



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2025) v. 12, n. 4, p. 23–39
<https://doi.org/10.21712/lajer.2025.v12.n4.p23-39>

Definição do nível de automação ideal para um posto de trabalho em linhas de produção: Estudo de caso utilizando o método PROMÉTHÉE II

Defining the ideal automation level for a workstation on production lines: Case study using the PROMÉTHÉE II method

Gladstone Frederico de Pinho^{1,*}, Dalton Garcia Borges de Souza²

¹ Aluno do Programa de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas Computacionais, Universidade Federal Fluminense – UFF, campus Rio das Ostras, RJ, Brasil

² Professor do Programa de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas Computacionais, Universidade Federal Fluminense – UFF, campus Rio das Ostras, RJ, Brasil

*Autor para correspondência, E-mail: gfpinhal@id.uff.br

Received: 30 September 2025 | Accepted: 19 December 2025 | Published online: 24 December 2025

Resumo: O objetivo deste artigo é mapear o nível de automação atual de um posto de trabalho considerado como o gargalo de uma linha de produção em uma empresa que fornece produtos e serviços para o setor de Óleo e Gás e indicar o nível mais adequado a ser implementado neste posto. Por meio da metodologia de Estudo de Caso foi possível levantar dados de produção, entender os processos produtivos e suas deficiências, através de entrevistas, questionários, pesquisa documental e observação direta. Foi utilizado o método DYNAMO para medição do nível de automação atual e, do método multicritério de apoio à decisão PROMÉTHÉE II, para fornecer um ranking de níveis de automação possíveis e apontar a escolha do nível mais adequado, considerando critérios técnicos e estratégicos da empresa. Os resultados apresentados permitiram avaliar a eficácia do método utilizado, fornecendo não somente apenas um possível nível de automação ideal, mas até dois possíveis níveis satisfatórios. A pesquisa contribui metodologicamente para o planejamento e otimização de linhas de produção em setores industriais que exigem maior robustez e adaptabilidade.

Palavras-chave: métodos multicritério, níveis de automação, manufatura, óleo e gás.

Abstract: The objective of this article is to map the current level of automation of a workstation considered a bottleneck in a production line at a company that supplies products and services to the Oil and Gas sector and to identify the most appropriate level to implement. Using a case study methodology, production data was collected and production processes and their deficiencies were understood through interviews, questionnaires, documentary research, and direct observation. The DYNAMO method was used to measure the current level of automation, and the PROMÉTHÉE II multicriteria decision-making method was used to rank possible automation levels and select the most appropriate level, considering the company's technical and strategic criteria. The results allowed us to evaluate the effectiveness of the method, providing not only a possible ideal level of automation but also two possible satisfactory levels. This research contributes methodologically to the planning and optimization of production lines in industrial sectors that require greater robustness and adaptability.

Keywords: multicriteria methods, automation levels, manufacturing, gas oil.

1 Introdução

No contexto da crescente influência da globalização no ambiente empresarial, observa-se uma intensificação da pressão competitiva devido às flutuações de mercado e ao crescente apelo por produtos customizados. Esta realidade requer das empresas uma adaptação às variadas demandas do mercado e aos ciclos de vida cada vez mais curtos, resultando na necessidade de ampliar a oferta de produtos. A automação, nesse contexto, destaca-se como um recurso essencial para a modernização das linhas de produção, permitindo o aumento da produtividade, a redução de erros operacionais e a melhoria das

condições de trabalho. No entanto, definir o adequado nível de automação envolve uma série de variáveis técnicas, econômicas e humanas, tornando o processo de decisão complexo e fundamental.

A automação industrial pode ser marcante com o uso de tecnologias, sistemas de controle e equipamentos eletrônicos e mecânicos para controlar processos industriais com mínima intervenção humana, visando aumentar a eficiência, produtividade, segurança e qualidade da produção. Segundo Moura et al. (2022), automação é a aplicação integrada de sensores, atuadores, controladores e softwares com o desígnio de otimizar o desempenho de sistemas produtivos, reduzindo falhas humanas e promovendo decisões baseadas em dados em tempo real.

Para aprimorar a qualidade e assegurar o funcionamento eficaz, a automação é um elemento fundamental em um sistema de manufatura, baseado nos princípios da indústria 4.0. O objetivo é tornar o ciclo de trabalho de uma máquina automático, dispensando a necessidade de intervenção humana direta. Essa abordagem aceita que os operadores realizem tarefas que agreguem valor, em vez de monitorar continuamente o funcionamento das máquinas (Moura et al., 2022).

Além do aspecto técnico, a automação também assume um papel estratégico na gestão organizacional, contribuindo para o crescimento da capacidade produtiva, redução de variabilidades operacionais, mitigação de falhas humanas e melhoria nos indicadores de desempenho. Segundo Lima et al. (2023), as empresas que integram automação com processos decisórios baseados em dados são mais resilientes e ágeis diante de pressões de mercado, variações de demanda e exigências regulatórias.

Diante dessa complexidade, métodos de análise de níveis de automação e métodos multicritério de apoio à decisão surgem como ferramentas eficazes para auxiliar gestores e engenheiros na avaliação de diferentes alternativas, considerando múltiplos critérios de forma estruturada. Os sistemas de automação frequentemente exigem significativos investimentos e um prolongado período de depreciação. Isso tem levado as empresas do setor manufatureiro a hesitarem na adoção de sistemas automatizados, temendo o risco de investimentos desperdiçados diante de mudanças imprevisíveis no mercado (Yamazaki et al., 2016). Segundo Klock et al. (2025), a interligação entre a engenharia de produção e as ferramentas de apoio à decisão, representa um avanço significativo na busca por sistemas produtivos mais eficientes, sustentáveis e adaptáveis às constantes transformações do mercado.

Frente ao exposto e coadunando a realidade existente com o objetivo deste artigo de propor, por meio da aplicação do método PROMÉTHÉ II, a definição do nível de automação ideal para um Posto de Trabalho considerado como gargalo de uma linha de produção, buscando a oportunidade de elevar esse nível para atender aos requisitos produtivos da empresa. Essa abordagem metodológica permitirá a construção e validação de uma solução prática a partir de um problema real observado em uma empresa do setor de Óleo e Gás, com foco na melhoria do desempenho operacional e na racionalização de investimentos em tecnologia. Surgindo então a oportunidade de através do estudo de caso na empresa que possui em sua planta, uma linha de produção pouco desenvolvida em termos de níveis de automação, denominada Linha de Reparos *Tubing*.

Para realizar as etapas de produção desta linha, responsável por processar tubos petrolíferos de 3 ½ a 10 ¾ de polegadas, máquinas e ferramentas são utilizadas, dependendo em grande parte da habilidade e conhecimento dos operadores para as manipularem, onde essa demanda por habilidades também é requisitada durante os processos de tomada de decisão para liberação e controle de qualidade dos produtos processados.

2 Referencial teórico

2.1 Níveis de automação

A automação industrial tem se consolidado como um dos principais pilares da modernização dos sistemas produtivos. Dentro desse contexto, os Níveis de Automação (LoA – *Levels of Automation*) surgem como uma ferramenta estratégica para definir o grau de envolvimento entre o ser humano e a tecnologia nos processos de produção. Essa classificação permite identificar até que ponto o controle das atividades pode ser transferido para sistemas automatizados, o que influencia diretamente a eficiência, a segurança e a produtividade das operações industriais. Ao aplicar corretamente os LoA, as organizações conseguem reduzir falhas humanas, otimizar o uso de recursos, diminuir o tempo de ciclo e melhorar a tomada de decisão em tempo real. Além disso, o uso equilibrado da automação contribui para um ambiente de trabalho mais seguro, confiável e sustentável, ao mesmo tempo que aumenta a competitividade da empresa no mercado (Moreira e Augusto, 2022). Os níveis de automação, representam os diferentes graus de responsabilidade entre o ser humano e a máquina em um processo automatizado. Eles descrevem até que

ponto uma tarefa é realizada pelo sistema automatizado e quanto ainda depende da decisão humana. Essa visão é importante para entender como o controle pode ser distribuído entre o operador e a tecnologia, permitindo avaliar quando e como a automação deve agir em cada situação, especialmente em áreas como indústria, transporte, aviação, saúde e defesa (Granlund, 2014). Como nos casos de planejar sistemas seguros e eficientes; decidir qual nível de automação é mais adequado em cada contexto; evitar a sobrecarga ou passividade do operador, conhecida como efeito de complacência e reduzir erros e melhorar a produtividade (Vagia et al., 2016). Ainda segundo o autor, a adoção de níveis adequados de automação permite diminuir erros humanos, aumentar a precisão das tarefas repetitivas e agilizar processos produtivos, o que impacta diretamente na eficiência operacional e nos resultados da empresa. O conceito de níveis de automação utilizado no Estudo de Caso deste artigo, foi definido por Frohm (2008), como:

“A alocação de tarefas físicas e cognitivas entre humanos e tecnologia, descrita como um continuum que varia de totalmente manual a totalmente automático”.

O autor, define tarefas físicas como o nível de automação para atividades mecânicas, LoA Mecânico, enquanto o nível de habilidades para tarefas cognitivas é chamado de LoA de informação ou LoA Cognitivo. Esta escala está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Escala de níveis de automação para tarefas mecânicas e cognitivas. Fonte: Adaptado de Frohm (2008).

Nível	LoA Mecânico/Físico	LoA de Informação/Cognitivo
1	Totalmente manual: trabalho totalmente manual, sem o uso de ferramentas, apenas força muscular.	Totalmente manual: o usuário cria seu próprio entendimento da situação. Por exemplo, tarefa passada de forma verbal.
2	Ferramenta manual estática: trabalho manual com o apoio de uma ferramenta estática. Por exemplo, a chave de fenda.	Tomada de Decisão: o usuário recebe as informações sobre o que fazer. Por exemplo, Ordem de Serviço.
3	Ferramenta manual flexível: trabalho manual com apoio de uma ferramenta manual flexível. Por exemplo, chave inglesa.	Ensinando: o usuário recebe instruções sobre como a tarefa deve ser executada. Por exemplo, Padrão Operacional, Checklists.
4	Ferramenta manual automática: trabalho manual com apoio de uma ferramenta automática. Por exemplo, parafusadeira pneumática.	Questionamento: a tecnologia questiona a execução, caso se desviar do que a tecnologia considera ser adequada. Por exemplo, Sistemas de Intertravamentos, Controle por PLC.
5	Máquina ou estação de trabalho estática: trabalho automático executado por máquina para tarefa específica. Por exemplo, Torno Convencional.	Supervisão: a tecnologia exige a atenção do usuário e o direciona para a tarefa corrente. Por exemplo, Sistemas Supervisórios.
6	Máquina ou estação de trabalho flexível: trabalho automático executado pela máquina que pode ser reconfigurada para diferentes tarefas. Por exemplo, Torno CNC.	Intervenção: a tecnologia assume o controle e corrige a ação, se as execuções se desviarem do que a tecnologia considerar adequado. Por exemplo, Malha Fechada, Controle PID.
7	Totalmente automático: trabalho totalmente automático, a máquina soluciona todos os desvios ou problemas que ocorrem, sozinha. Por exemplo, sistemas autônomos.	Totalmente automático: toda a informação e controle é realizado pela tecnologia. O usuário nunca é envolvido. Por exemplo, sistemas autônomos.

Frohm (2008), propôs uma taxonomia e definição para níveis de automação usados em sistemas de manufatura, essa taxonomia é uma escala de referência de sete etapas, para LoA mecânico e cognitivo, com

o objetivo de quantificar tarefas devido ao LoA. A taxonomia foi então desenvolvida e definida por (Fasth et al., 2009) como:

- Automação física/mecânica é definida como soluções técnicas e ferramentas, ajudando o operador a montar os produtos, por exemplo, ferramentas de montagem (Níveis 1-4) e máquinas de montagem (Níveis 5-7);
- Automação cognitiva é definida como soluções técnicas e informação, ajudando o operador, por exemplo, sobre como montar (Níveis 1-3) e controle de situação (Níveis 4-7).

O modelo conceitual, desenvolvido a partir de Frohm (2008) de tarefas físicas e cognitivas entre recursos (humanos e tecnológicos), descritos como passos discretos de 1 (totalmente manual) a 7 (totalmente automático), formam uma matriz LoA 7 por 7 contendo 49 tipos possíveis de soluções. Segundo Fasth et al. (2009), o valor de LoA medido e os valores mínimo e máximo relevantes para cada tarefa são ilustrados em uma matriz. Isso resulta em um Quadrado de Melhorias Possíveis (SoPI - *Square of Possible Improvements*), com possibilidades de automação física e cognitiva ilustradas na Figura 1.

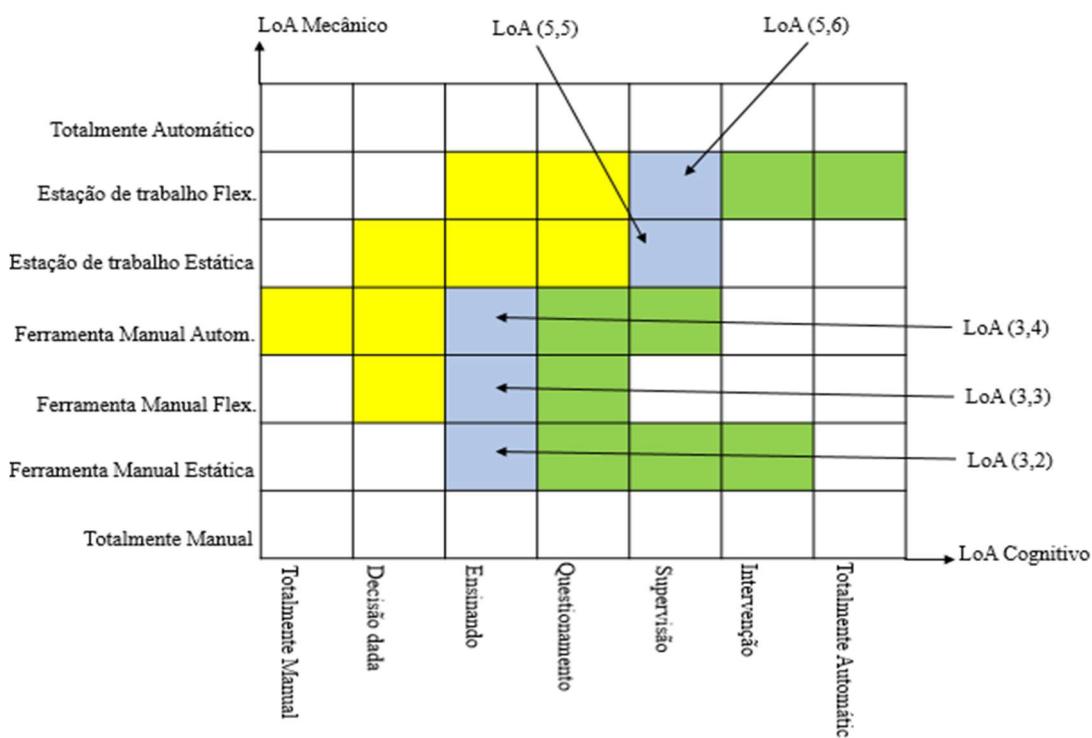


Figura 1. Quadro de Melhorias Possíveis - SoPI. Fonte: Fasth et al. (2009) adotada da taxonomia de Frohm (2008).

A área pintada de “Azul” representa o Nível de Automação Mecânico e Cognitivo atual de uma máquina ou posto de trabalho, já a área pintada de “Amarelo” representa o mínimo relevante e a área “Verde” o máximo relevante. Existem casos em que o mínimo e/ou o máximo relevante serão o próprio nível atual do posto ou máquina, não sendo possível diminuir ou aumentar o nível de LoA. Os principais fatores para que isso aconteça são: limitações físicas da linha de produção, posto de trabalho ou máquina; complexidade do processo produtivo; complexidade para converter uma tarefa humana em tarefa de máquina.

2.2 Análise do nível de automação – método DYNAMO

O projeto DYNAMO (*Dynamic Levels of Automation for Robust Manufacturing System*) foi desenvolvido entre 2004 a 2007 em associação com cinco empresas Suecas com o objetivo de medir os níveis de automação e fluxo de informação em sistemas de manufatura modernos, utilizando uma escala de sete níveis (ver Tabela 1) para automação mecânica e cognitiva (Frohm et al., 2005; Frohm, 2008).

O método possui oito etapas que são usadas para responder a diferentes perguntas, a fim de redesenhar o sistema de forma estruturada e evitar o excesso ou a falta de sistemas automatizados, sendo elas:

1. Planejar com antecedência;
2. Pré estudo no local para identificar o processo;

3. Documentar o fluxo de produção;
4. Identificar a tarefa principal para cada Posto de Trabalho;
5. Identificar as subtarefas para cada Posto de Trabalho;
6. Medir o LoA;
7. Definir máximo e mínimo relevantes;
8. Análise dos resultados.

O foco do desenvolvimento posterior está na análise e esclarece se o LoA dos sistemas atuais é muito alto, muito baixo ou muito estático para atender aos gatilhos de mudança das empresas, por exemplo, demandas internas ou externas. Além de redesenhar esse sistema de forma estruturada com o LoA mais vantajoso.

Segundo Fasth, et al. (2009), a abrangência de diferentes soluções de automação contribui para uma abrangência maior de soluções possíveis para substituição e otimização em tempo real. As tarefas podem ser integradas em um sistema automatizado, semiautomatizado ou manual e podem ser medidas e analisadas ao mesmo tempo. O objetivo da metodologia DYNAMO é medir e obter uma imagem precisa da abrangência de soluções possíveis para que LoA execute as tarefas. Por exemplo, uma operação de aperto de parafuso pode ser feita usando uma chave de boca comum ($LoA\&M = 2$), uma chave de boca regulável ($LoA\&M = 3$) ou por uma máquina ($LoA\&M = 5$).

2.3 Métodos multicritério de apoio à decisão

A tomada de decisão, especialmente em ambientes complexos e incertos, é comum deparar-se com situações que envolvem múltiplos critérios conflitantes entre si. Entretanto, os métodos de apoio à decisão multicritério (MCDM – *Multicriteria Decision Making*) nascem como ferramentas essenciais para auxiliar na escolha, ordenação ou classificação de alternativas de forma mais objetiva e estruturada. Entre os vários métodos existentes, se destaca o PROMÉTHÉE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), desenvolvido por Jean-Pierre Brans no início da década de 1980, como uma interpretação alentada e complexa para avaliar possíveis problemas decisórios (Oliveira et al., 2019).

O método PROMÉTHÉE permite comparar alternativas através de diversos critérios, levando em consideração as preferências do decisor e oferecendo uma análise mais transparente do processo de decisão. Sua finalidade de aplicação é referente a flexibilidade de se adaptar em diversas áreas, de uma organização. Para o estudo de caso deste artigo serão utilizados os métodos PROMÉTHÉE I e II.

Segundo Brans e Vincke (1985), criadores do método, o PROMÉTHÉE I permite estabelecer uma ordenação parcial das alternativas. Ele identifica, com base nas preferências calculadas, quais alternativas são claramente melhores, claramente piores ou incomparáveis, ou seja, não é plausível afirmar qual é melhor entre duas alternativas em certos casos. Já o PROMÉTHÉE II busca produzir uma ordenação completa das alternativas, utilizando o cálculo do índice líquido de preferência. Esse índice é obtido subtraindo o fluxo de preferência negativo do fluxo positivo, permitindo classificar todas as alternativas da melhor para a pior, mesmo que algumas decisões sejam forçadas.

2.4 O processo decisório

Um processo é composto por um conjunto de estágios que visam esclarecer a decisão final como solução favorável e racional (Gomes et al., 2004). Na literatura diversos autores apresentam diferentes estruturas com diferentes números de etapas relativas a um processo decisório. De uma forma mais ampla, Almeida et al. (2015) apresenta o processo decisório nas seguintes etapas: Estruturação do problema; Modelagem do modelo de decisão; Avaliação do problema e sugestão de solução; Revisão do processo decisório; e Implementação da solução. O processo está apresentado na Figura 2.

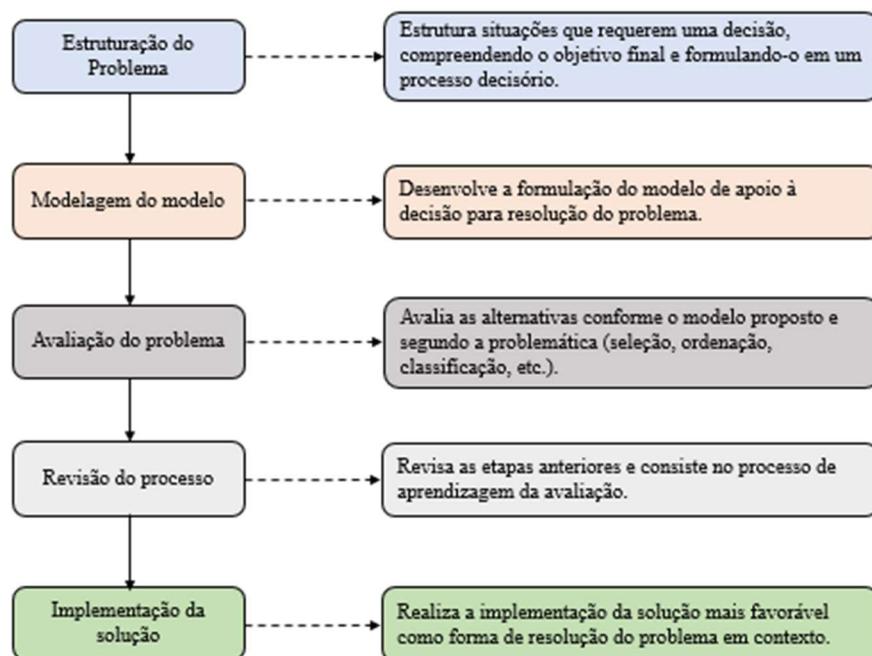


Figura 2. Etapas de um processo decisório. Fonte: Adaptado de Almeida et al. (2015).

2.4.1 Caracterização dos decisores

A etapa de estruturação do problema de um processo decisório começa com a designação do Decisor e dos demais envolvidos (Almeida et al., 2015). Na linha de produção objeto deste estudo o Gerente de Produção irá atuar como o Decisor pois é ele quem definirá se a solução proposta será implantada em sua totalidade, se será considerada de forma parcial ou se será desconsiderada, seja por falta de recursos para sua implantação ou outro motivo que achar pertinente.

Os Especialistas são os responsáveis por fornecer as informações para criação do modelo, visto que são profissionais com amplo conhecimento sobre as características do processo estudado, portanto são peças fundamentais no processo decisório. Para formar a equipe de especialistas, o Gerente de Produção sugeriu que fossem convocadas pessoas de diferentes áreas, para uma maior assertividade das informações fornecidas. Desta forma a equipe foi formada pelo: Engenheiro de Produção, Supervisor de Produção, Engenheiro da Qualidade, Engenheiro de Projetos e Técnico de Segurança do Trabalho.

2.4.2 Identificação dos objetivos

A segunda etapa do processo decisório é o que norteia o restante do trabalho, pois é a partir da definição dos objetivos que toda a aplicação do método se desenrolará (Almeida et al., 2015). Conforme explicitado anteriormente, o objetivo da implementação do método AMD (Análise Multicritério à Decisão) selecionado é obter o nível de automação mais adequado para um posto de trabalho considerado gargalo em uma linha de produção. Logo, conforme Gomes, Araya e Carignano (2004), o problema enfrentado consiste em um Problema de Escolha $\alpha(P\alpha)$. Desta forma, esperasse identificar o nível de automação que melhor atenda aos objetivos da empresa, auxiliando o Gerente de Produção a decidir se as melhorias propostas serão implementadas ou não.

3 Estudo de caso

O estudo de caso apresentado neste artigo tem como objetivo a medição e análise do nível de automação de um posto de trabalho considerado como crítico em uma das linhas de produção da empresa alvo. A empresa será denominada como “alvo”, buscando confidencialidade e respeitando suas políticas de segurança da informação. A empresa alvo conta ao todo com quatro linhas de produção, sendo: Linha de Reparos *Tubing*, Linha de Reparos *Casing*, Inspeção Tubo Curto e Fábrica de Acessórios. O foco deste artigo será a Linha de Reparos *Tubing*. A Linha de Reparos *Tubing* é uma unidade produtiva organizada em um layout contínuo, com interligação física de abastecimento e desabastecimento entre os recursos

através de bancas, removedores e linha de rolos. A Figura 3 apresenta o *layout* da linha de produção denominada Linha de Reparos *Tubing*.

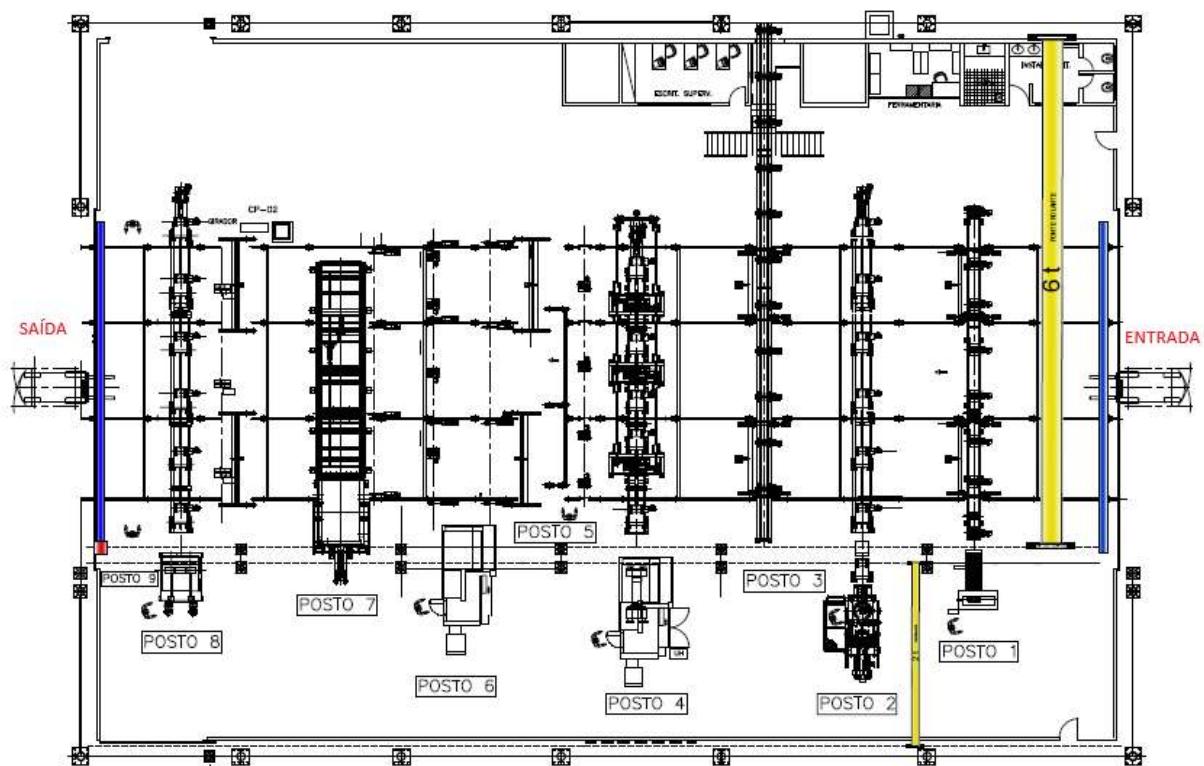


Figura 3. Layout da linha de reparos *tubing*.

Para melhor entendimento do funcionamento da linha, cada parte do processo será denominado como “Posto” e será enumerado na sequência do fluxo produtivo, considerando os seguintes equipamentos dispostos, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Descrição dos postos de trabalho.

Posto	Máquina	Função
1	Serra de Fita	Responsável por cortar a ponta do tubo, eliminando a conexão que foi danificada e/ou recusada no posto de inspeção dimensional.
2	Calibradora	Responsável por fazer uma deformação a frio na extremidade do material.
3	Forno de Alívio	Responsável por promover um aquecimento controlado no material após ser calibrado.
4	Torno CNC	Responsável por usinar conexões em materiais de diâmetro externo entre $3\frac{1}{2}$ " a $10\frac{3}{4}$ ".
5	Inspeção Dimensional	Verificação dimensional das conexões usinadas no Posto 4
6	Jato de Óxido de Alumínio	Processo de jateamento mecânico na superfície da conexão
7	Tanque de Fosfato	Processo de tratamento superficial químico, utilizado em conexões.
8	Máquina de Aperto	Responsável por conectar ou apertar uma luva em um tubo ou dependendo da situação, saquear uma luva que já estava apertada.
9	Acabamento e liberação	Posto onde são feitas as marcações, pinturas, identificações e uma última inspeção visual no tubo, antes de ser liberado para retirada da banca de saída.

Para cada Posto listado é necessário pelo menos um operador, podendo chegar a seis operadores em um mesmo posto, como no caso do Posto 9, porém cada equipamento só processa um tubo por vez. Apenas

o posto de trabalho 7 (Tanque de fosfato) pode processar de dois a quatro tubos de uma vez, dependendo do seu diâmetro. O tubo é posicionado em frente ao posto, que entra e sai da máquina através de uma linha de rolos. Todo o processo de movimentação dos tubos é realizado de forma manual pelos operadores, a linha não conta com sistema de abastecimento automático, o que torna o processo mais lento se comparado com as demais linhas de produção existentes na empresa alvo. Com os recursos disponíveis na Linha de Reparos *Tubing* é possível processar 12 tipos de conexões distintas que variam em um range de 3 ½" a 10 ¾" de diâmetro, atendendo ao mercado de Óleo e Gás nacional e internacional.

Para processar essas conexões são necessárias informações técnicas, que irão descrever a geometria, tipo de conexão, resistência, dureza entre outras características que irão determinar como será produzido o material e em quais máquinas eles serão processados. Essas informações estão contidas em um documento denominado DT (Dados Técnicos) que é repassado aos operadores de cada posto de trabalho no início da produção. No caso da Linha de Reparos *Tubing*, o tempo de ciclo influencia diretamente no planejamento da produção de um Pedido pois é um fator determinante no cumprimento do prazo de entrega dos tubos para o cliente. Para identificar o posto considerado como maior gargalo da linha e analisar o nível de automação deste posto, foi extraído da base de dados de Tempo de Ciclo da Linha de Reparos *Tubing* o cenário mais crítico que ocorre durante um turno de produção, levando em conta o Diâmetro, tipo de Conexão e o Aço. A Tabela 3 abaixo apresenta os tempos de ciclo de cada posto de trabalho.

Tabela 3. Tabela de tempo de ciclo.

Posto	Processo	Diâmetro	Conexão	Aço	T.C.
1	Serra	10 3/4"	CNX 21 HT	AX 110 HCSS	00:16:26
2	Calibradora	10 3/4"	CNX 21 HT	AX 110 HCSS	00:13:45
3	Forno	10 3/4"	CNX 21 HT	AX 110 HCSS	00:11:39
4	Torno	10 3/4"	CNX 21 HT	AX 110 HCSS	00:17:58
5	Inspeção Dimensional	10 3/4"	CNX 21 HT	AX 110 HCSS	00:35:22
6	Jato de Óxido	10 3/4"	CNX 21 HT	AX 110 HCSS	00:15:13
7	Fosfato	10 3/4"	CNX 21 HT	AX 110 HCSS	00:29:05
8	Aperto	10 3/4"	CNX 21 HT	AX 110 HCSS	00:15:08
9	Acabamento e liberação	10 3/4"	CNX 21 HT	AX 110 HCSS	00:42:00

Após análise do tempo de ciclo de cada posto de trabalho, foi identificado o Posto 9 como sendo o gargalo da Linha de Reparos *Tubing*. Na próxima seção será aplicada a metodologia DYNAMO para análise do nível de automação deste posto.

3.1 Aplicação do método DYNAMO

A medição e análise do nível de automação do Posto 9 será aplicado seguindo as etapas da metodologia DYNAMO conforme apresentado na Figura 1. As etapas 1 a 3 foram levantadas durante a descrição da linha de Reparos *Tubing*. As etapas 4 e 5 serão descritas a seguir. A descrição das tarefas realizadas no Posto 9, foram levantadas com base em entrevistas com os operadores do Posto, supervisor de produção e engenheiro, além de observações das rotinas diárias de trabalho na linha. A descrição das tarefas e subtarefas foram apresentadas no Tabela 4.

O levantamento de tarefas no Posto 9 possibilitou um melhor entendimento das atividades físicas e cognitivas que são realizadas no local. Permitiu também, conhecer as ferramentas mecânicas e tecnológicas utilizadas pelos operadores para desempenhar cada tarefa. Para a realização da etapa 6, foi utilizada como referência a taxonomia de Níveis de Automação na manufatura (Frohm, 2008) apresentada na Tabela 1. Com base na escala de níveis de automação, o Posto 9 foi classificado com o um LoA Mecânico = 4 e LoA Cognitivo = 2.

Na etapa 7 são definidos os valores mínimo e máximo relevantes para LoA Mecânico e Cognitivo. A tarefa de acabamento e liberação do tubo foi classificada como LoA&M (Nível de Automação Mecânico) = 4 por conta de o funcionamento do posto ser manual com uso de ferramentas que variam entre totalmente manuais, como lima e pincel, a semiautomáticas como lixadeira e retífica. O LoA Mecânico mínimo relevante poderá chegar ao nível dois, caso as tarefas sejam realizadas com o uso de ferramentas totalmente manuais sendo, LoA&M_Min = 2. No caso do LoA Mecânico máximo relevante, o nível pode ser elevado substituindo o sistema de abastecimento e posicionamento da peça no posto, realizado de forma totalmente manual por um sistema totalmente automatizado. A implantação de robôs colaborativos também

contribuiria para a redução da força de trabalho humana, tornando a interação entre homem e processo a mínima possível, deixando o LoA&M_{Max} = 7.

Tabela 4. Descrição de tarefas do posto 9.

Posto	Sub tarefas - LoA Mecânico		Sub tarefas - LoA Cognitivo	
	Sub tarefas - LoA Mecânico	Sub tarefas - LoA Cognitivo	Sub tarefas - LoA Mecânico	Sub tarefas - LoA Cognitivo
9	<ul style="list-style-type: none"> - Os tubos são depositados manualmente em uma banca contínua com capacidade para armazenar até 10 tubos dependendo do seu diâmetro; - Os operadores realizam tarefas de soprar o tubo, lixar as rebarbas, aplicação de graxa na conexão com pincel, montagem manual do protetor, pintura, micropunção e marcação de faixas; - após liberados, os tubos são retirados da banca com pá carregadeira e levados para o estoque. 		<ul style="list-style-type: none"> - Operador confere no DT os dados de produção do tubo e o tipo de acabamento que ele irá receber; - Finalizado o processo, o operador aponta no formulário de produção o resultado das peças produzidas. 	

Já o LoA Cognitivo do Posto 9 foi classificado como LoA&C (Nível de Automação Cognitivo) = 2, baseado no fato de que o operador segue um Padrão Operacional para executar suas tarefas. Ainda sim seria possível passar a tarefa de forma verbal pelo fiscal de produção ou supervisor, o que reduziria o mínimo relevante da tarefa para LoA&C_{Min} = 1. Para elevar o LoA Cognitivo máximo relevante, seria necessário a implantação de um sistema de rastreamento de peças e apontamento de produção online e em tempo real, integrado aos robôs colaborativos tornando o Posto um sistema totalmente autônomo tendo como resultado um LoA&C_{Max} = 7. A Figura 4 mostra o Quadro de Melhorias Possíveis para o Posto 9.

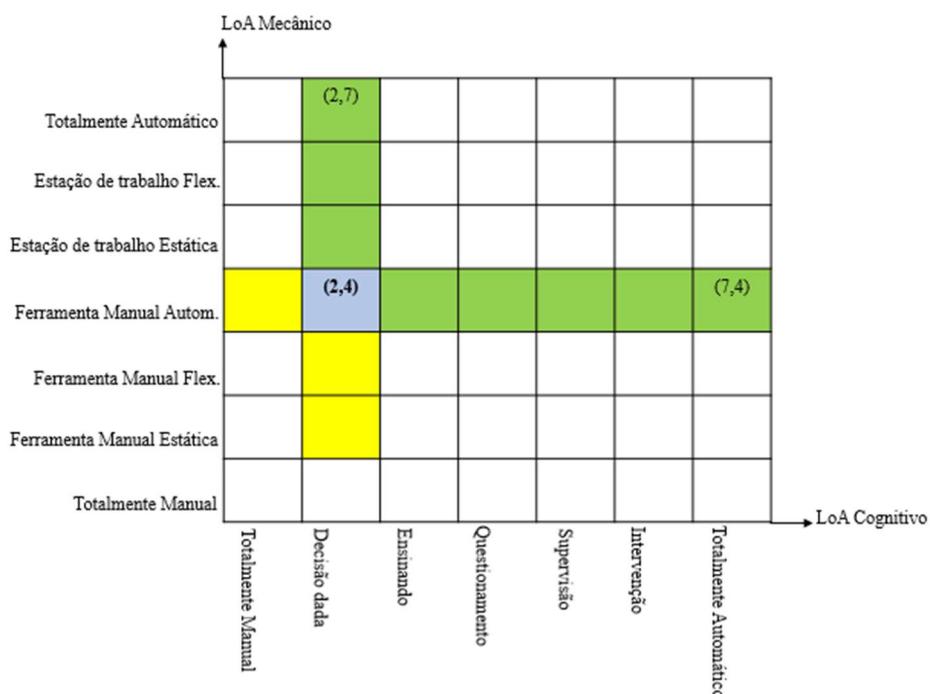


Figura 4. Matriz SoPI para LoA Mecânico e Cognitivo no Posto 9.

A última etapa da metodologia DYNAMO consiste na análise dos resultados. A análise das tarefas realizadas no Posto 9 juntamente com as análises de LoA mínimo e máximo relevante possibilitaram ter uma visão de até que ponto podemos elevar ou reduzir o nível de automação de um posto de trabalho. Para o LoA Mecânico e Cognitivo mínimo relevante, não seria interessante aplicar essa redução, pois iria influenciar diretamente no tempo de ciclo do posto, além de agravar outros problemas como ergonomia dos

trabalhadores e falta de segurança na realização das tarefas. Para o LoA Mecânico e Cognitivo máximo relevante, será fundamental a aplicação do método PROMÉTHÉE, para uma visão mais clara sobre a viabilidade de implantação de um alto nível de automação, pois envolve um elevado custo de implantação.

3.2 Aplicação do método PROMÉTHÉE II

O método foi aplicado no estudo de caso com a finalidade de obter um ranqueamento de diferentes alternativas para implantação de níveis de automação e consequentemente apontar o nível mais adequado para o posto de trabalho.

3.2.1 Definição das alternativas

O ponto de partida para definição das alternativas foi o estudo realizado na seção 3.1, onde, através da metodologia DYNAMO foi medido o Nível de Automação atual do Posto 9, o qual será aplicado o método PROMÉTHÉE II para definição do Nível de Automação ideal. Para o Posto 9 foi determinado um LoA Mecânico atual igual a 4 e LoA Cognitivo atual igual a 2. Portanto para o LoA Mecânico as alternativas serão: N4, N5, N6 e N7, sendo N4 o Nível de Automação Mecânico em que o Posto 9 se encontra, o restante das alternativas faz referência aos subsequentes níveis da escala de Níveis de Automação Mecânico. Para o LoA Cognitivo as alternativas serão: N2, N3, N4, N5, N6 e N7, sendo N2 o Nível de Automação Cognitivo em que o Posto 9 se encontra, o restante das alternativas faz referência aos subsequentes níveis da escala de Níveis de Automação Cognitivo.

3.2.2 Definição dos critérios

A obtenção dos critérios foi realizada através de um processo dividido em duas etapas. Na primeira etapa as informações foram coletadas através de um questionário aplicado aos especialistas eleitos durante a fase de caracterização dos decisores, solicitando que listassem dez critérios que julgassem mais impactantes para a Linha de Reparos *Tubing*. Abaixo, na Tabela 5, foi apresentada a lista das respostas dadas por cada especialista com base em suas respectivas experiências na área de atuação e no processo produtivo da linha.

Tabela 5. Critérios levantados para a linha de reparos *tubing*.

Engenheiro de Produção	Supervisor de Produção	Técnico de Segurança	Engenheiro da Qualidade	Engenheiro de Projetos
Segurança	Segurança	Segurança	Segurança	Segurança
Qualidade	Qualidade	Meio Ambiente	Qualidade	Qualidade
Produtividade	Produtividade	Utilidades	Satisfação do Cliente	Flexibilidade
Custo de Produção	Tempo de Ciclo	Qualidade	Meio Ambiente	Meio Ambiente
Tempo de Ciclo	Prazo de entrega	Satisfação do Cliente	Prazo de entrega	Custo de Produção
Prazo de entrega	Manutenção	Produtividade	Auditórias	Custo Mão de Obra
Manutenção	Dificuldade de movimentação	Prazo de entrega	Retrabalho	Dificuldade de movimentação
Custo Mão de Obra	Custo de Produção	Armazenamento das peças	Produtividade	Prazo de entrega
Meio Ambiente	Custo Mão de Obra	Dificuldade de movimentação	Flexibilidade	Utilidades
Retrabalho	Utilidades	Manutenção	Custo Mão de Obra	Manutenção

Na segunda etapa, depois de respondidos os questionários individualmente, os especialistas foram convocados novamente para responderem a um novo questionário de forma coletiva, onde foi solicitado que escolhessem os cinco critérios mais importantes dentre os dez critérios listados por cada um. Os

critérios escolhidos foram aplicados ao Posto 9, pois este é o ponto focal do estudo e onde foi aplicado a análise multicritério. Os critérios escolhidos foram:

- Segurança (RPI - *Risk Priority Index*);
- Qualidade (INC – Índice de Não Conformidades);
- Tempo de Ciclo;
- Custo com Mão de Obra;
- Flexibilidade.

Além dos critérios escolhidos pelos especialistas, o sexto critério Custo com Automação foi inserido ao estudo. Este critério está relacionado ao custo com investimento em automação, que aumenta à medida que se deseja elevar o Nível de Automação Mecânico e Cognitivo.

Critério Segurança – RPI: Os dados do critério Segurança foram levantados com base no Procedimento de Processo “PP-AMS SEG 03” da empresa alvo que possui uma metodologia corporativa para calcular os riscos existentes nos postos de trabalho. Essa metodologia chamada de RPI, “*Risk Priority Index*” ou Índice de Prioridade de Risco, é o índice de risco considerando certos critérios de avaliação, incluindo os meios de controle já existentes. A metodologia tem como objetivo quantificar os riscos e atuar de maneira preventiva.

Critério Qualidade - INC: Para o critério Qualidade, será utilizado o indicador INC - Índice de Não Conformidades de processo. Esse indicador é adotado pela empresa alvo em todas as suas linhas de produção e tem o objetivo de mapear e criar um histórico de problemas de qualidade, ocorridos durante o processamento de um pedido, além de possibilitar uma análise de falha mais assertiva quando necessário. Não conformidades é todo desvio, irregularidades ou erros encontrados durante o processamento de um pedido.

Critério Tempo de Ciclo: Os valores de tempo de ciclo foram estimados a partir do tempo de ciclo atual do posto. A medida que se eleva o nível de automação consequentemente diminui o tempo de ciclo.

Critério Mão de Obra: O cálculo do custo com mão de obra em uma linha de produção envolve considerar todos os gastos relacionados aos trabalhadores que operam ou dão suporte à produção. No caso da Linha de Reparos Tubing, o custo com mão de obra é calculado por posto de trabalho, levando em consideração a quantidade de operadores, o custo de cada operador por hora e o tempo por peça produzida (Tempo de Ciclo).

Critério Flexibilidade: Slack (2020) descreve a flexibilidade de mix como a habilidade de alterar a variedade de produtos produzidos pelas operações em um dado período. Quanto maior o Nível de Automação, menor a Flexibilidade da linha de produção, o que significa um maior tempo de setup entre troca de produtos.

Critério Custo com Automação: O Custo com Automação é um critério estimado e os valores para cada alternativa foram levantados com base em projetos anteriores de outras linhas de produção da própria empresa alvo e de outras Plantas que a empresa possui no Brasil. O critério terá valores diferentes para as alternativas de LoA Mecânico e Cognitivo.

3.2.3 Avaliação intracritério

Na etapa de avaliação intracritério, cada critério foi associado à sua função de preferência estabelecendo o comportamento de cada alternativa. Para este artigo, a definição das associações citadas, foi baseada nas recomendações de Mareschal (2018) e teve seu comportamento validado junto aos especialistas com base em seus entendimentos quanto ao processo e, em seguida, com a validação do Decisor. As características de cada critério, assim como suas respectivas funções de preferência, limites de preferência “p” e indiferença “q” e a direção estão relacionadas a seguir.

Critério Segurança – RPI (minimizar): para definição dos parâmetros de q e p do critério, foi tomada como base a escala de Prioridade de Ação do Procedimento de Processo “PP-AMS SEG 03” da empresa alvo, onde o RPI de 1 a 79 representa um “Risco Aceitável” e o RPI de 269 a 599 representa um “Alto Risco”. Tendo o valor de RPI do critério variado de 12 a 300, o valor de indiferença q será igual a 79 e o valor de p será igual a 269.

Critério Qualidade - INC (minimizar): para definição dos parâmetros de q e p do critério, foi analisada a produção de um lote de duzentas peças onde quarenta peças foram recusadas, ou seja, houve um INC de 20%. De acordo com os especialistas, um índice de 10% de recusa já impacta negativamente na produção devido a todo o retrabalho que uma não conformidade gera. Mediante essa análise foi definido que o valor de indiferença q será igual a 1 e o valor de p será igual a 5.

Critério Tempo de Ciclo (minimizar): para definição dos parâmetros de q e p do critério, foi analisada a produção da peça de maior complexidade que passa pela linha, e consequentemente a mais demorada para ser finalizada. De acordo com os especialistas, um Tempo de Ciclo de cinco minutos pode ser considerado irrisório, porém um tempo de quinze minutos já pode causar um gargalo na produção. Mediante essa análise foi definido que o valor de indiferença q será igual a 5 e o valor de p será igual a 15.

Critério Mão de Obra (minimizar): para definição dos parâmetros de q e p do critério, foram analisados os custos de produção, volume de produção e o custo com mão de obra por peça produzida. De acordo com os especialistas, um custo com Mão de Obra de R\$ 1,00 pode ser considerado bastante baixo, porém um custo de R\$ 10,00 em um cenário de baixo volume de produção (como é o caso do lote de duzentas peças) já causa um impacto no faturamento. Mediante essa análise foi definido que o valor de indiferença q será igual a 1 e o valor de p será igual a 10.

Critério Flexibilidade (maximizar): foi adotada a função Usual para o critério pelo fato de que, qualquer variação no valor pode influenciar positiva ou negativamente na flexibilidade do Posto de Trabalho.

Critério Custo com Automação (minimizar): para definição dos parâmetros de q e p do critério, foram analisados os custos para se elevar o Nível de Automação Mecânico e Cognitivo do Posto 9 e quanto a empresa estaria disposta a gastar com novas tecnologias. De acordo com os especialistas e o decisior, um custo de investimento em equipamentos mecânicos de R\$ 50.000,00 pode ser considerado bastante baixo, porém um custo de R\$ 500.000,00 teria que ser bem estudado. Mediante essa análise foi definido para o Nível de Automação Mecânico o valor de indiferença q igual a 50.000 e o valor de preferência p igual a 500.000. Já para o Nível de Automação Cognitivo o valor de q será igual a 1.000 e o valor de p será igual a 100.000.

3.2.4 Avaliação intercritério

A etapa de avaliação intercritério corresponde ao estabelecimento dos pesos de cada um dos critérios elencados para o modelo (Almeida et al., 2015). Em uma aplicação de métodos AMD, o estabelecimento dos critérios requer muita atenção, pois qualquer inconsistência na ponderação dos pesos dos critérios pode gerar um resultado insatisfatório para os objetivos estabelecidos (Mufazzal et al., 2021).

A definição do peso dos critérios foi realizado junto aos especialistas onde foi solicitado que comparassem os critérios em pares e informassem se entre cada par havia uma relação de indiferença ou de superação na importância entre os dois critérios avaliados. No caso de haver um critério mais importante que o outro, também deveria ser identificado qual critério supera qual. Foi orientado aos especialistas que os pesos dos critérios poderiam variar entre 0,01 a 1 e que a soma dos pesos de todos os critérios deveria ser igual a 1. O resultado do peso dos critérios foi o seguinte:

- Segurança (RPI) = 0,3;
- Qualidade (INC) = 0,26;
- Tempo de Ciclo = 0,1;
- Mão de obra = 0,06;
- Flexibilidade = 0,04;
- Custo com Automação = 0,24.

O critério Segurança teve o maior peso seguindo a política da empresa de que Segurança é o seu maior valor, em seguida vem o critério Qualidade por ser fundamental para a imagem da empresa perante seus clientes, em terceiro ficou o Custo com Automação por ser um critério decisivo para a implantação de novos projetos na linha de produção. Estabelecido o peso de cada um dos critérios, encerra-se a fase de modelagem e torna o modelo pronto para avaliação das alternativas e obtenção dos resultados na fase de conclusão.

3.2.5 Aplicação do software visual PROMÉTHÉE

Definidas as Alternativas e os Critérios do modelo, foram inseridos os valores para o LoA Mecânico e Cognitivo respectivamente no software Visual PROMÉTHÉE. A Figura 6 apresenta os dados para o LoA Mecânico e a Figura 7 os dados para o LoA Cognitivo.

Visual PROMETHEE Demo - unnamed (not saved)

The screenshot shows the Visual PROMETHEE software interface with the title bar "Visual PROMETHEE Demo - unnamed (not saved)". The menu bar includes File, Edit, Model, Control, PROMETHEE-GAIA, GDSS, GIS, Custom, Assistants, Snapshots, Options, and Help. Below the menu is a toolbar with various icons. The main window contains a table setup for a decision-making process. The columns represent criteria: Critérios, RPI, INC, Tempo de Cido, Mão de Obra, Flexibilidade, and Custo Autom... The rows include Preferences (Min/Max, Weight, Preference Fn., Thresholds, -Q: Indifference, -P: Preference) and Alternativas (N4, N5, N6, N7). The table values are as follows:

Critérios	RPI	INC	Tempo de Cido	Mão de Obra	Flexibilidade	Custo Autom...
Unit	unit	unit	Minutos	R\$	unit	R\$
Preferences						
Min/Max	min	min	min	min	max	min
Weight	0,30	0,26	0,10	0,06	0,04	0,24
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear	Usual	Linear
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
-Q: Indifference	79	1	5	1,00	n/a	50000,00
-P: Preference	269	5	15	10,00	n/a	500000,00
Alternativas						
N4	300	20	42	84,00	12,0	100000,00
N5	144	15	30	50,00	2,4	300000,00
N6	36	8	20	19,80	1,2	2000000,00
N7	12	2	10	6,40	0,6	4000000,00

Figura 6. Aplicação do software Visual PROMÉTHÉE para LoA mecânico.

Visual PROMETHEE Demo - unnamed (not saved)

The screenshot shows the Visual PROMETHEE software interface with the title bar "Visual PROMETHEE Demo - unnamed (not saved)". The menu bar includes File, Edit, Model, Control, PROMETHEE-GAIA, GDSS, GIS, Custom, Assistants, Snapshots, Options, and Help. Below the menu is a toolbar with various icons. The main window contains a table setup for a decision-making process. The columns represent criteria: Critérios, RPI, INC, Tempo de Cido, Mão de Obra, Flexibilidade, and Custo Autom... The rows include Preferences (Min/Max, Weight, Preference Fn., Thresholds, -Q: Indifference, -P: Preference) and Alternativas (N2, N3, N4, N5, N6, N7). The table values are as follows:

Critérios	RPI	INC	Tempo de Cido	Mão de Obra	Flexibilidade	Custo Autom...
Unit	unit	unit	Minutos	R\$	unit	R\$
Preferences						
Min/Max	min	min	min	min	max	min
Weight	0,30	0,26	0,10	0,06	0,04	0,24
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear	Usual	Linear
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
-Q: Indifference	79	1	5	1,00	n/a	50000,00
-P: Preference	269	5	15	10,00	n/a	500000,00
Alternativas						
N2	300	20	42	84,00	12,0	0,00
N3	300	20	42	84,00	12,0	2000,00
N4	300	20	42	84,00	12,0	100000,00
N5	144	15	30	50,00	2,4	300000,00
N6	36	8	20	19,80	1,2	2000000,00
N7	12	2	10	6,40	0,6	4000000,00

Figura 7. Aplicação do software Visual PROMÉTHÉE para LoA cognitivo.

3.2.6 Resultados do método PROMETHE II para o LoA mecânico

Inseridos os valores dos critérios assim como seus respectivos pesos e funções de preferência no software Visual PROMÉTHÉE, os resultados dos fluxos positivo, negativo e fluxo de preferência, assim como o resultado do ranqueamento foram apresentados na Figura 8.

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	N7	0,2512	0,5312	0,2800
2	N6	0,1593	0,4693	0,3100
3	N5	-0,0426	0,3572	0,3998
4	N4	-0,3679	0,2800	0,6479

Figura 8. Fluxos de preferência e ordenação – LoA mecânico.

3.2.7 Resultados do método PROMÉTHÉE II para o LoA cognitivo

Concluído os cálculos para o Nível de Automação Mecânico, foi realizada a ordenação das alternativas, através dos cálculos para o Nível de Automação Cognitivo seguindo os dados da Figura 4, respeitando a mesma metodologia para níveis de automação mecânico. Os resultados foram apresentados na Figura 9.

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	N7	0,3267	0,6067	0,2800
2	N6	0,2684	0,5664	0,2980
3	N5	0,1419	0,4189	0,2770
4	N2	-0,2367	0,1520	0,3887
5	N3	-0,2372	0,1516	0,3887
6	N4	-0,2632	0,1360	0,3992

Figura 9. Fluxos de preferência e ordenação – LoA cognitivo.

O resultado do ranqueamento produzido pelo método PROMÉTHÉE mostrou que o Nível de Automação 7 segundo a escala de Frohm (2008) foi o mais adequado para o Posto 9 para tarefas mecânicas e cognitivas.

4 Resultados e discussões

Analizando o ranqueamento para Níveis de Automação Mecânico na Figura 8 e Níveis de Automação Cognitivo na Figura 9, podem ser tiradas algumas conclusões em relação à priorização das alternativas. O modelo indicou a alternativa N7 como sendo a melhor tanto para LoA Mecânico quanto para LoA Cognitivo, ou seja, em termos práticos seria optar por implantar um posto de trabalho “Totalmente Automatizado”, segundo a escala de Frohm (2008), mesmo que tenha um alto custo para implantação de novas tecnologias que esse nível de automação requer. Portanto, para que o Decisor tenha uma visão clara do custo benefício de se investir um alto valor em automação em um único posto de trabalho, é importante analisar os ganhos e benefícios que a implantação do Nível 7 traria. A Tabela 6 abaixo faz uma comparação entre a alternativa N7 e as demais alternativas. Os valores representam a redução em porcentagem (vantagem de N7 frente as demais), que os critérios teriam caso o Nível 7 fosse implantado.

Tabela 6. Cálculo de redução dos índices dos critérios.

Alternativas	Comparação entre a alternativa N7 com as demais				
	Critérios				
	Segurança RPI	Qualidade INC - %	Tempo de ciclo - Min	Custo mão de obra - R\$	Flexibilidade
N7 vs N4	96 %	90 %	76,1 %	92,3 %	95 %
N7 vs N5	91,6 %	86,6 %	66,6 %	87,2 %	75 %
N7 vs N6	66,6 %	75 %	50 %	67,6 %	50 %

Uma alternativa nesse primeiro momento seria automatizar o posto parcialmente, prática muito comum utilizada nas indústrias de manufatura que não querem ou não podem disponibilizar de altos valores com investimentos em automação de uma só vez, ou optar por implantar um nível de automação abaixo do que foi proposto pelo método multicritério. Porém essa decisão depende diretamente dos ganhos que a empresa

teria com a implantação desse nível de automação. Para conhecer os ganhos de se implantar um nível de automação abaixo do que foi proposto pelo processo decisório, foi realizada uma nova análise das alternativas e dos critérios levantados, fazendo uma comparação entre as alternativas N5, N6 e N7 versus a alternativa N4. O resultado está exposto na Tabela 7.

Tabela 7. Cálculo de redução dos critérios comparando as alternativas.

Alternativas	Comparação entre a alternativas N5, N6, N7 versus N4					
	Critérios					
	Segurança RPI	Qualidade INC - %	Tempo de ciclo - Min	Custo mão de obra – R\$	Flexibilidad e	Custo com automação mecânico + cognitivo - R\$
N5 vs N4	52 %	25 %	28,5 %	40,4 %	80 %	1.100.000,00
N6 vs N4	88 %	60 %	52,3 %	76,4 %	90 %	4.000.000,00
N7 vs N4	96 %	90 %	76,1 %	92,3 %	95 %	9.000.000,00

Se o Decisor optar por adotar um LoA Mecânico e Cognitivo igual a 5, os ganhos não seriam muito significativos, teria uma redução no RPI de 52% em relação ao estado atual do posto de trabalho, uma redução de apenas 25% no INC e 28,5% no Tempo de Ciclo. O valor de investimento não seria tão alto, conforme apresentado no Quadro 70, porém o custo benefício ainda seria baixo, comparadas as alternativas. Resumindo, se não houvesse mais nenhuma alternativa, talvez essa fosse uma boa opção, mas como existe alternativas, o melhor não seria optar pela N5 no momento.

No caso de se adotar um LoA Mecânico igual a 6, os ganhos seriam significativamente maiores em relação a N5 e ao nível atual do Posto. A redução do RPI cairia para 88% e o INC 60%, além do Tempo de Ciclo que também cairia 52,3%. O custo total para implantação seria praticamente quatro vezes maior que o N5, porém seria menos da metade que o custo para se implantar o N7. Resumindo, se o Nível 7, resultado do processo de análise multicritério não puder ser implantando no momento, o Nível 6 seria o mais indicado, o que também é comprovado pelo resultado da ordenação das alternativas durante o desenvolvimento do método.

Segundo Almeida et al. (2015), dependendo do cenário e características do ambiente, a implementação pode ser fácil e até imediata ou difícil e dispendiosa. Algumas vezes pode ser tão complexa que leva-se muito tempo para ser implementada, necessitando de outros atores além do Decisor para ser concluída.

5 Conclusão

O presente artigo teve como objetivo definir o nível de automação mais adequado para um posto de trabalho considerado gargalo em uma linha de produção de uma indústria de manufatura que fornece produtos e serviços para o setor de Óleo e Gás, através da aplicação do método DYNAMO para medir e analisar o nível de automação atual do posto de trabalho e a aplicação do método PROMÉTHÉE II para definir o nível de automação ideal para este posto. As análises de mínimo e máximo relevantes mostraram a flexibilidade do posto em termos de níveis de automação e a possibilidade de se implantar tais níveis. Tal análise levou em consideração a utilização de tecnologias disponíveis no mercado, no intuito de reduzir o tempo de ciclo e aumentar a produtividade do posto e da linha de produção como um todo, sem se aprofundar nas questões de custos ou viabilidade para a implantação dessas tecnologias. Nesse ponto a aplicação do método PROMÉTHÉE se fez fundamental. A aplicação do método mostrou através da ordenação das alternativas que o nível de automação igual a 7 “Totalmente Automático” para o LoA Mecânico e Cognitivo, foi o mais adequado para o Posto 9, porém não quer dizer que este seja o único nível de automação que atenda a este posto, visto que a implantação do Nível 6 pode trazer resultados bem próximos do Nível 7 e podem atender com tranquilidade aos requisitos produtivos da empresa.

Neste momento cabe ao Decisor do projeto junto aos especialistas avaliarem se o momento é o mais oportuno para implantação do Nível 7, do Nível 6 ou até mesmo de uma implantação parcial das novas tecnologias propostas.

Referências

- Almeida, AT, Cavalcante, CAV, Alencar, MH, Ferreira, RJP, Almeida-Filho, AT and Garcez, TV (2015) *Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis*. Vol. 5, No. 3, p. 395. Springer International Publishing. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-17969-8>.
- Brans, JP and Vincke, P (1985) ‘Um método de organização de classificação de referências: O método PROMÉTHÉE para critérios múltiplos. Tomada de decisão’, *Ciência da Administração*, 31, pp. 647–656. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.31.6.647>.
- Brettel, M, Klein, M and Friederichsen, N (2016) ‘The relevance of manufacturing flexibility in the context of Industrie 4.0’, *Procedia CIRP*, 41, pp. 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.047>.
- Fasth, Å, Lundholm, T, Mårtensson, L, Dencker, K, Stahre, J and Bruch, J (2009) ‘Designing proactive assembly systems – Criteria and interaction between automation, information, and competence’, *Asian International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing Engineering (AIJSTPME)*, 2(4), pp. 1–13. Disponível em: www.researchgate.net/publication/200494172 (Acesso em: 27 setembro 2025).
- Frohm, J (2008) *Levels of automation in production system*. Tese de doutorado. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2797.7447>.
- Frohm, J, Lindström, V and Bellgran, M (2005) ‘A model for parallel levels of automation within manufacturing’, in Pasquino, R. (ed.) *Proceedings of the 18th International Conference on Production Research*, Fisciano, Italy. Disponível em: www.researchgate.net/publication/313444892 (Acesso em: 27 setembro 2025).
- Gomes, LFAM, Araya, MCG, and Carignano, C (2004) *Tomada de decisões em cenários complexos*. São Paulo: Cengage Learning. Disponível em: www.researchgate.net/publication/277249394 (Acesso em: 27 setembro 2025).
- Granlund, A, Wiktorsson, M, Grahn, S and Friedler, N (2014) ‘Lean automation development: Applying lean principles to the automation development process’, *21st EurOMA Conference*, Palermo, Italy. Disponível em: www.researchgate.net/publication/287199513 (Acesso em: 27 setembro 2025).
- Ishizaka, A, Resce, G and Mareschal, B (2018) ‘Visual management of performance with PROMÉTHÉE productivity analysis’, *Soft Computing*, 22, pp. 7325–7338. <https://doi.org/10.1007/s00500-017-2884-0>.
- Klock, EC and Rodrigues, J, (2025) Automação industrial: fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Atlas.
- Lima, GSJ and Neto, AP, (2023) Revisão bibliográfica sobre o impacto da automação na produtividade industrial. Universidade Federal Rural do Semiárido. Trabalho de Conclusão de Curso. <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstreams/8698d2cb-feb2-4992-8f62-85f666eaeed4/download>. (Acesso em: 28 setembro 2025).
- Mareschal, B (2018) *Visual PROMÉTHÉE: Preference functions and thresholds*. VPSolutions. Disponível em: <https://bertrand.mareschal.web.ulb.be/PG2024/assets/preffunctions.pdf> (Acesso em: 27 setembro 2025).
- Moreira, A and Augusto, M (2022) *Automação dos processos contábeis*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/34347> (Acesso em: 27 setembro 2025).
- Moura, GG and Bonaldo, SA, (2022) Protótipo de automação residencial para tecnologia assistida. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. Trabalho de Conclusão de Curso. <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/24002>. (Acesso em: 28 setembro 2025).
- Mufazzal, S, Masood, S, Khan, NZ, Muzakkir, SM and Khan, ZA (2021) ‘Towards minimization of overall inconsistency involved in criteria weights for improved decision making’, *Applied Soft Computing*, 100, 106957. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106936>.
- Neto, LDP, Oliveira, ASD, Santos, LMDS, Pedroza, JKBR and Souza, GSD (2019) ‘Instrumentos gerenciais e o processo de tomada de decisão: Um estudo em empresas do setor de autopartes em Bayeux/PB’, *Management Control Review*, 4(1). <https://doi.org/10.51720/mcr.v4i1.2638>.

- Slack, N, Chambers, S and Johnston, R (2009) *Administração da produção*. 3^a ed. São Paulo: Editora Atlas. <https://doi.org/10.1590/S1415-65552003000100016>.
- Vagia, M, Traneth, AA and Fjærden, SA (2016) ‘A literature review on the levels of automation during the years: What are the different taxonomies that have been proposed?’, *Applied Ergonomics*, 53, pp. 190–202. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.09.013>.
- Yamazaki, Y, Takata, S, Onari, H, Kojima, F and Kato, S (2016) ‘Lean automation system responding to the changing market’, *Procedia CIRP*, 57, pp. 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.035>.