dividimos cada elemento pelo peso correspondente e calculamos a média:

$$\begin{aligned} \frac{1.6394}{0.26796} &\approx 6.1201 \\ \frac{1.2358}{0.2083} &\approx 5.9358 \\ \frac{0.5902}{0.0894} &\approx 6.6025 \\ \frac{1.2358}{0.2083} &\approx 5.9358 \\ \frac{0.8807}{0.1487} &\approx 5.9212 \\ \frac{0.5902}{0.0894} &\approx 6.6025 \end{aligned}$$

Autovalor Máximo (λ_{max})

$$\lambda_{max} = \frac{6.1201 + 5.9358 + 6.6025 + 5.9358 + 5.9212 + 6.6025}{6} \approx 6.1863$$

Índice de Consistência (IC)

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{6.1863 - 6}{6 - 1} = \frac{0.1863}{5} = 0.0373$$

Taxa de Consistência (RC)

O Índice de Consistência Aleatória (RI) para $n = 6$ é 1.24.

$$RC = \frac{IC}{RI} = \frac{0.0373}{1.24} \approx 0.0301$$

A taxa de consistência (RC) é aproximadamente 0.0301, que é menor que 0.1 (10%), indicando que a matriz de comparação é consistentemente aceitável.

Pesos dos Critérios

$$w = \begin{pmatrix} 0.1664 \\ 0.0578 \\ 0.2554 \\ 0.1013 \\ 0.0332 \\ 0.3860 \end{pmatrix}$$

Comparação dos Critérios com as Alternativas

Para a alternativa A_1 :

$$A_1 = \begin{pmatrix} 9 \\ 7 \\ 3 \\ 7 \\ 5 \\ 3 \end{pmatrix}$$

Para a alternativa A_2 (já que A_1 tem vantagem em todos os critérios, vamos considerar valores menores para A_2):

$$A_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Critério 1 (C1)

$$w_{C1} = \left(\frac{\frac{9}{9+1}}{\frac{1}{9+1}} \right) = \begin{pmatrix} 0.9 \\ 0.1 \end{pmatrix}$$

Critério 2 (C2)

$$w_{C2} = \left(\frac{\frac{7}{7+1}}{\frac{1}{7+1}} \right) = \begin{pmatrix} 0.875 \\ 0.125 \end{pmatrix}$$

Critério 3 (C3)

$$w_{C3} = \left(\frac{\frac{3}{3+1}}{\frac{1}{3+1}} \right) = \begin{pmatrix} 0.75 \\ 0.25 \end{pmatrix}$$

Critério 4 (C4)

$$w_{C4} = \left(\frac{\frac{7}{7+1}}{\frac{1}{7+1}} \right) = \begin{pmatrix} 0.875 \\ 0.125 \end{pmatrix}$$

Critério 5 (C5)

$$w_{C5} = \left(\frac{\frac{5}{5+1}}{\frac{1}{5+1}} \right) = \begin{pmatrix} 0.8333 \\ 0.1667 \end{pmatrix}$$

Critério 6 (C6)

$$w_{C6} = \left(\frac{\frac{3}{3+1}}{\frac{1}{3+1}} \right) = \begin{pmatrix} 0.75 \\ 0.25 \end{pmatrix}$$

Cálculo da Valoração Global

Alternativa 1 (A1)

$$\begin{aligned} \text{Valoração Global } A_1 &= 0.1664 \times 0.9 + 0.0578 \times 0.875 + 0.2554 \times 0.75 + 0.1013 \times 0.875 \\ &= 0.14976 + 0.050575 + 0.19155 + 0.0886375 + 0.02767456 + 0.2895 = 0.7977 \end{aligned}$$

Alternativa 2 (A2)

$$\begin{aligned} \text{Valoração Global } A_2 &= 0.1664 \times 0.1 + 0.0578 \times 0.125 + 0.2554 \times 0.25 + 0.1013 \times 0.1 \\ &= 0.01664 + 0.007225 + 0.06385 + 0.0126625 + 0.00553334 + 0.0965 = 0.2024 \end{aligned}$$

Portanto, o resultado do cálculo da Valoração Global das alternativas é:

$$\begin{pmatrix} A1 & 0.7977 \\ A2 & 0.2024 \end{pmatrix}$$

Sendo a alternativa A1 (Solda Robótica) a de maior valoração global, afirmando ser a preferida com base nos critérios e pesos fornecidos em relação a alternativa A2 (Solda Convencional).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste estudo, aplicamos a ferramenta Analytic Hierarchy Process (AHP) para comparar os processos de solda automatizado e convencional em rolos de extração de moenda, utilizando critérios específicos de eficiência, segurança, durabilidade e resistência ao desgaste, alta produtividade, operação contínua e redução de custos. O objetivo principal é identificar a melhor alternativa para a aplicação de chapisco, considerando esses critérios. Para resolver os problemas específicos deste caso, analisamos os seguintes critérios: eficiência, segurança, durabilidade e resistência ao desgaste, alta produtividade, operação contínua e redução de custos. Com base nas solicitações específicas e em dados gerais sobre o uso do robô, foi possível aplicar o AHP. Objetivo: Identificar a melhor alternativa de aplicação de chapisco em rolos de extração de moenda.

Tabela 3 - Avaliação dos critérios considerados para o modelo AHP:

Eficiência	Segurança	Durabilidade e resistência ao desgaste	Alta produtividade	Operação Contínua	Redução de Custos
Melhoria na taxa de deposição e continuidade do processo.	Redução de riscos para os colaboradores.	Influência na longevidade e resistência dos rolos.	Rapidez na aplicação e liberação do revestimento.	Capacidade de operar 24 horas sem perda de desempenho.	Diminuição do volume de solda por tonelada de cana e economia geral.
Solda Robotizada			Solda Convencional		
Aplicação automatizada de chapisco com robô			Aplicação manual de chapisco		

Fonte: Autores, 2024.

O estudo compara a eficácia da soldagem automatizada por robôs em relação ao método manual na indústria sucroalcooleira. A automação mostrou-se superior em vários critérios: a precisão do robô aumenta a eficiência e a qualidade da aplicação, enquanto a operação contínua de 24 horas melhora a produtividade em 80% e reduz os custos operacionais. A segurança dos trabalhadores é significativamente melhorada, minimizando os riscos de acidentes. A durabilidade e resistência ao desgaste dos equipamentos também são

aprimoradas, resultando em uma vida útil mais longa e menos manutenção. A automação está alinhada com os princípios de ESG, promovendo práticas sustentáveis e seguras. A implementação de robôs requer ajustes precisos e monitoramento constante para manter a qualidade e eficiência. Embora o investimento inicial em tecnologia robotizada seja alto, os benefícios a longo prazo justificam o custo, especialmente considerando a redução de desperdícios e o aumento do rendimento na extração do caldo. O estudo sugere que a aplicação de chapisco com robôs é uma estratégia promissora para a indústria sucroalcooleira, visando a maximização dos lucros e a sustentabilidade do setor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo aplica o método Analytic Hierarchy Process (AHP) para comparar a soldagem automatizada e a convencional na indústria sucroalcooleira, com foco na aplicação de chapisco em rolos de extração de moenda. O objetivo é identificar a melhor alternativa considerando eficiência, segurança, durabilidade, resistência ao desgaste, alta produtividade, operação contínua e redução de custos. A pesquisa justifica-se pela necessidade de melhorar a eficiência operacional e reduzir custos através da automação. Uma revisão bibliográfica embasa o uso do AHP em decisões multicritério, seguida pela definição de critérios e subcritérios para comparar os métodos de soldagem. Especialistas da área contribuíram com julgamentos para ponderar os critérios, e dados foram coletados por observações e entrevistas com operadores e técnicos. A análise pelo AHP revelou a superioridade da soldagem automatizada, que se destaca em termos de eficiência operacional, segurança, durabilidade dos equipamentos, produtividade e redução de custos. Os resultados indicam que a automação na aplicação de chapisco pode trazer ganhos significativos para a indústria. O estudo também sugere futuras pesquisas sobre a implementação de tecnologias complementares, como sensores para monitoramento da qualidade da solda, e a expansão do uso de robôs em outros processos industriais, considerando a manutenção preditiva para maximizar a eficiência e prolongar a vida útil dos equipamentos. A avaliação do impacto ambiental da automação é outro aspecto relevante, visando alinhar a produção com princípios de sustentabilidade e responsabilidade corporativa. Assim, o estudo contribui para a otimização dos processos industriais e abre perspectivas para a melhoria contínua e competitividade no mercado global.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, Rabiya; MARTINEZ, Pablo; AHMAD, Rafiq. The digitization of agricultural industry—a systematic literature review on agriculture 4.0. **Smart Agricultural Technology**, v. 2, p. 100042, 2022.
- ABDUL JAWWAD, Abdul Kareem; ABUNAFFA, Ibrahim. Applying analytical hierarchy process (AHP) in selecting best maintenance strategies for newly established chemical fertilizers plants. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 28, n. 3, p. 545-566, 2022.
- AI, Qing et al. Comprehensive evaluation of very thin asphalt overlays with different aggregate gradations and asphalt materials based on AHP and TOPSIS. **Buildings**, v. 12, n. 8, p. 1149, 2022.
- ALZAROONI, Eisa et al. GIS-based identification of locations in water distribution networks vulnerable to leakage. **Applied Sciences**, v. 13, n. 8, p. 4692, 2023.
- ARAÚJO, Sara Oleiro et al. Characterising the agriculture 4.0 landscape—emerging trends, challenges and opportunities. **Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 667, 2021.
- AVAKH DARESTANI, Soroush; PALIZBAN, Tahereh; IMANNEZHAD, Rana. Maintenance strategy selection: a combined goal programming approach and BWM-TOPSIS for paper production industry. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 28, n. 1, p. 14-36, 2022.
- AYALEW, Girmay Getawa; MEHARIE, Meseret Getnet; WORKU, Betelhem. A road maintenance management strategy evaluation and selection model by integrating Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods: The case of Ethiopian Roads Authority. **Cogent Engineering**, v. 9, n. 1, p. 2146628, 2022.
- CHANG, Dan et al. System dynamics analysis of integrated pipeline fixed based on risk loops. **Tehnički vjesnik**, v. 29, n. 1, p. 259-268, 2022.

CAVALCANTE, Alessandro Ranauro; MATIAS, Nelson Tavares. A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE EM EMPRESAS: bibliographical review.

MAMEDE, Ana Luíza Ferreira; DE RESENDE, André Alves. Análise da terceirização da manutenção sob a ótica dos custos e impactos econômicos: revisão bibliográfica. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 7, n. 2, p. 155-168, 2021.

CORREIA, Anderson. Robôs Na Soldagem: processo e aplicações. Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia De Santa Catarina, p.9, 2017.

DE OLIVEIRA, Fernando Santos et al. FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO PARA IMPLEMENTAÇÃO EFETIVA DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL NO SETOR DE MANUFATURA: UMA REVISÃO DA LITERATURA. **Tekhne e Logos**, v. 15, n. 1, p. 72-86, 2024.

DE OLIVEIRA, Ualison Rébula et al. Straightening machine preventive maintenance intervention plan based on AHP: a case study in a steel company in Brazil. **Operations Management Research**, v. 16, n. 3, p. 1577-1593, 2023.

DA SILVEIRA, Franco; LERMEN, Fernando Henrique; AMARAL, Fernando Gonçalves. An overview of agriculture 4.0 development: Systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages. **Computers and electronics in agriculture**, v. 189, p. 106405, 2021.

DE SOUSA OLIVEIRA SILVA, Patrícia et al. performance evaluation of hydro generating units through the AHP method. **Journal of Control, Automation and Electrical Systems**, v. 33, n. 3, p. 1056-1065, 2022.

DOS SANTOS COSTA, Juliana; DE ANDRADE JUNIOR, Luiz Mauricio Lopes. Eficiência energética aplicada ao consumo de eletricidade: Um estudo de revisão bibliográfica. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e26210414085-e26210414085, 2021.

FORMAN, E. H.; GASS, S. I. **The Analytic Hierarchy Process—An Exposition.**

Operations Research, v. 49, n. 4, p. 469-486, 2001.

FOROOZESH, N. et al. Maintenance policy selection considering resilience engineering by a new interval-valued fuzzy decision model under uncertain conditions. **Scientia Iranica**, v. 29, n. 2, p. 783-799, 2022.

GANDHARE, Balasaheb Shahaji; AKARTE, Milind M. Benchmarking maintenance performance in select agro-based industry. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 28, n. 2, p. 296-326, 2022.

GEDIKLI, Tolga; ERVURAL, Beyzanur Cayir. Evaluation of maintenance policies using a two-stage pythagorean-based group decision-making approach. **International Journal of Fuzzy Systems**, v. 25, n. 5, p. 1795-1817, 2023.

GHOLAMI, Javad; RAZAVI, Ahmad; GHAFFARPOUR, Reza. Decision-making regarding the best maintenance strategy for electrical equipment of buildings based on fuzzy analytic hierarchy process; case study: elevator. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 28, n. 3, p. 653-668, 2022.

GÜNER, Gürkan Güven; SAKAR, Ceren Tuncer; YET, Barbaros. A multicriteria method to form optional preventive maintenance plans: a case study of a large Fleet of Vehicles. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 70, n. 6, p. 2153-2164, 2021.

KHERADRANJBAR, Mohammad; MOHAMMADI, Mirali; RAFIEE, Shahin. Building assessment for repair and maintenance by DEMATEL approach. **Gradevinar**, v. 74, n. 04., p. 291-300, 2022.

KUMAR, Anuj; PANT, Sangeeta. Analytical hierarchy process for sustainable agriculture: An overview. **MethodsX**, v. 10, p. 101954, 2023.

LIU, Ye et al. From industry 4.0 to agriculture 4.0: Current status, enabling technologies, and research challenges. **IEEE transactions on industrial informatics**, v. 17, n. 6, p. 4322-4334, 2020.

MAJSTOROVIĆ, Ana; JAJAC, Nikša. Maintenance Management Model for Nonurban Road Network. **Infrastructures**, v. 7, n. 6, p. 80, 2022.

MATHEW, Manoj; CHAKRABORTTY, Ripon K.; RYAN, Michael J. Selection of an optimal maintenance strategy under uncertain conditions: An interval type-2 fuzzy AHP-

PENG, Jianxin et al. Optimisation of maintenance strategy of deteriorating bridges considering sustainability criteria. **Structure and Infrastructure Engineering**, v. 18, n. 3, p. 395-411, 2022.

PEREIRA, MATHEUS COSTA et al. PROJETO PARA IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA: Review com estudo de caso simulado. **Revista Científica e-Locução**, v. 1, n. 20, p. 27-27, 2021.

RYMARCZYK, Jan. Technologies, opportunities and challenges of the industrial revolution 4.0: theoretical considerations. **Entrepreneurial business and economics review**, v. 8, n. 1, p. 185-198, 2020.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SALEM, Dalia; ELWAKIL, Emad. Asset condition assessment model for healthcare facilities. **International Journal of Construction Management**, v. 23, n. 1, p. 182-203, 2023.

SEOANE, DANIEL DO NASCIMENTO. GESTÃO DE QUALIDADE EM SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO DE AR CONDICIONADO AUTOMOTIVO: **Revisão Bibliográfica das melhores práticas**. 2023.

SCHLOSSER, José Fernando et al. Agricultural tractor engines from the perspective of Agriculture 4.0. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. spe, p. e20207716, 2020.

TOPSIS method. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 69, n. 4, p. 1121-1134, 2020.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. **Analytic hierarchy process: An overview of applications**. *European Journal of Operational Research*, v. 169, n. 1, p. 1-29, 2006.

WOHLFAHRT, Augusto Bicca. *Manutenção preventiva de tratores agrícolas: uma revisão bibliográfica*. 2022.

YADAV, Vinay Surendra et al. Exploring the application of Industry 4.0 technologies in the agricultural food supply chain: A systematic literature review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 169, p. 108304, 2022.

ZHU, Youxiang et al. Research on operation and maintenance management risk assessment of power communication network based on DEMATEL. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 40, n. 3, p. 325-342, 2022.