

## AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE APLICAÇÃO DE ALÇAS EM GARRAFAS PET 5L: ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Ezequiel Fernando Bruski<sup>1</sup>, Julia Dalcin Veronese<sup>2</sup>, Edson Moacir Ahlert<sup>3</sup>

**Resumo:** O estudo avalia a viabilidade técnico-econômica da automação da etapa de aplicação de alças em garrafas PET de 5 litros em uma indústria de bebidas, identificada como o principal gargalo da linha de envase devido ao caráter manual, ao alto custo operacional e à baixa previsibilidade do processo. A proposta consiste na substituição dessa operação por uma máquina aplicadora automática modelo SIA 3000, cuja capacidade nominal de 3.000 garrafas por hora e operação contínua permite reduzir significativamente o tempo de ciclo, duplicar a vazão produtiva e padronizar a qualidade da fixação das alças. A metodologia empregada inclui mapeamento dos cenários AS IS e TO BE por meio de BPMN e diagrama de blocos, análise documental de catálogos técnicos e avaliação econômico-financeira com indicadores como VPL, TIR, Índice de Lucratividade e *Payback* Descontado. Os resultados mostram redução anual de custos operacionais decorrente da eliminação de mão de obra dedicada, melhora no índice de qualidade, aumento de disponibilidade e eliminação de variabilidade humana. A análise financeira aponta VPL positivo, TIR superior à taxa mínima de atratividade e retorno estimado em aproximadamente 4,2 anos, confirmando que a automação proposta é tecnicamente executável e economicamente vantajosa, contribuindo para maior eficiência, previsibilidade e alinhamento da empresa aos princípios da Indústria 4.0.

**Palavras-chave:** automação; indústria de bebidas; eficiência; redução de custos; garrafas PET 5L.

---

1 Estudante de Engenharia de Química - Universidade do Vale do Taquari - Univates. E-mail: [ezequiel.bruski@universo.univates.br](mailto:ezequiel.bruski@universo.univates.br)

2 Estudante de Engenharia de Química - Universidade do Vale do Taquari - Univates. E-mail: [julia.veronese@universo.univates.br](mailto:julia.veronese@universo.univates.br)

3 Professor da Universidade do Vale do Taquari - Univates.

# AUTOMATION OF THE PROCESS OF APPLYING HANDLES TO 5L PET BOTTLES: TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS

**Abstract:** This study evaluates the technical and economic feasibility of automating the handle application stage for 5-liter PET bottles in a beverage industry, identified as the main bottleneck of the filling line due to its manual execution, high operational costs, and low process predictability. The proposed solution consists of replacing the manual activity with an automatic handle-applying machine, model SIA 3000, whose nominal capacity of 3,000 bottles per hour and continuous-motion operation significantly reduces cycle time, doubles production throughput, and ensures standardized handle attachment quality. The methodology includes mapping the AS-IS and TO-BE scenarios using BPMN and block diagrams, documentary analysis of technical catalogs, and a financial feasibility assessment based on indicators such as NPV, IRR, Profitability Index, and Discounted Payback. The results show a substantial reduction in annual operating costs due to the elimination of dedicated manual labor, improved quality performance, increased availability, and removal of human-related variability. The financial analysis indicates a positive NPV, an IRR above the minimum acceptable rate, and a return on investment in approximately 4.2 years. Overall, the automation proposal is technically viable and economically advantageous, contributing to higher efficiency, greater process stability, and alignment of the company with Industry 4.0 principles.

**Keywords:** automation; beverage industry; efficiency; cost reduction; 5L PET bottles.

## 1 INTRODUÇÃO

No contexto da Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, em que a fusão de tecnologias digitais, físicas e biológicas redefine a manufatura, a busca por eficiência e automação é imperativa para a sobrevivência e competitividade das empresas. A transição para sistemas de produção ciberfísicos exige que as indústrias revisem e modernizem processos tradicionalmente dependentes de esforço humano intensivo (Sacomano *et al.*, 2018).

A automação moderniza e aprimora os processos produtivos por meio da integração de elementos eletromecânicos e sistemas computacionais. Esses sistemas, operando de forma sincronizada e controlada, são capazes de otimizar a produção em larga escala enquanto mantêm a qualidade, promovem a redução de custos e elevam a segurança de todos os envolvidos. Essa capacidade é confirmada por exemplos históricos que, ao longo dos anos, atestaram a confiabilidade dos processos automatizados no ambiente industrial (Santos, 2019).

Este avanço tecnológico se torna ainda mais crítico em setores de alta produção e regulamentação, como a indústria de alimentos e bebidas, onde a precisão e a higiene são fatores importantes. A adoção da automação permite a padronização de qualidade e a conformidade sanitária, o que é vital para a segurança alimentar do produto final (Pereira, Ferrarezi Jr., 2023).

Além disso, a substituição de tarefas repetitivas e manuais por máquinas contribui diretamente para a redução de custos operacionais a longo prazo, principalmente pela significativa diminuição da necessidade de mão de obra intensiva em atividades de baixo valor agregado, além de reduzir erros e o subsequente desperdício de insumos (Ribeiro, 2024).

Diante desse panorama, o problema central identificado na empresa de bebidas consiste na ineficiência e no custo elevado da aplicação manual de alças em garrafas PET de 5 litros, um processo que exige alta mobilização de mão de obra intensiva e cria um gargalo na linha de envase.

Este descompasso entre a produção automatizada e uma etapa final ainda dependente de esforço humano impacta negativamente a capacidade produtiva e a competitividade da organização, refletindo-se diretamente nos custos operacionais.

A solução proposta por este estudo é a implementação de uma máquina aplicadora de alças, capaz de automatizar completamente essa etapa e, conseqüentemente, fornecer dados empíricos para analisar o retorno sobre o investimento gerado pela eliminação do trabalho manual e pelo aumento da eficiência e volume de produção.

O presente artigo, portanto, tem como objetivo geral avaliar a viabilidade técnico-econômica da automação da aplicação de alças na linha de envase de garrafas PET de 5 L.

Para atingir esse objetivo, são definidos objetivos específicos que estruturam a análise de forma sistemática, tais como mapear o processo atual (AS-IS) e o processo proposto (TO-BE); estimar a capacidade produtiva e o tempo de ciclo antes e depois da automação; mensurar o OEE comparativo para quantificar ganhos de desempenho; projetar o fluxo de caixa associado ao investimento, incorporando custos, economia operacional e retorno esperado.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Para o desenvolvimento da solução proposta, é necessário o estudo dos conceitos relacionados à Indústria 4.0, à automação industrial, à automação na indústria de bebidas e aos gargalos de produção. Esses temas serão abordados nas seções seguintes, com o objetivo de contextualizar o cenário e apresentar os principais problemas que este trabalho busca solucionar.

### **2.1 Indústria 4.0**

A Indústria 4.0 caracteriza-se pela integração de tecnologias digitais avançadas, como inteligência artificial, *big data* e robótica, aos processos produtivos. Mais do que um aumento de produtividade, esse conceito representa uma transformação nos paradigmas de produção e consumo,

promovendo maior conectividade, automação e tomada de decisão baseada em dados (Volpato, 2020).

De fato, investir em novos equipamentos é um dos principais desafios das empresas brasileiras que buscam a modernização de seu parque fabril para a implementação dos conceitos e tecnologias da indústria 4.0.

Com esse intuito, uma questão tange-se quanto à tomada de decisão sobre investir em novos equipamentos ou investir na reforma dos equipamentos existentes (Retrofit), com ênfase em modernização dos mesmos (Souza, 2022).

De acordo com Sacomano *et al.* (2018), é fundamental e de grande importância a disseminação do conhecimento da tecnologia de ponta para que a indústria brasileira continue competitiva.

Além disso, faz-se necessário políticas públicas que mantenham o direcionamento à modernização do parque industrial brasileiro, linhas de crédito adequadas, melhoria da infraestrutura e, educação adequada para poder dar suporte à toda transformação necessária, dentre outros.

Neste contexto, considerando que o problema da tomada de decisão seja a escolha de alternativas, o custo de oportunidade representa o benefício efetivamente obtido de uma decisão, levando-se em conta o melhor uso dos recursos envolvidos.

O resultado de uma decisão é decorrente do confronto entre o benefício gerado pela opção feita e o benefício que poderia ser obtido se tivesse sido tomada outra decisão, considerando a melhor entre as alternativas abandonadas.

Segundo Jorge (2016), o custo de oportunidade representa, portanto, o valor de um recurso em seu melhor uso alternativo. Em outras palavras, significa o custo da escolha de uma alternativa, e não de outra capaz de gerar um benefício maior. Assim, o custo de oportunidade é o custo da melhor oportunidade que foi deixada de lado ao se realizar uma determinada escolha.

## **2.2 Automação Industrial**

De acordo com Castrignano *et al.* (2024), a evolução da indústria produtiva ficou marcada recentemente por este advento da Indústria 4.0, onde processo produtivo entrou em uma nova era, marcada pela digitalização e pela integração de tecnologias avançadas. Como principais resultados, evidencia-se que a automação promove aumento da eficiência operacional, impulsiona a inovação e gera novas oportunidades produtivas, além de apresentar forte potencial para a redução de custos.

Ademais, a automatização e a robotização de processos produtivos representam uma tendência crescente na indústria contemporânea, impulsionada pelo avanço tecnológico e pela busca por maior eficiência e produtividade (Motta *et al.*, 2019). A automatização refere-se à introdução de sistemas automáticos que executam tarefas anteriormente realizadas por seres

humanos, enquanto a robotização envolve o uso de robôs e sistemas robóticos para realizar atividades específicas dentro do processo produtivo (Santoni, Lucato, 2021).

Essencialmente, o processo de automação na Indústria 4.0 transforma a fábrica em um sistema inteligente e autônomo, onde os sistemas se comunicam e se ajustam para garantir maior eficiência, reduzir erros e, consequentemente, diminuir custos.

Segundo Ruy (2017), a automação industrial está ligada à adoção de tecnologias ciberfísicas, Internet das Coisas (IoT) e sistemas de controle avançados, que permitem a integração entre máquinas, produtos e operadores em tempo real.

Essa interconectividade possibilita a coleta e análise de grandes volumes de dados, otimizando o processo de tomada de decisão e promovendo a manutenção preditiva. Além disso, a automação não apenas aumenta a eficiência produtiva, mas também melhora a segurança do ambiente de trabalho ao reduzir a exposição humana a tarefas repetitivas e perigosas.

A transição para os paradigmas da Indústria 4.0, caracterizada pela implementação de sistemas automatizados e Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS), acarreta a necessidade de transformação do papel do colaborador, exigindo, por sua vez, o desenvolvimento de novas especialidades e competências (Ruy, 2017).

### **2.3 Automação no setor de bebidas**

Antes da implementação de uma automação, como uma máquina em uma linha de produção, é necessário a análise de viabilidade técnica e econômica do projeto de investimento para indústria de bebidas. De fato, a análise de projetos industriais tem como objetivo fornecer informações técnicas e econômicas que auxiliem o tomador de decisão na escolha da melhor alternativa de investimento.

Segundo Venturini Filho (2022), essa avaliação baseia-se em princípios econômicos que permitem comparar diferentes cenários e verificar a viabilidade do projeto, considerando fatores como rentabilidade, riscos e capacidade de geração de lucros.

No contexto do setor de bebidas, a automação tem se mostrado uma estratégia essencial para aumentar a produtividade, reduzir custos e padronizar a qualidade dos produtos. Processos tradicionalmente manuais, como o envase, rotulagem, e aplicação de alças em garrafas de grande volume, apresentam elevado consumo de mão de obra e riscos ergonômicos associados.

A introdução de sistemas automáticos permite maior controle sobre o ritmo produtivo, redução de retrabalhos e perdas, e otimização do uso de recursos humanos e materiais (Pereira, Ferrarezi Jr., 2023).

Segundo Caldas (2020), a automação de linhas de envase e embalagem em indústrias de bebidas permite ganhos significativos em eficiência global do equipamento (OEE), principalmente pela redução de tempos de parada e pelo aumento da confiabilidade operacional.

## 2.4 Análise Crítica de Processos Manuais e Gargalos

De acordo com Ciupka *et al.* (2011), um gargalo é definido como uma restrição que limita a capacidade produtiva total de uma fábrica. À luz da Teoria das Restrições (TOC), proposta por Goldratt (1997), caso o setor de aplicação manual de alças apresente menor capacidade produtiva em relação às etapas adjacentes, como envase e paletização, ele se caracteriza como o ponto de menor desempenho do sistema. Essa limitação, típica de operações manuais em ritmo industrial, define o *throughput* (vazão) máximo da linha de produção.

A natureza manual desse processo introduz uma instabilidade crítica no ritmo produtivo. Enquanto o desempenho de um gargalo automatizado tende a ser previsível, o gargalo manual está sujeito à influência de fatores humanos, como a presença de mão de obra pouco qualificada ou, em contrapartida, de operadores desmotivados em virtude da natureza repetitiva e subvalorizada da tarefa (Dias, 2019).

Essa variabilidade humana inviabiliza a padronização ideal do tempo de ciclo, tornando o gargalo manual dinâmico e de difícil previsão. Como consequência, ocorrem perturbações no fluxo produtivo, aumento do *lead time* e redução da competitividade em mercados que exigem alta velocidade e previsibilidade (Ciupka *et al.*, 2011).

Em termos técnicos, a variabilidade no tempo de ciclo é um dos principais impactos negativos dos processos manuais. Enquanto estações automatizadas operam de forma reprodutível e estável, estações manuais apresentam oscilações significativas devido a fatores humanos.

Boyle e Scherrer (2009) destacam que a automatização reduz incertezas no fluxo produtivo, elimina erros de processo e compensa a falta de experiência dos operadores, promovendo maior regularidade operacional.

Outro aspecto relevante são os erros e retrabalhos associados ao trabalho manual. Caputo e Pelagagge (2003) demonstraram que a automação de etapas manuais, como polimento e testes, anteriormente identificadas como gargalos, reduziu significativamente o tempo de ciclo e a incidência de defeitos.

Em síntese, sistemas automatizados operam com menor variabilidade e menor propensão a falhas em comparação ao trabalho humano, resultando em ganhos de eficiência e previsibilidade no processo produtivo.

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A metodologia adotada neste estudo caracteriza-se como pesquisa aplicada, com abordagem mista (qualitativa e quantitativa) de natureza descritiva e experimental. O objetivo central é analisar o processo produtivo de uma empresa de bebidas, especificamente na etapa de aplicação de alças em garrafas PET de 5 litros, propondo a implantação de uma máquina aplicadora linear de alças como solução automatizada para o gargalo produtivo identificado.

O estudo visa verificar a viabilidade técnica e econômica dessa modernização, bem como avaliar seus impactos sobre a eficiência operacional, o custo de produção e a produtividade da linha de envase.

#### **3.1. Pesquisa Aplicada**

O presente trabalho aborda a necessidade de modernização do processo produtivo de uma empresa de bebidas, especificamente na etapa de aplicação de alças em garrafas PET de 5 litros, que, ao ser executada de forma manual, gera elevados custos operacionais e limita a eficiência da linha de envase.

A solução proposta, a aquisição de uma máquina aplicadora de alças, justifica-se por uma dupla relevância. Praticamente, esta automação é importante para a competitividade, pois irá sanar o gargalo produtivo, promovendo uma redução de gastos com mão de obra, aumento na agilidade e capacidade produtiva, e a garantia de um padrão de qualidade superior na fixação das alças, que garante a segurança ergonômica do consumidor.

Cientificamente, o projeto se alinha aos princípios da Indústria 4.0 e da Otimização de Processos, oferecendo um estudo de caso sobre o impacto da tecnologia na eficiência e sustentabilidade do setor de embalagens PET, e a aplicação prática de modelos de automação para maximizar o retorno sobre o investimento e a integração sistêmica na manufatura.

#### **3.2. Pesquisa Documental**

Realizou-se a coleta e análise de documentos técnicos e comerciais fornecidos por fabricantes de máquinas aplicadoras de alças, observando características, descrição e catálogos sobre este equipamento. Essas informações subsidiaram a modelagem do sistema e a análise de viabilidade técnica e financeira.

Sendo assim, para a análise de viabilidade e comparativo de mercado, foi investigada a máquina Aplicadora de Alças em Gargalo modelo SIA 3000, um equipamento de automação industrial desenvolvido pela empresa AND & OR (2025). Este equipamento insere-se no portfólio de soluções de embalagem da fabricante, que se especializa em máquinas para a manipulação de garrafas PET.



O modelo SIA 3000 é classificado como uma colocadora de alças automática e linear com movimento contínuo, o que a distingue de modelos de baixa capacidade que utilizam sistemas intermitentes (*pick-and-place*). A função primordial da SIA 3000 é realizar a orientação e inserção de cabos de polietileno (PE) diretamente no gargalo das garrafas PET.

O equipamento é notavelmente flexível em relação ao volume do produto, sendo capaz de processar garrafas que variam de 2 a 20 litros, atendendo assim a uma ampla gama de produtos dentro das indústrias de bebidas (água, refrigerantes) e óleo comestível.

Em termos de integração de linha, o design da SIA 3000 permite que ela seja instalada de maneira estratégica em diversos pontos do processo de produção. Por exemplo, primeiro após o soprador, para aplicação de alças em garrafas PET vazias, comum na indústria de pré-formas e moldagem por sopro. E segundo, após o enchimento, sobre um transportador existente e após o sistema de nivelamento, para aplicação de alças em garrafas cheias, garantindo que o recipiente esteja finalizado antes da etapa de paletização ou empacotamento.

O seu princípio de operação em movimento contínuo é projetado para garantir a alta velocidade e a estabilidade da aplicação, sendo crucial para linhas de produção que buscam maximizar o *throughput* (vazão). O número do modelo 3000, indica uma capacidade nominal de produção de até 3.000 garrafas por hora (BPH).

O SIA 3000 é um equipamento destinado principalmente aos segmentos da Indústria de Moldagem por Sopro (aplicação em garrafas vazias), Indústria de Engarrafamento e de Bebida, e Indústria de Embalagens que requerem manuseio e transporte facilitado (garrafões de grande volume).

O uso deste tipo de equipamento atende à necessidade do mercado por automação, garantindo consistência, qualidade na embalagem final e reduzindo os custos operacionais associados à mão de obra para a colocação manual de alças.

### 3.3. Procedimento experimental

O procedimento experimental consistiu na modelagem, análise e comparação dos processos produtivos da linha de envase de garrafas PET de 5 litros antes e depois da automação da etapa de aplicação de alças. Essa etapa experimental teve como finalidade validar, por meio de artefatos técnicos e simulação, os benefícios esperados da introdução da máquina aplicadora de alças em substituição ao processo manual.

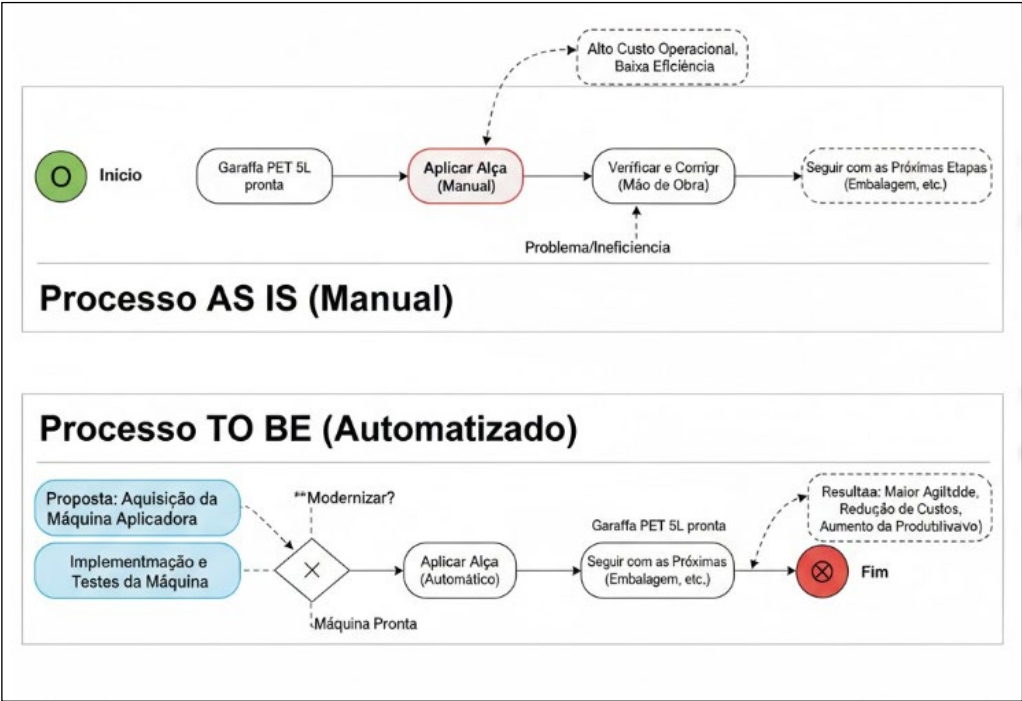
Inicialmente, foi utilizada a ferramenta de modelagem BPMN (*Business Process Model and Notation*), conforme Figura 1, para representar o processo atual (*AS IS*) e o processo proposto (*TO BE*).



O modelo “AS IS” descreve a sequência operacional em que a aplicação das alças é realizada manualmente, evidenciando o gargalo produtivo, o alto custo operacional e a baixa eficiência.

Já o modelo “TO BE” apresenta o fluxo otimizado após a modernização, com a inclusão da máquina aplicadora automatizada, que substitui o trabalho manual e permite maior produtividade, padronização e segurança.

Figura 1 - Ferramenta de Modelagem BPMN

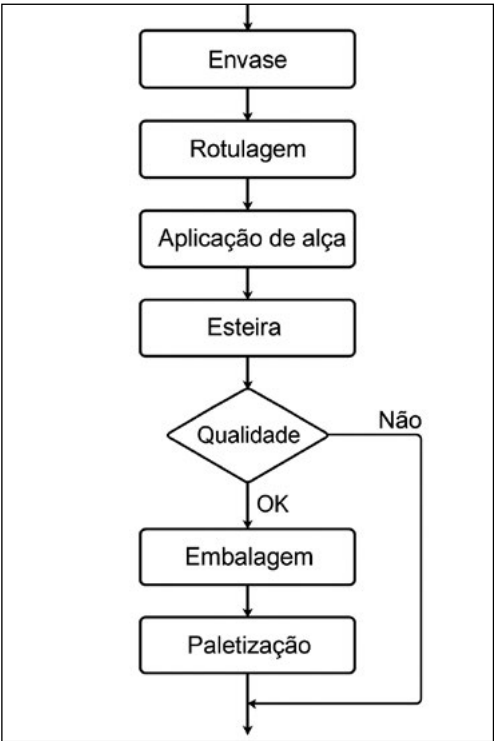


Fonte: Dos autores (2025).

Em seguida, elaborou-se um diagrama de blocos do processo, conforme observado na Figura 2, representando graficamente o fluxo completo da linha de envase, desde a sopradora até a paletização.

O diagrama inclui as operações de rotulagem, aplicação de alças, verificação de qualidade, embalagem e paletização, permitindo visualizar a integração da nova máquina ao layout produtivo. A representação gráfica utilizou blocos retangulares para as operações e losangos para decisões, assegurando clareza e coerência técnica no mapeamento do fluxo.

Figura 2 - Diagrama de blocos do processo



Fonte: Dos autores (2025).

A partir desses modelos, foram identificados os principais pontos de intervenção, as interfaces entre as etapas produtivas e os potenciais ganhos de eficiência associados à automação. Essa análise serviu como base experimental para a avaliação da viabilidade técnica e econômica da proposta, possibilitando compreender como a automação reduziria o tempo de ciclo, o consumo de mão de obra e o custo operacional, além de aumentar a capacidade produtiva da linha.

Assim, o procedimento experimental estabeleceu as bases empíricas e gráficas para demonstrar, de forma sistemática, o impacto positivo da automação na eliminação do gargalo produtivo e na modernização do sistema de envase, conforme os princípios da Indústria 4.0.

### 3.4 Viabilidade econômica

A viabilidade técnica e econômica foi avaliada por meio de uma análise de investimento, com o objetivo de determinar a exequibilidade da substituição da operação manual de aplicação de alças por uma máquina automática modelo SIA 3000.

Na análise técnica, foram verificados os requisitos operacionais e estruturais necessários à implantação do equipamento, considerando compatibilidade com o layout da linha de envase, disponibilidade de espaço físico, integração com os sistemas existentes e atendimento às normas de segurança e manutenção. Também foram avaliados o consumo energético, a capacidade nominal de produção (3.000 garrafas PET de 5 L por hora) e a necessidade de treinamento para operação. Esses critérios permitiram confirmar a viabilidade técnica de inserção da automação no processo produtivo.

Na análise econômica, foi realizada a projeção do investimento inicial e a simulação do financiamento via BNDES/FINAME, utilizando o Sistema Price. Os cálculos consideraram um valor presente (PV) de R\$ 385.000,00, prazo de 60 meses, taxa de juros de 8% a.a. e carência de 6 meses. O investimento total abrangeu o custo do equipamento e a mão de obra de instalação elétrica e mecânica. Para garantir transparência metodológica, foi explicitada a vida útil econômica adotada para o equipamento (10 anos), compatível com a taxa de depreciação de 10% ao ano utilizada em bens industriais.

Também foram definidos os parâmetros econômicos considerados nas projeções: inclusão ou não de impostos sobre investimentos e receitas, eventual consideração de inflação, reajustes salariais, variação de tarifas de energia e demais encargos operacionais. A estrutura do fluxo de caixa anual foi detalhada de forma segregada, contemplando economias geradas pela redução de mão de obra direta, custos de manutenção preventiva e corretiva, consumo energético estimado, despesas operacionais associadas e possíveis ganhos de produtividade. Essa organização permitiu avaliar o comportamento do projeto ano a ano.

Para mensurar o retorno financeiro, foram aplicados indicadores clássicos de análise de investimentos: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback* Descontado e Índice de Lucratividade (IL). A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada foi de 5% a.a., alinhada a referências de custo de oportunidade para investimentos industriais de baixo risco.

Com base nessa metodologia, concluiu-se que a proposta de automação apresenta viabilidade técnica e potencial de sustentabilidade econômica, com expectativa de ganhos relacionados à produtividade, padronização do processo e alinhamento às práticas de automação e digitalização características da Indústria 4.0.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise comparativa entre o processo manual (cenário *AS IS*) e o processo automatizado (cenário *TO BE*) demonstrou ganhos expressivos em eficiência, padronização e redução de custos operacionais.

A Tabela 1 sintetiza os principais parâmetros avaliados, considerando o tempo de ciclo, capacidade produtiva (BPH), disponibilidade operacional, índice de qualidade, número de operadores e consumo energético.

Tabela 1 – Comparativo entre os cenários AS IS e TO BE

Parâmetro	Cenário Manual (AS IS)	Cenário Automatizado (TO BE)
Tempo de ciclo (s)	10,5	1,2
Capacidade produtiva (garrafas/h)	1500	3000
Disponibilidade operacional (%)	85	95
Índice de defeitos (%)	3,2	0,5
Operadores necessários	2	0 (supervisão eventual)
Consumo de energia (kWh/mês)	80	110

Fonte: Dos autores (2025).

Os resultados evidenciam que a automação elimina o gargalo produtivo da linha de envase, elevando a vazão de 1500 para 3000 garrafas por hora, dobrando a capacidade produtiva. Essa elevação da eficiência está diretamente relacionada à operação contínua da máquina SIA 3000, que garante ritmo constante e reduz variações associadas ao fator humano, conforme discutido por Caldas (2020).

O índice de qualidade também apresentou melhora significativa, com redução de defeitos de 3,2% para 0,5%. Essa padronização resulta da precisão mecânica e controle automatizado de torque na fixação das alças, eliminando falhas comuns no manuseio manual, como encaixes incorretos e deformações no gargalo das garrafas. Tais achados confirmam as observações de Caputo e Pelagagge (2003), segundo os quais a substituição de etapas críticas manuais por sistemas automatizados reduz variações e retrabalhos.

Em relação à eficiência global do equipamento (OEE), a análise revelou aumento de aproximadamente 14% no cenário manual para o automatizado. O ganho decorre tanto da maior disponibilidade quanto da consistência no desempenho operacional, permitindo reduzir o *lead time* e aumentar o *throughput* diário sem a necessidade de horas extras.

Do ponto de vista técnico, a automação também contribui para a melhoria ergonômica e a segurança do trabalho, reduzindo a exposição dos operadores a movimentos repetitivos e esforços físicos contínuos, conforme defendido por Santos Júnior (2019).

Enfim, os resultados acima justificam a escolha do Sistema Linear Alternativo (SIA 3000), baseado nos seguintes critérios: velocidade adequada para o volume de produção alvo neste caso médio, custo-benefício que se mostra inferior aos sistemas rotativos e contínuos de alta velocidade, e a simplicidade/manutenção do sistema *start-stop*.

O fluxo de caixa projetado considerou um horizonte de 10 anos, incorporando custos operacionais, depreciação e manutenção. A comparação entre o cenário atual (operação manual com dois funcionários) e o cenário automatizado demonstrou uma economia anual de R\$26.000,00, proveniente da redução de despesas com mão de obra.

Então, a análise comparativa dos custos operacionais fundamenta a decisão da automação. Onde os custos operacionais comparam a situação atual da linha de produção (com 2 funcionários dedicados à aplicação de alças) com o cenário após a automação (operação da máquina).

Para estabelecer a base de comparação, o Custo da Operação Atual (Cenário Manual) foi calculado considerando a manutenção da linha de produção com dois funcionários dedicados à aplicação de alças. O custo mensal da mão de obra, que engloba salários e encargos sociais, totalizou R\$ 6.000,00.

Essa base mensal foi então projetada anualmente, resultando no custo operacional anual atual de R\$72.000,00. Este valor representa o gasto anual total (DRE) com pessoal, incluindo todos os encargos diretos como salários, encargos sociais, FGTS, INSS, uniformes e Equipamentos de Proteção Individual (EPIs).

No Cenário Pós-Automação, com a substituição da mão de obra humana pela máquina, o foco dos custos operacionais anuais diretos migrou para os elementos inerentes ao equipamento. O Custo Anual da Máquina foi composto por dois principais fatores: a Depreciação Anual e os Gastos com Manutenção.

A Depreciação Anual, calculada a uma taxa de 10%, totalizou R\$35.000,00. Por sua vez, os Gastos com Manutenção, parametrizados em 3%, somaram R\$11.000,00. A somatória desses componentes estabeleceu o custo operacional total do cenário automatizado em R\$ 46.000,00 anuais.

Conforme Equação 1, é possível observar a Economia de Custo, a qual foi determinada pela diferença entre o Custo Operacional Anual Atual e o Custo Operacional Anual do Cenário Pós-Automação.

$$\text{Economia anual} = \text{Custo atual anual} - \text{Custo máquina Anual} \quad (1)$$

Aplicando os valores apurados, a diferença entre o Custo Atual (R\$72.000,00) e o Custo da Máquina (R\$46.000,00) revelou que o projeto de automação gera uma economia anual de custos operacionais de R\$ 26.000,00. Este resultado quantifica o benefício financeiro direto da implementação da máquina, servindo como métrica fundamental para a análise de viabilidade do projeto.

Os resultados obtidos indicaram VPL de R\$ 453.000,00, TIR de 28%, Índice de Lucratividade de 2,28 e *Payback* Descontado de aproximadamente 4,2 anos, confirmando que o projeto é economicamente viável e apresenta retorno financeiro atrativo dentro do ciclo de vida estimado do equipamento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram que a automação da etapa de aplicação de alças em garrafas PET de 5 litros representa uma solução tecnicamente sólida e economicamente vantajosa para a empresa analisada.

O estudo evidenciou que o processo manual configura um gargalo significativo na linha de envase, limitando a capacidade produtiva, elevando custos operacionais e introduzindo variabilidade decorrente de fatores humanos.

A substituição dessa etapa pela máquina aplicadora SIA 3000 elimina essas restrições ao proporcionar operação contínua, padronização da qualidade e aumento expressivo da produtividade.

A comparação entre os cenários AS IS e TO BE confirmou reduções relevantes no tempo de ciclo, duplicação da vazão produtiva e queda acentuada no índice de defeitos, alinhando-se ao que a literatura descreve sobre os benefícios da automação em processos repetitivos e críticos em linhas de embalagem. Além disso, a modernização contribui para melhorias ergonômicas e de segurança, reduzindo a exposição dos operadores a atividades repetitivas e de baixo valor agregado.

Do ponto de vista econômico, os indicadores de investimento, VPL positivo, TIR superior à taxa mínima de atratividade, Índice de Lucratividade favorável e *payback* descontado de aproximadamente 4,2 anos, confirmam a viabilidade financeira do projeto. A economia anual decorrente da eliminação da mão de obra dedicada reforça a atratividade da proposta dentro do horizonte de vida útil do equipamento.

Os resultados indicam que a adoção da automação não apenas soluciona o gargalo produtivo, mas também posiciona a empresa em conformidade com os princípios da Indústria 4.0, promovendo maior previsibilidade operacional, eficiência energética e integração tecnológica. Dessa forma, conclui-se que a implementação da máquina aplicadora de alças constitui uma estratégia consistente para elevar o desempenho global da linha de envase, contribuindo para a competitividade e sustentabilidade do processo produtivo no longo prazo.

## REFERÊNCIAS

AND & OR. **Machines for bottling & packaging industries**, 2025. DirectIndustry, s.d. Disponível em: <https://pdf.directindustry.com/pt/viewerCatalog-en/and/or/machines-bottling-packaging-industries/94429-916945.html>. Acesso em: 18 nov. 2025.

BOYLE, T. A.; SCHERRER, M. R. An empirical examination practices of the best manufacturing flexibility. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.17, n.1, p. 6-21, 2009.

CALDAS, Luísa Nunes. **Automatização de uma Linha de Envase na Fabricação de Nutracêuticos: Uma Análise da Eficiência**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia 2020. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1150/1/TCC2%20LU%C3%8DSA%20NUNES%20CALDAS%20-%20VERS%C3%83O%20FINALx.pdf>. Acesso em: 13 out. 2025.

CASTRIGNANO, Larissa Umada; DE PAULA, Lázaro Dalmaso; SPAZIANI, Lennon Romaris Galante; PARAFATTI, Rafaella Borrelli; BALCIUNAS, Sabrina Vicente. Impacto da automação na redução de custos de produção. **Revista FT**, v. 29, ed. 140, nov. 2024. DOI: 10.69849/revistaft/cl10202411131120. Disponível em: <https://revistaft.com.br/impacto-da-automacao-na-reducao-de-custos-de-producao/>. Acesso em: 8 set. 2025.

CAPUTO, A. C; PELEGAGGE, P. M. Manufacturing reengineering in tubular radiator production plant. **Integrated Manufacturing**, v.14, n.2, p. 95-102, 2003.

CIUPKA, Pedro Henrique; JACCOUD, Carlos Felipe Teixeira; FONTES, Thauan Fellipe Carvalho. **A interferência dos gargalos de produção, suas causas, consequências e métodos para reduzir seus efeitos**. In: I Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, PR, 30 nov. a 02 dez. 2011. Ponta Grossa: Conbreprou, 2011. Disponível em: <https://anteriores.aprepro.org.br/conbreprou/2011/anais/artigos/Gestao%20da%20producao/Planejamento%20e%20controle%20da%20producao/A906.pdf>. Acesso em: 12 out. 2025.

GOLDRATT, Eliyahu M. e Cox, JEFF. **A Meta**, São Paulo: Educator Editora, 1997.

JORGE, Roberto Kupper (org.). **Gestão de custos, riscos e perdas**. São Paulo: Pearson, 2016. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 13 out 2025.

MOTTA, Eduarda; ALVES, Érica Alves; FLESCHE, Raquel; SABOIA, Juliana. Tecnologia exponencial na automatização de processos. **Anais da Mostra de Iniciação Científica do Cesuca-ISSN 2317-5915**, n. 13, p. 465-466, 2019. Disponível em: <http://ojs.cesuca.edu.br/index.php/mostrac/article/view/1716>. Acesso em: 13 out 2025.

PEREIRA, Isabela Pires; FERRAREZI JUNIOR, Edemar. A importância da automatização no sistema de envase. **Interface Tecnológica**, v. 20, n. 2, p. 896-906, 2023. DOI: 10.31510/inf.v20i2.1764. Acesso em: 08 out. 2025.



RIBEIRO, Jean Carlos Silva. **Impactos causados pela automação no mercado de trabalho de João Pessoa – Paraíba**. Trabalho de Conclusão de Curso, Gestão Administrativa Financeira. João Pessoa: Instituto Federal da Paraíba, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/3984/1/Jean%20Carlos%20Silva%20Ribeiro%20-%20%20Impactos%20causados%20pela%20automa%20a7%20a3o%20no%20mercado%20de%20trabalho%20de%20Jo%20a3o%20Pessoa%20-%20Para%20adba.pdf>. Acesso em: 09 out. 2025.

RUY, Guilherme Ravazi. **A tomada de decisão baseada em dados na Indústria 4.0: revisão sistemática**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: [https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/83304f67-0e4c-4107-81ee-009cf01ee8c9/Ruy\\_Guilherme\\_Ravazi\\_TCC.pdf](https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/83304f67-0e4c-4107-81ee-009cf01ee8c9/Ruy_Guilherme_Ravazi_TCC.pdf). Acesso em: 13 out. 2025.

SACOMANO, José B.; GONÇALVES, Rodrigo F.; BONILLA, Sílvia H. **Indústria 4.0 : conceitos e fundamentos**. São Paulo: Editora Blucher, 2018. E-book. p.1. ISBN 9788521213710. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521213710/>. Acesso em: 13 out. 2025.

SANTONI, Fabiano; LUCATO, André Vicente Ricco. **Robótica Colaborativa: A Utilização de Robôs nos Processos Produtivos. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 1, n. 1, p. e210914-e210914, 2021. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/914>. Acesso em: 13 out 2025.

DIAS, Adryelle Sampaio. **Análise dos gargalos em um processo produtivo: estudo de caso na empresa ODS Inox - Monografia Bacharelado em Administração**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2019. Disponível em: [https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/12401/2/Adryelle\\_Sampaio\\_Dias.pdf](https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/12401/2/Adryelle_Sampaio_Dias.pdf). Acesso em: 12 out. 2025.

SANTOS JÚNIOR, Olímpio Barbosa dos. **Automação do ponto de final de produção de uma enchedora industrial**. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia de Controle e Automação. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/29859/8/AutomacaoPontoFinal.pdf>. Acesso em: 09 out. 2025.

SOUZA, Victor Henrique Martins de. **Proposição de modelo de análise de investimento tecnológico para implementação dos conceitos da Indústria 4.0: investir em novos equipamentos ou retrofit?** 2022. 117 f. Dissertação Mestrado em Engenharia de Produção – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://bibliotecatede.uninove.br/bitstream/tede/3212/2/Victor%20Henrique%20Martins%20de%20Souza.pdf>. Acesso em: 11 set 2025.

VENTURINI FILHO, Waldemar Gastoni. **Indústria de bebidas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2022. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 13 out 2025.

VOLPATO, Maricilia. **Desenvolvimento em ciência, tecnologia e inovação: CT&I**. 1. ed. São Paulo: Contentus, 2020. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 13 out 2025.