

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

RAFAEL LEVI LUDKE

PRÉ-PROCESSAMENTO DO CACAU:
proposta de aumento do nível de automação

Caçador - SC

2025

RAFAEL LEVI LUDKE

PRÉ-PROCESSAMENTO DO CACAU:
proposta de aumento do nível de automação

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Produção do Câmpus Caçador do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de bacharelado em Engenharia de Produção.

Orientador: Gabriel
Hermann Negri

Caçador - SC
2025

L944p Ludke, Rafael Levi.
Pré-processamento do cacau : proposta de aumento do nível de automação / Rafael Levi Ludke ; orientador: Gabriel Hermann Negri. -- 2025.
68 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Caçador, 2025.
Inclui bibliografias.

1. Automação industrial. 2. Processamento de cacau. 3. Simulação de processos. I. Negri, Gabriel Hermann. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Graduação em Engenharia de Produção. IV. Título.

CDD 629.892

RAFAEL LEVI LUDKE

PRÉ-PROCESSAMENTO DO CACAU

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em bacharelado, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Caçador, 11 de dezembro de 2025.

Prof. Gabriel Hermann Negri, Dr.

Orientador

Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Caçador

Prof. Vinicius Amaro da Silveira Arpino, Me.

Coorientador

Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Caçador

Prof. Mateus Müller Franco, Me.

Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Caçador

Prof. Sebastiam Johann Batista Perini, Me.

Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Caçador

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que tornaram a minha formação intelectual possível e contribuíram para que eu trilhasse esse caminho.

Aos professores, que me ensinaram e me orientaram no curso e na realização desse trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de melhoria voltada ao aumento do nível de automação no processo de pré-processamento e armazenagem de cacau em um centro logístico localizado no interior do estado do Pará. O estudo teve como objetivo analisar o processo manual atualmente realizado, identificar suas principais limitações operacionais e, a partir disso, propor um novo arranjo produtivo capaz de elevar a eficiência, a padronização e a segurança das operações. A pesquisa adotou uma abordagem quali-quantitativa, combinando observação direta em campo, levantamento de dados, dimensionamento de equipamentos e simulação computacional no software Arena®. A análise do processo existente demonstrou que as atividades realizadas são majoritariamente manuais, exigem esforço físico elevado dos colaboradores e apresentam baixa padronização na qualidade das sacarias e higiene do produto recebido. Como consequência, observam-se formação de filas, rupturas de embalagens, impurezas misturadas às amêndoas e riscos ergonômicos significativos. Com base nessas evidências, foi desenvolvido um novo layout de processo contendo plataforma ajustável de descarga, esteiras transportadoras, máquina de pré-limpeza, ensacadeira digital e sistema automático de costura, todos integrados por meio de um Controlador Lógico Programável (CLP). Essa integração possibilitou a comunicação entre etapas, a interrupção automática em situações específicas, o monitoramento operacional e a criação de um fluxo contínuo de processamento. A simulação permitiu analisar o comportamento do sistema no cenário atual e em um cenário futuro, ambos sob condições de alta demanda e identificar, quantitativamente, os pontos de restrição da linha. Os resultados mostraram que a etapa de descarga é o principal gargalo, operando com uma utilização mais elevada - 82% no estado atual e 72,8% no estado futuro - enquanto as demais etapas permanecem subutilizadas. O tempo médio total de processamento da planta atual foi de 21 minutos e aproximadamente 19 minutos na planta proposta levando em conta lote de 10 sacos. Os resultados qualitativos e quantitativos comprovam que a automação parcial da planta é viável e capaz de trazer melhorias relevantes na eficiência, padronização e segurança do processo. Assim, o estudo contribui para o desenvolvimento de soluções aplicadas ao setor de pós-colheita do cacau e demonstra o potencial da automação industrial combinada com simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Palavras-Chave: Automação industrial; Processamento de Cacau; Simulação de processos.

ABSTRACT

This study presents a proposal for improvement aimed at increasing the level of automation in the pre-processing and storage of cocoa at a logistics center located in the inland region of the state of Pará, Brazil. The objective of the study was to analyze the currently manual process, identify its main operational limitations, and, based on this analysis, propose a new production layout capable of improving operational efficiency, standardization, and safety. The research adopted a qualitative–quantitative approach, combining on-site observation, data collection, equipment sizing, and computer simulation using the Arena® software. The analysis of the existing process showed that the activities are predominantly manual, require high physical effort from workers, and exhibit low standardization in terms of bag quality and hygiene of the received product. As a result, the process presents queue formation, packaging ruptures, impurities mixed with cocoa beans, and significant ergonomic risks. Based on these findings, a new process layout was developed, incorporating an adjustable unloading platform, conveyor belts, a pre-cleaning machine, a digital bagging machine, and an automatic sewing system, all integrated through a Programmable Logic Controller (PLC). This integration enabled communication between process stages, automatic shutdown in specific situations, operational monitoring, and the establishment of a continuous processing flow. Simulation was used to analyze the system behavior in both the current and proposed scenarios under high-demand conditions and to quantitatively identify bottlenecks in the production line. The results indicated that the unloading stage is the main bottleneck, operating at higher utilization levels—82% in the current scenario and 72.8% in the proposed scenario—while the other stages remain underutilized. The average total processing time was 21 minutes for the current plant and approximately 19 minutes for the proposed plant, considering a batch of 10 bags. The qualitative and quantitative results demonstrate that partial automation of the plant is feasible and capable of delivering significant improvements in efficiency, standardization, and process safety. Therefore, this study contributes to the development of applied solutions for the cocoa post-harvest sector and highlights the potential of industrial automation combined with simulation as a decision-support tool.

Keywords: Industrial automation; Cocoa processing; Process simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cadeia produtiva do cacau.....	13
Figura 2 – Equipamentos para o manuseio de grãos	16
Figura 3 – Equipamentos de manuseio de sacarias	17
Figura 4 - Controlador Lógico Programável PLC500	19
Figura 5 – Sensores comumente usados na indústria	19
Figura 6 – Atuadores pneumáticos	20
Figura 7 – Válvulas pneumáticas	20
Figura 8 – Motores elétricos trifásicos	21
Figura 9 - WEG <i>Ladder Programmer</i> (WLP)	23
Figura 10 - Etapas de manuseio do cacau	29
Figura 11 - Panorama do armazém e processo de estocagem	31
Figura 12 – Manuseio de sacos de cacau	31
Figura 13 - Distribuição da produção de cacau ao longo do ano	32
Figura 14 – Proposta de uma nova linha produtiva para o manuseio de cacau	34
Figura 15 – Plataforma ajustável de carga e descarga	35
Figura 16 – Equipamentos utilizados nas etapas 2 e 3	36
Figura 17 – Equipamentos de costura e envasamento de sacarias.....	38
Figura 18 - Proposta de <i>layout</i> com a nova linha de beneficiamento do cacau	40
Figura 19 – Ilustração do processo a ser controlado pelo CLP	42
Figura 20 – Diagrama de blocos do estado atual do processo	44
Figura 21 – Diagrama de Blocos da proposta de melhoria.....	46
Figura 22 – Histogramas referentes a simulação do estado atual	63
Figura 23 – Histogramas referentes a chegadas, descarga e pesagem	64
Figura 24 – Histogramas referentes a Pré-limpeza e Reensacagem/costura	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Equipamentos por etapa e capacidade	39
Tabela 2 – Informações para configurar a simulação	44
Tabela 3 - Tipos de distribuição e Expressões correspondentes	44
Tabela 4 – Variáveis de tempos do processo atual	45
Tabela 5 – Tempos de fila entre etapas e utilização do processo atual	45
Tabela 6 – Tipos de distribuição e Expressões correspondentes	46
Tabela 7 - Variáveis de tempos do processo futuro	46
Tabela 8 - Tempos de fila entre etapas e utilização do processo futuro	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Justificativa	12
1.2. Objetivos	12
1.2.1. Objetivo geral	12
1.2.2. Objetivos específicos	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. Cadeia produtiva do cacau (pré-processamento e processamento)	13
2.2. Produção anual e sazonalidade da oferta de cacau	14
2.3. Pré-processamento do cacau em centros logísticos	15
2.4. Automação em plantas industriais	18
2.5. Controlador Lógico Programável (CLP)	22
2.6. Modelagem matemática	24
2.7. Simulação Computacional	24
2.8. Melhoria de processos e tecnologias de automação	26
3. METODOLOGIA	27
3.1. Metodologia adotada para o presente trabalho	27
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	29
4.1. Planta de pré-processamento do cacau da empresa em questão	29
4.2. Proposta de planta produtiva semiautomática	33
4.3. Proposta de integração dos equipamentos utilizando controlador “mestre”	41
4.4. Simulação do processo no <i>software</i> Arena®	42
5. CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE A – Amostras de tempo usadas na simulação do <i>Software</i> Arena®	60
APÊNDICE B – Histogramas gerados pelo <i>Input analyzer</i>	63

1. INTRODUÇÃO

O sistema de armazenamento de grãos é um elo essencial na cadeia produtiva agrícola, pois garante a conservação e a manutenção da qualidade dos produtos após a colheita. O processo envolve diversas etapas interligadas como o recebimento, limpeza, secagem, movimentação e estocagem e todas dependem de tecnologias adequadas e equipamentos específicos. Os equipamentos utilizados nas unidades armazenadoras de grãos são fundamentais para garantir a qualidade e a conservação dos produtos agrícolas. O uso adequado desses recursos permite reduzir impurezas, controlar a umidade, evitar o desenvolvimento de pragas e microrganismos, assegurar a integridade dos grãos e diminuir as perdas pós-colheita (Santos e Carvalho, 2025).

Nesse contexto, o armazenamento de cereais e grãos exige cuidados fundamentais para evitar uma série de problemas, sendo determinante para a conservação do produto. As sementes devem ser colhidas no momento certo, secas preferencialmente à sombra e armazenadas em locais ventilados, secos e protegidos contra insetos, roedores e umidade. Além disso, destaca-se a importância de evitar danos mecânicos durante a colheita e o transporte, de controlar a temperatura e a ventilação do ambiente, e de realizar inspeções periódicas para detectar infestações (Scheepens et al., 2011).

No caso do cacau, práticas inadequadas no armazenamento das amêndoas de cacau podem comprometer as características físicas e sensoriais do produto, como sabor, aroma e textura, influenciando diretamente o valor agregado do chocolate. Assim, o armazenamento deve ocorrer em condições controladas de temperatura, umidade e ventilação, prevenindo a deterioração e mantendo a integridade das amêndoas para garantir um produto de alta qualidade. Dessa forma, o armazenamento eficiente é parte fundamental do processo tecnológico e da gestão da qualidade na cadeia produtiva do cacau, contribuindo para a competitividade e a sustentabilidade do setor (Rezende et al., 2025).

Em sistemas produtivos que envolvem etapas manuais, a ocorrência de falhas tende a ser mais frequente em razão da elevada dependência da habilidade humana e da ausência de padronização. Nesse sentido, Coutinho et al. (2020) demonstram que as falhas recorrentes identificadas na produção de mangueiras de ar estavam diretamente relacionadas à execução manual da etapa de modelação que dependia exclusivamente da atuação dos operadores. A análise realizada evidenciou que a falta

de treinamento adequado da mão de obra foi a principal causa das falhas observadas. Tal constatação evidenciou a necessidade de adoção de práticas de melhoria contínua para minimizar falhas e perdas associadas a esse tipo de operação (Coutinho et al., 2020).

De forma semelhante o estudo de Silva et al. (2025), que analisou a substituição do corte manual pelo corte a laser em uma indústria de transformadores, constatou-se que o método manual era caracterizado por elevado tempo de produção, maior índice de desperdício de material, necessidade frequente de retrabalho e riscos ergonômicos aos trabalhadores. Essas limitações comprometiam a eficiência produtiva, a qualidade final das peças e a competitividade da empresa. Diante desse cenário, o artigo evidencia que a transição para tecnologias automatizadas, como o corte a laser CNC, surge como uma alternativa estratégica para superar as fragilidades dos processos manuais (Silva et al., 2025).

Diante disso, o avanço das soluções de engenharia é essencial para superar os desafios tecnológicos e operacionais presentes nas unidades de pós-colheita no Brasil. A automação de tarefas é uma importante ferramenta para aumentar a eficiência e a segurança dos processos, destacando-se o uso de sistemas supervisórios, automação de rotas, equipamentos automatizados para alimentação de fornalhas e sensores digitais para monitoramento de variáveis. Essas inovações permitem o controle remoto das operações, otimizam o consumo energético e reduzem a necessidade de mão de obra intensiva (Baal et al., 2024).

Assim, a automação industrial tem se mostrado uma estratégia essencial para o aumento da produtividade e a redução de perdas nos processos de produção. Por meio da aplicação de técnicas de programação em softwares específicos para controladores lógicos programáveis (CLP) e interfaces homem-máquina (IHM), é possível otimizar tarefas rotineiras e minimizar o desperdício de tempo e materiais. Neste contexto, a automação pode impactar diretamente na eficiência e rentabilidade de uma indústria (Freitas et al., 2020).

Tendo em vista as informações citadas, o presente trabalho toma como referência a seguinte problemática de pesquisa: como a aplicação de soluções de automação industrial no pré-processamento e na armazenagem de amêndoas de cacau pode contribuir para o aumento da eficiência operacional, da padronização do processo e da segurança, mantendo a qualidade do produto e reduzindo perdas?

1.1. Justificativa

A realização deste estudo justifica-se pelas limitações operacionais observadas na empresa foco, caracterizada pelo elevado uso de atividades manuais, baixa padronização das sacarias, esforço físico excessivo dos operadores e riscos à qualidade e à higiene do produto. Em períodos de safra, essas fragilidades tendem a se intensificar, resultando em gargalos operacionais, perdas de material e redução da eficiência logística. Diante desse cenário, a automação parcial do processo, aliada ao uso de simulação computacional, apresentam uma alternativa viável para avaliar cenários de melhoria e reduzir riscos antes da implementação física.

Assim, o trabalho contribui tanto para a organização estudada, ao propor soluções técnicas aplicáveis à sua realidade, quanto para o setor de pós-colheita do cacau, ao demonstrar o potencial da automação como ferramenta de aumento de eficiência, segurança e competitividade e contribuir para a melhoria contínua dos processos industriais, contribuindo para a inovação do setor.

1.2. Objetivos

Nesta seção, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.2.1. Objetivo geral

Apresentar uma proposta de melhoria que eleve o nível de automação de uma planta de pré-processamento e armazenagem de cacau.

1.2.2. Objetivos específicos

- Mapear o processo atual de pré-processamento do cacau em uma planta produtiva, identificando etapas que podem ser otimizadas por meio da automação.
- Dimensionar uma planta produtiva de pré-processamento de cacau com algum nível de automação que possa atender a demanda local.
- Desenvolver uma proposta de integração dos equipamentos utilizando um controlador lógico programável (CLP) como unidade central de comando.
- Avaliar os benefícios da instalação de uma planta semiautomática em comparação ao sistema manual existente.

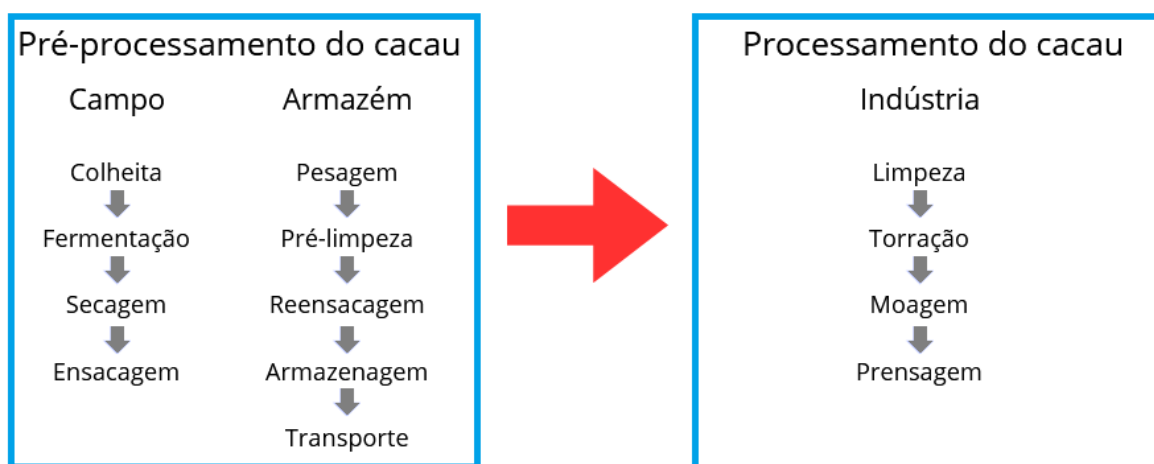
2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo está exposta a cadeia produtiva do cacau, os principais equipamentos utilizados no beneficiamento das amêndoas de cacau em armazém e os componentes e tecnologias para promover a automação deste processo.

2.1. Cadeia produtiva do cacau (pré-processamento e processamento)

A cadeia produtiva do cacau no Brasil, representada na Figura 1, abrange desde a colheita até a transformação industrial, envolvendo etapas de produção, armazenagem e beneficiamento. Após a colheita das amêndoas, que é realizada principalmente por pequenos produtores nos estados do Pará e Bahia, o cacau passa por processos de secagem e armazenamento para garantir a qualidade das amêndoas antes da comercialização. Grande parte da produção é enviada para a indústria processadora, concentrada na Bahia, onde as amêndoas são moídas para a obtenção de líquido, manteiga e pó de cacau, que servem de base para a fabricação de chocolates e outros alimentos (Vidal, 2024).

Figura 1 – Cadeia produtiva do cacau



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Atualmente o estado do Pará se destaca como maior produtor nacional de cacau, com cultivo distribuído principalmente nos municípios de Medicilândia, Uruará, Anapu, Brasil Novo, Placas, Altamira, Vitória do Xingu, Senador José Porfírio, Tucumã e Pacajá, regiões que apresentam diferentes características

climáticas favoráveis à cultura. O manejo do cacau na Amazônia é realizado majoritariamente por agricultores familiares em sistemas agroflorestais, com as etapas de fermentação e secagem das amêndoas sendo fundamentais para garantir qualidade e valor comercial (Silva e Souza, 2024).

O beneficiamento primário do cacau é composto principalmente pelas etapas de fermentação e secagem, fundamentais para garantir a qualidade da amêndoa. A fermentação, geralmente realizada em cochos, tem como objetivo eliminar a polpa e aprimorar o sabor e aroma do produto por meio de um processo alcoólico que dura de sete a oito dias, com revolvimento diário das amêndoas. Em seguida, ocorre a secagem, feita preferencialmente ao sol em barcaças ou em estufas, assegurando a conservação e o preparo adequado para a comercialização (Sena, 2011).

Após o pré-processamento o cacau é enviado para a indústria de transformação, onde passa pelas etapas de torrefação, moagem e prensagem para obtenção da manteiga e do pó de cacau, que são matérias-primas essenciais para a produção de achocolatados. A fabricação do chocolate inclui a mistura de ingredientes, refino, conchagem, temperagem, moldagem e resfriamento, etapas que determinam propriedades como textura, brilho, aroma e sabor do produto (Ferreira *et al.*, 2021).

2.2. Produção anual e sazonalidade da oferta de cacau

O fruto do cacaueiro (*Theobroma cacao*) leva em média de cinco a seis meses para amadurecer após a polinização, permanecendo aderido ao caule até o momento da colheita. Isso ocorre porque a espécie apresenta floração ao longo do ano, com diferentes estágios de florescimento coexistindo na mesma planta, o que resulta em uma produção escalonada de frutos. Dessa forma, o ciclo reprodutivo do cacau é contínuo e diretamente influenciado pelas condições climáticas, especialmente pela distribuição das chuvas, que afetam tanto a floração quanto o amadurecimento dos frutos (Despontin, 2018).

Os processos de brotação, floração e frutificação do cacau estão diretamente relacionados com o clima. O lançamento foliar torna-se particularmente intenso quando um déficit de água no solo é seguido por chuva, sendo que a magnitude do *déficit* anterior influencia a rapidez com que a

brotação ocorre. Já a frutificação, que é um dos processos fisiológicos mais sensíveis, é negativamente afetada e reduzida durante os períodos de *déficit* hídrico no solo, isoladamente ou em associação com alta radiação solar global na fase de polinização-pegamento (Almeida, 1986).

2.3. Pré-processamento do cacau em centros logísticos

A logística de grãos no Brasil é fortemente dependente do transporte rodoviário que atua principalmente no deslocamento da carga das propriedades rurais até armazéns ou terminais ferroviários e hidroviários, de onde os grãos podem seguir por outros modais mais adequados a longas distâncias e grandes volumes. Nesse processo, destacam-se etapas como o planejamento logístico, a escolha do modal, o transporte propriamente dito e o armazenamento intermediário em silos e estruturas de apoio (Nascimento *et al.*, 2022).

De acordo com Trogello *et al.* (2013), processo de beneficiamento de sementes é composto por etapas sequenciais que visam assegurar a qualidade do produto. Inicialmente, ocorre o recebimento e a amostragem do material, seguidos pela pré-limpeza e se necessário, a secagem, para ajustar o nível de umidade das sementes. Posteriormente, realizam-se a limpeza e a classificação. Na sequência, aplica-se o tratamento químico com fungicidas, seguido pelo ensacamento e pelo armazenamento em condições controladas. Por fim, a etapa de expedição é organizada e direciona os lotes ao consumidor (Trogello *et al.*, 2013).

O armazenamento de grãos em geral é realizado com o auxílio de equipamentos como máquinas de pré-limpeza, peneiras, máquina de ar e peneiras (MAP), separador de cilindro alveolado (*trieur*) e mesa gravitacional, que realizam a remoção de impurezas e a uniformidade física das sementes. Após o processamento, o produto é ensacado em embalagens padronizadas que são colocadas em pallets para o acondicionamento nos armazéns, garantindo condições adequadas de conservação até a comercialização (Schmidt, 2020).

Alguns equipamentos utilizados no processamento de grãos estão na Figura 2, onde (a) é um silo de fundo cônico, (b) é uma peneira de limpeza e pré-limpeza de grãos, (c) é um sistema de secadores de grãos e (d) é um sistema de elevadores responsáveis pelo transporte do produto.

Figura 2 – Equipamentos para o manuseio de grãos

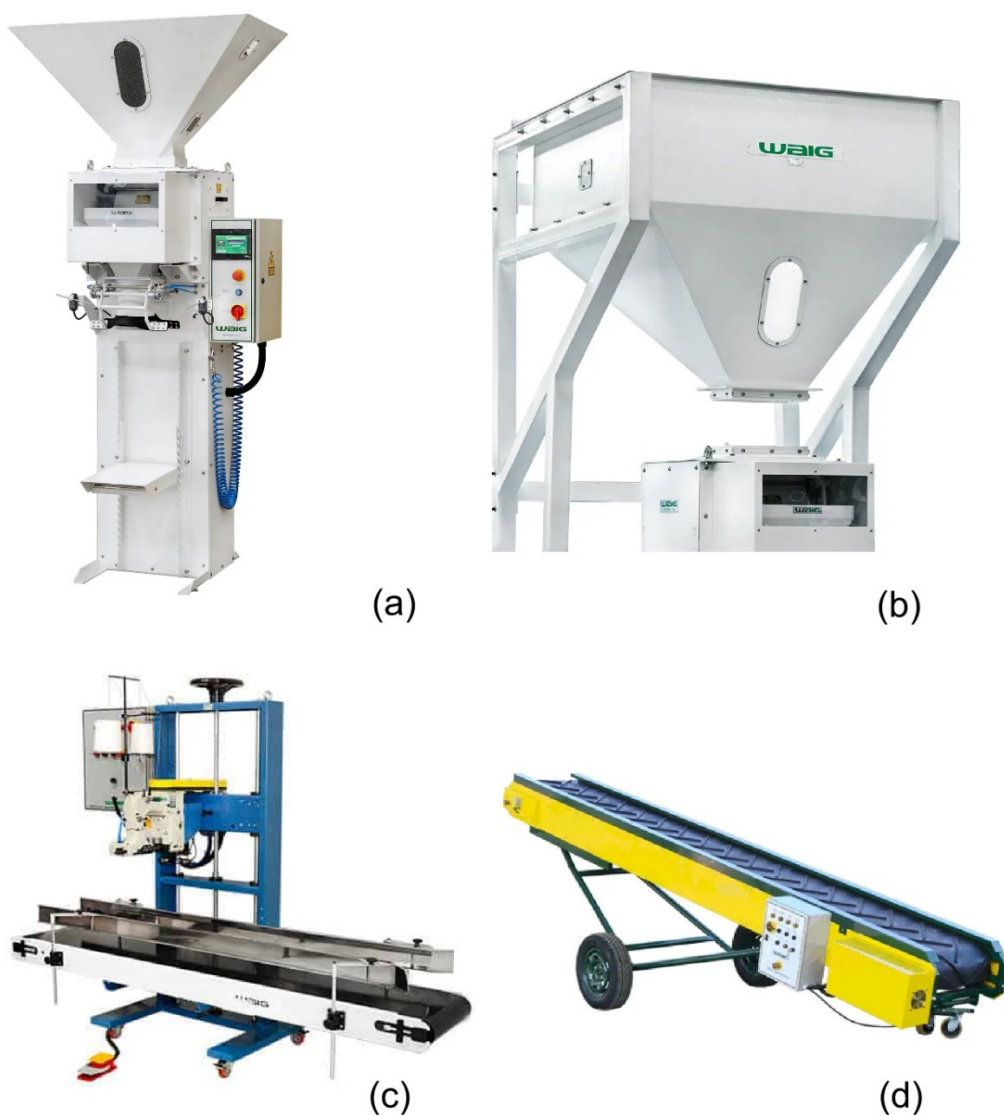


Fonte: Adaptado de Pagé (2025a).

Há equipamentos comuns no processamento de grãos com soja, milho e cacau como as moegas com tombador hidráulico, utilizadas para o descarregamento dos caminhões, elevadores e *redlers*, que fazem o transporte interno do produto, além de máquinas de pré-limpeza e limpeza. O processo descrito por Ribeiro (2015) também envolve secadores verticais da marca *Kepler Weber*, alimentados por fomalhas a lenha, cujo controle é realizado com auxílio do medidor de umidade *Gehaka G800*. Para armazenagem, a unidade descrita no artigo dispõe de silos pulmão e silos graneleiros, que contam com sistemas de aeração e termometria (Ribeiro, 2015).

Na etapa de armazenagem por sacarias os grãos são ensacados por máquinas dosadoras que utilizam alguns tipos de sacos. Por exemplo, no armazenamento de sementes de trigo para germinação foram usados quatro tipos de sacos de materiais distintos, sendo, plástico, rafia, *Kraft* e embalagem PET. Cada um desses materiais possui características distintas quanto à permeabilidade à umidade, fator que influencia diretamente na conservação das sementes ao longo do tempo. Os sacos de rafia e *Kraft*, por serem mais permeáveis, resultaram em menor teor de umidade (Wenneck *et al.*, 2021).

Figura 3 – Equipamentos de manuseio de sacarias



Fonte: Adaptado de WAIG (2025a).

Na Figura 3 estão alguns equipamentos para o manuseio e processamento de sacarias, onde (a) é uma ensacadeira digital, (b) é uma moega para a ensacadeira, (c) é um sistema de costura de sacarias e (d) é uma esteira transportadora de sacos móvel.

O processo de costura dos sacos de ráfia na usina de beneficiamento de sementes ocorre após o enchimento e pesagem das embalagens, sendo uma etapa crítica no setor de ensaque. As sacarias são conduzidas à costuradeira, equipamento responsável por selar as embalagens de forma segura e eficiente, garantindo a integridade do conteúdo e a padronização do fechamento (Oliveira, 2025).

2.4. Automação em plantas industriais

A indústria está sempre à procura de novas ferramentas para dinamizar os processos fabris e agregar valor aos seus produtos para se manter competitiva. Assim as organizações recorrem a implementação de sistemas produtivos cada vez mais inovadores e tecnológicos tentando aumentar seu nível de competitividade e para isso precisam investir e inovar constantemente (Rodrigues *et al.*, 2016).

Neste contexto a automação industrial se coloca como uma grande aliada para alcançar o aumento dos níveis de qualidade, o aumento da produtividade e a redução dos custos de produção, a automação dos processos contribui para a melhoria dos produtos fabricados diminuindo a incidência de erros e reduzindo desperdícios (Coelho *et al.*, 2024).

As tecnologias de automação de tarefas têm grande contribuição para a melhoria de processos. Assim esta ferramenta vem para dinamizar as tarefas, diminuir potenciais danos à saúde de pessoas que trabalham em ambientes de risco, possibilitar a realização de trabalhos com mais flexibilidade, com uma necessidade menor da força de trabalho humana e tornar os processos mais eficientes (Xavier *et al.*, 2023).

Para automatizar um processo produtivo é preciso implementar uma série de tecnologias que realizem uma função de forma autônoma no processo. O estudo realizado em uma montadora de carros apresentou diversos componentes de automação industrial, destacando o Controlador Lógico

Programável (CLP), uma Interface Homem-Máquina (IHM), sensores indutivos e ópticos, válvulas direcionais elétricas para controlar o movimento, motores elétricos e cilindros de atuação pneumática. Com os componentes de automação instalados é preciso conhecer a lógica do processo e como ele funciona para então programar os componentes que comandarão o sistema (Santiago *et al.*, 2019).

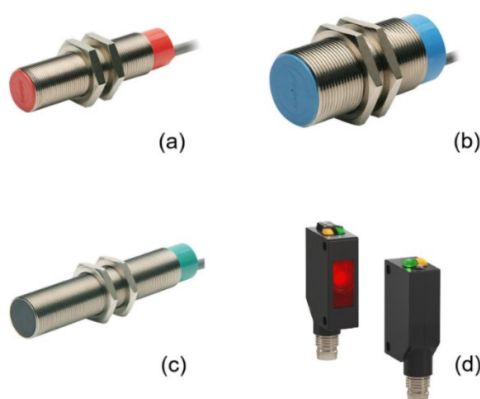
O CLP é mostrado na Figura 4. Os diferentes tipos de sensores utilizados na indústria são mostrados na Figura 5, onde (a) é o sensor indutivo, (b) é o sensor capacitivo, (c) é o sensor magnético e (d) é o sensor óptico.

Figura 4 - Controlador Lógico Programável PLC500



Fonte: WEG (2025a).

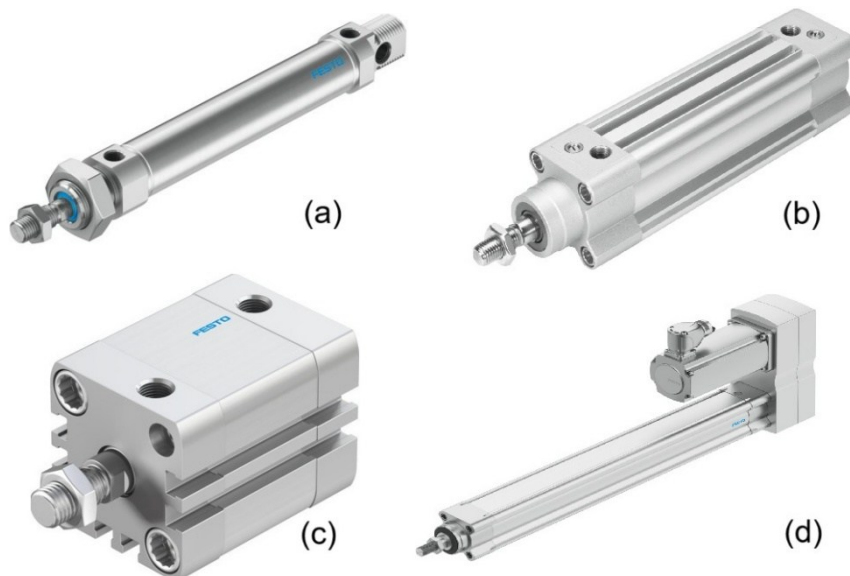
Figura 5 – Sensores comumente usados na indústria



Fonte: Adaptado de WEG (2025b).

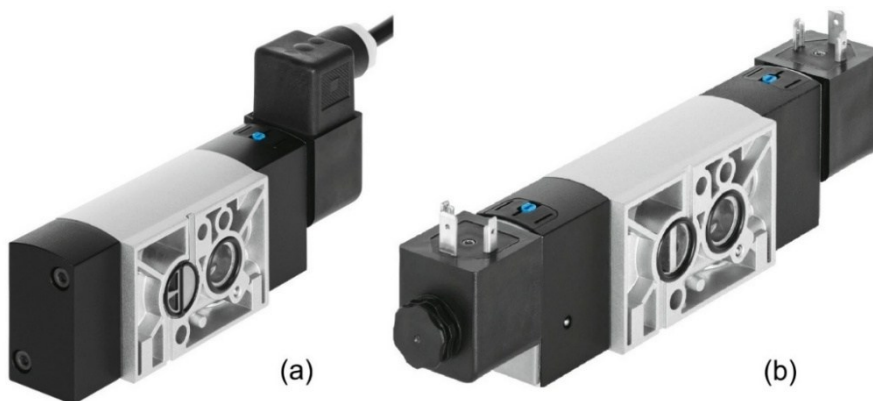
Os diferentes tipos de atuadores utilizados na indústria estão na Figura 6, onde (a) é um atuador redondo, de dupla ação DSNU, (b) é um atuador pneumático DSBC, (c) é um atuador compacto de dupla ação ADN e (d) é um atuador elétrico ESBF. Na Figura 7 estão as válvulas pneumáticas onde, (a) é uma válvula solenoide VSNC e (b) é uma válvula duplo solenoide. Na Figura 8 estão os motores elétricos mais comuns onde, (a) é um motor de baixa tensão e (b) é um motor de alta tensão.

Figura 6 – Atuadores pneumáticos



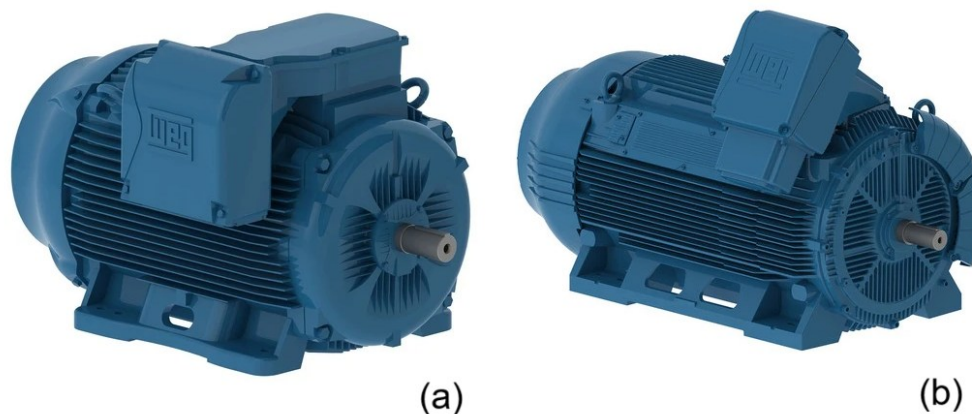
Fonte: Adaptado de Festo (2025a).

Figura 7 – Válvulas pneumáticas



Fonte: Adaptado de Festo (2025b).

Figura 8 – Motores elétricos trifásicos



Fonte: Adaptado de WEG (2025c).

A ascensão da Indústria 4.0 impõe uma pressão crescente sobre a gestão industrial para integrar conceitos modernos como *Smart Plants*, sistemas *ciberfísicos* e a digitalização. Essa evolução tecnológica traz infinitas possibilidades para aumentar a produtividade e eficiência das plantas, tornando a automação para o controle de processos obrigatória para a sobrevivência em mercados globalizados. No entanto, o principal desafio reside em determinar o nível ideal de automação a ser implementado, dado que os recursos para tal são finitos e limitados (Barateiro e Emerik, 2019).

Em alguns casos voltados à otimização de processos industriais como no corte de peças em aço, destaca-se o uso combinado de sistemas automáticos e semiautomáticos. Em determinadas etapas produtivas, o corte semiautomático ainda é necessário para atender demandas específicas e permitir maior flexibilidade operacional, especialmente quando o controle total por sistemas automatizados não é viável. Essa abordagem demonstra que a semiautomação representa uma etapa intermediária importante na transição para a automação plena, contribuindo para a redução de desperdícios e o aprimoramento da eficiência produtiva dentro dos princípios da Indústria 4.0 (Gianelli, 2025).

Desta forma, a automatização de tarefas tem sido cada vez mais empregada em processos industriais. Porém mesmo tornando estes processos mais precisos e flexíveis a implementação da automação apresenta dificuldades para a avaliação de sua eficácia, pois a avaliação deve ser gradual e compatível

com o tempo para a implementação e requer longo tempo de treinamento e especialização dos colaboradores para o domínio da tecnologia (Silva *et al.*, 2018).

Pode-se então afirmar que a automação industrial é um grande avanço tecnológico que tem a capacidade de melhorar processos produtivos. A automação industrial, entretanto, pode envolver problemas relacionados a falta de mão de obra qualificada para operar sistemas com elevado nível de inovação tecnológica, a questões como a substituição da mão de obra humana por sistemas inteligentes, questões ligadas ao meio ambiente e aos impactos dessas tecnologias na natureza e vários outros (Barbosa, Barbosa e Canazaro, 2020).

2.5. Controlador Lógico Programável (CLP)

A ideia de criar sistemas automatizados é muito antiga e remonta a revolução industrial, mas as ferramentas modernas de automação surgiram com os avanços tecnológicos do século XX. Os primeiros equipamentos de automação operavam por dispositivos chamados relés. Devido à complexidade e ineficiência desses dispositivos foram criados dispositivos eletrônicos para substituí-lo. Esses pequenos computadores que permitiam realizar comandos através de entradas e saídas de dados foram chamados de CLPs (Silevira e Lima, 2003).

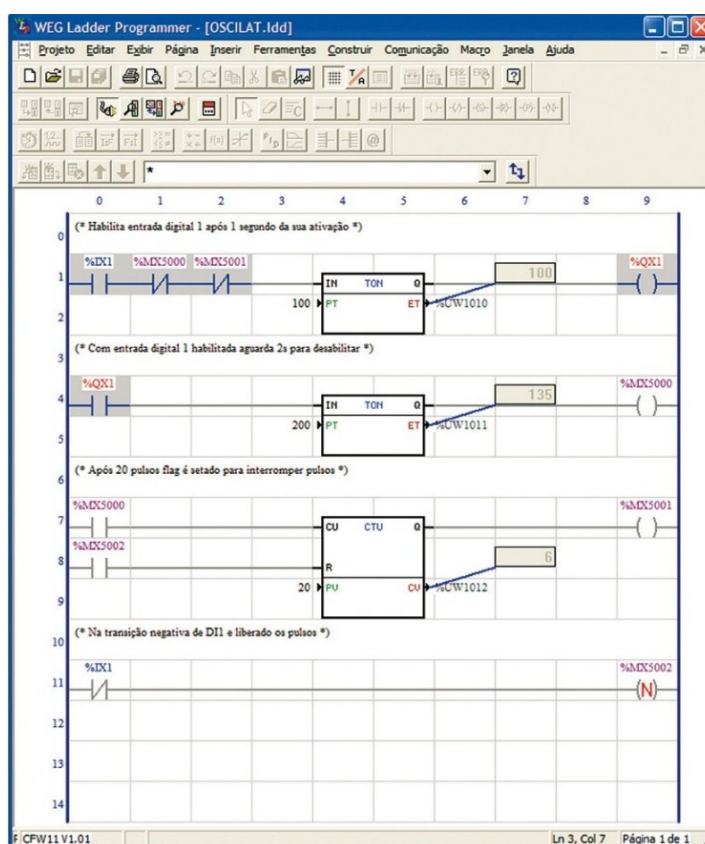
O Controlador Lógico Programável (CLP) desempenha papel central no funcionamento de sistemas automatizados, atuando como o cérebro responsável por processar dados dos sensores e enviar comandos aos atuadores. Por meio de sua programação lógica, o CLP executa ações em tempo real, ajustando variáveis como temperatura, pressão e vazão para garantir a estabilidade dos processos e a segurança operacional. A integração do CLP com sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (SCADA) e sensores inteligentes permite um controle mais preciso e contínuo, reduzindo falhas humanas e promovendo maior eficiência e confiabilidade nas operações industriais (Silva, 2024).

O CLP processa informações provenientes de sensores, executa instruções armazenadas em sua memória programável e aciona atuadores conforme a lógica definida pelo usuário. Sua estrutura básica envolve módulos

de entrada e saída digitais, unidade de processamento (CPU) e interface homem-máquina (IHM), permitindo leitura de variáveis e controle em tempo real. Além disso, é importante ressaltar a importância do desenvolvimento de CLPs acessíveis e programáveis em linguagens *open source*, como C/C++, o que amplia a flexibilidade, reduz custos e facilita atualizações e manutenções em sistemas industriais automatizados (Berti e Custódio, 2024).

O CLP funciona através de uma entrada de dados que leva informações para serem processadas pelo computador e gera uma saída de acordo com a sua programação. A linguagem de programação mais comumente usada em CLPs é a linguagem *Ladder* – a Figura 9 mostra um exemplo de código em *Ladder* - que representa os comandos do programa através de diagramas semelhantes aos diagramas elétricos. Além do CLP também estão presentes outros componentes em um sistema automatizado como sensores e atuadores que fazem o monitoramento e a execução dos comandos (Carvalho, 2017).

Figura 9 - WEG Ladder Programmer (WLP)



Fonte: WEG (2025d).

2.6. Modelagem matemática

No contexto da engenharia a resolução de problemas frequentemente se dá pelo uso de técnicas de modelagem matemática. Essas ferramentas tornam possível criar modelos de fenômenos reais e assim poder estudá-los e resolvê-los. Existem inúmeros exemplos de problemas que podem ser resolvidos com modelos matemáticos e vários métodos de resolução (Filho, 2009).

Assim, para atestar a viabilidade da implementação de sistemas automatizados em uma unidade produtiva pode-se fazer uso de recursos de modelagem matemática e algoritmos de programação para a criação de simulações computacionais que ajudem na tomada de decisão e planejamento com relação ao projeto. A modelagem computacional pode contribuir significativamente para a formulação de um plano de implementação de componentes de automação tornando a introdução do sistema mais eficiente e menos custosa (Sperandio e Coelho, 2010).

Mas para a construção e resolução de modelos matemáticos há um processo longo de aprendizado e a criação de modelos começa com a interpretação do problema que está sendo estudado, segue com a construção de modelos conceituais e avança para modelos computacionais que vão gerar simulações do problema real facilitando sua visualização e resolução (Moreira, 2014).

2.7. Simulação Computacional

São várias as etapas de um processo de simular um problema real que se inicia com a coleta de dados sobre o problema, a interpretação destes dados e a conversão das informações para uma linguagem que o computador entenda. Após os estágios iniciais é criado um modelo matemático com o qual pode-se representar situações do mundo real em uma interface digital e o processo simulado pode ser usado para o estudo e otimização do processo real (Kim, Kwon e Lee, 2014).

Há também casos em que se faz necessário escolher dentre alguns métodos de simulação aquele que é mais adequado ao projeto que se quer realizar. É preciso realizar testes com diferentes *softwares* para comprovar a sua eficácia e diante dos resultados descartar os que não atendem à necessidade

do momento. A utilização de ferramentas de automação e modelagem corretas pode ter impactos expressivos na dinâmica do processo produtivos reduzindo o tempo gasto, o retrabalho com falhas e o número de tarefas devido a substituição de métodos de trabalho humanos por sistemas mais dinâmicos e simples (Citon e Rosa, 2021).

Com os métodos corretos é possível realizar a análise de processos produtivos sem a necessidade de interferir neles tornando seu estudo mais simples. Uma das vantagens da modelagem e simulação de um processo é poder estudar a interação de variáveis importantes para o sistema com o meio sem realizar perturbações no processo real. É também possível coletar dados do processo e monitorar seu comportamento através da simulação e assim determinar melhorias e mudanças com mais precisão e assertividade (Del Río *et al.*, 2023).

Nesse contexto, o *software* Arena® destaca-se como uma tecnologia capaz de modelar e analisar sistemas complexos, permitindo visualizar gargalos, tempos de espera e utilização de recursos de forma detalhada. O estudo citado a seguir, demonstra a relevância dessa ferramenta ao aplicá-la em uma indústria de pães congelados, simulando o processo de descarga e armazenagem de mercadorias. Por meio da simulação, foi possível identificar as etapas mais críticas do processo e propor ajustes operacionais, como o acréscimo de um funcionário, que resultou na redução de filas e no aumento da eficiência das operações (Pereira e Herculani, 2019).

Dessa forma, a simulação de processos por meio do *software* Arena® tem se consolidado como uma estratégia eficaz para a melhoria contínua e otimização de sistemas produtivos. Segundo Aprigio *et al.* (2019), o uso do *software* Arena® foi essencial para comparar com precisão o desempenho entre o processo produtivo original e o modelo otimizado proposto. As simulações possibilitaram identificar gargalos, tempos de espera e o impacto de cada etapa no fluxo de produção, evidenciando que o novo arranjo poderia reduzir o tempo total de fabricação em 40,04%, além de proporcionar uma economia de 9,18% no custo geral do processo. Dessa forma, o Arena® mostrou-se uma ferramenta eficaz para apoiar decisões estratégicas e otimizar processos na indústria de usinagem (Aprigio *et al.*, 2019).

2.8. Melhoria de processos e tecnologias de automação

A otimização de processos por meio da automação pode ser feita a partir de várias ferramentas. Na questão da simulação pode-se utilizar diferentes *softwares* para diferentes propósitos. Com os resultados da simulação de um processo pode-se estudar a implementação de tecnologias de automação e com elas melhorar o processo. Tais tecnologias vem para dinamizar e agregar valor aos processos produtivos gerando competitividade e maior satisfação dos clientes (Oliveira *et al.*, 2023).

Com o uso de *softwares* de simulação de processos é possível analisar o estado futuro de um processo dado a implementação de uma melhoria ou tecnologia nova. Em um contexto de implementação de uma melhoria no sistema, os simuladores também podem realizar a simulação de diferentes cenários com diferentes arranjos de máquinas e instalações e diferentes tecnologias e desta forma avaliar as melhorias antes de sua implementação real. Cada cenário pode ser avaliado com seus pontos positivos e negativos e auxiliar na tomada de decisão sobre o melhor a ser adotado (Costa, 2016).

Dessa forma as tecnologias de automação e simulação podem ser utilizadas em consonância com os métodos de manufatura enxuta para reduzir desperdícios e promover a modernização de uma planta industrial e a implementação de tecnologias que tragam aumentos reais na produtividade e eficiência da planta. As tecnologias de automação nesse contexto podem ser usadas junto aos métodos de manufatura enxuta e *Lean* para alavancar a produção (Beise, 2016).

Um estudo realizado para avaliar o nível de automação em linhas de produção operando sob os princípios da manufatura enxuta permitiu identificar o nível de automação existente, monitorar indicadores de desempenho e orientar a implementação de melhorias. A realização do estudo em duas linhas com diferentes características demonstrou que níveis mais elevados de automação contribuem para ganhos significativos em eficiência, qualidade, confiabilidade e redução de custos. Os resultados também reforçam que a automação deve ser integrada aos fundamentos da produção enxuta, de modo a eliminar desperdícios e favorecer processos mais flexíveis e produtivos (Mourad, 2018).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo está exposta a metodologia empregada para a realização do presente trabalho.

3.1. Metodologia adotada para o presente trabalho

A metodologia adotada neste projeto baseia-se nos procedimentos de pesquisa-ação, modelagem e simulação, com o objetivo de compreender os processos produtivos estudados. Trata-se de uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem qualiquantitativa e caráter explicativo, que visa propor melhorias concretas por meio da análise prática. A coleta de dados será realizada por meio da observação direta em campo, acompanhando o funcionamento real do processo produtivo (Gil, 2008).

A observação é uma técnica essencial da documentação direta, sendo especialmente útil quando o pesquisador deseja examinar um fenômeno no exato momento em que ele ocorre, sem interferências externas. Nesse sentido, o uso de uma abordagem qualitativa e quantitativa combinada também se mostra adequado, pois permite compreender tanto os aspectos subjetivos do processo quanto os dados mensuráveis que orientam melhorias práticas (Lakatos e Marconi, 2003).

Além da observação direta, a pesquisa foi desenvolvida em etapas. Inicialmente, realizou-se o mapeamento do processo produtivo atual de pré-processamento e armazenagem do cacau. Essa etapa incluiu o acompanhamento das atividades em campo e o levantamento de informações operacionais junto à empresa estudada. Em seguida, foram coletados dados quantitativos referentes aos volumes movimentados, tempos de execução das etapas e demanda anual e sazonal. A seleção dos equipamentos considerou critérios técnicos de capacidade produtiva, integração entre as etapas e redução do esforço físico dos operadores.

Com base nesses dados, foi elaborada uma proposta de automação parcial do processo, contemplando a integração dos equipamentos por meio de um controlador lógico programável (CLP). Posteriormente, o processo atual e o cenário proposto foram modelados e simulados no *software* Arena®, permitindo a análise dos tempos de processamento, filas e taxas de utilização dos recursos,

bem como a identificação de gargalos operacionais.

Por fim, os resultados da simulação foram analisados de forma qualitativa e quantitativa, possibilitando a comparação entre o processo manual e o sistema semiautomático proposto, avaliando os ganhos potenciais em eficiência, padronização e segurança operacional.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados do trabalho e a análise e discussão sobre eles.

4.1. Planta de pré-processamento do cacau da empresa em questão

Com o objetivo de coletar informações da planta produtiva da empresa foco desse trabalho, foi realizada uma visita técnica ao armazém onde se encontram as instalações da empresa e o estoque de cacau. Durante a visita foi realizada a coleta de medidas do armazém, coleta de informações sobre o processo atual e se fez o registro fotográfico. Nesta ocasião também foi realizada a coleta de informações acerca da quantidade de cacau movimentado pela empresa anualmente e a dinâmica do comércio desse produto.

Ao ser recebido, o cacau ensacado passa por um processo de manuseio antes de chegar à pilha do estoque, as etapas desse processo então na Figura 10 onde (a) é a Descarga e (b) é a Pesagem. O produtor rural chega com uma quantidade de cacau em sacos não padronizados e solicita realizar a negociata de venda do produto ao centro logístico, a empresa ofereceu uma estimativa de que, em alguns dias do período de safra pode haver uma média de 200 negociações de compra. Os sacos são descarregados do veículo usado pelo produtor rural para transportá-los e são pesados em uma balança industrial.

Figura 10 - Etapas de manuseio do cacau



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

As indústrias de processamento do cacau recomendam que as amêndoas sejam embaladas em sacos de rafia com capacidade para 60 kg. Foi observado que os sacos usados pelos produtores são recebidos em desconformidade com a padronização e qualidade recomendados pelos clientes da empresa. Alguns sacos são recebidos com sobrepeso e outros são enchidos pela metade e algumas pequenas quantidades de cacau, vendidas por pessoas da comunidade, são recebidas em sacolas plásticas.

Após a realização da pesagem do produto, a negociata é realizada e o produtor recebe o valor correspondente a quantidade em quilogramas de cacau. Em seguida, os sacos são encaminhados, por meio de esteiras transportadoras, para a pilha ou já para uma carreta que realiza o transporte deles até a indústria de transformação localizada no estado da Bahia, longe dos locais de produção de cacau. Segundo dados da empresa, são despachadas em média de três carretas por semana com 36 toneladas cada, o que totaliza uma quantidade de 108 toneladas por semana e aproximadamente 5600 toneladas por ano.

Nesta etapa foi observado que as condições de higiene e resistência mecânica dos sacos muitas vezes estão aquém do recomendado de maneira que são encontradas impurezas junto às amêndoas e alguns sacos se rompem no manuseio. O manuseio do cacau no armazém em situações de reensacagem também é feito de forma não padronizada. Na Figura 11 estão imagens do armazém e as esteiras transportadoras, onde (a) é o panorama do armazém e da condição dos sacos e (b) é uma foto das pilhas de sacos e dos equipamentos para transportar os mesmos.

Figura 11 - Panorama do armazém e processo de estocagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Em casos de grande quantidade de impurezas, as amêndoas são peneiradas manualmente e em casos de rompimento dos sacos, o cacau é reensacado de forma manual com pás e máquinas de costura portáteis. Na Figura 12 estão imagens do manuseio dos sacos de cacau, onde (a) é uma reensacagem manual e (b) é o uso de uma máquina portátil de costura. Durante a descarga e posteriormente durante a acomodação dos sacos, o manuseio é realizado de forma manual e exige grande esforço humano por parte dos colaboradores. A capacidade dos equipamentos utilizados também não é corretamente dimensionada ocasionando filas, sobrecarga da linha e ineficiência.

Figura 12 – Manuseio de sacos de cacau

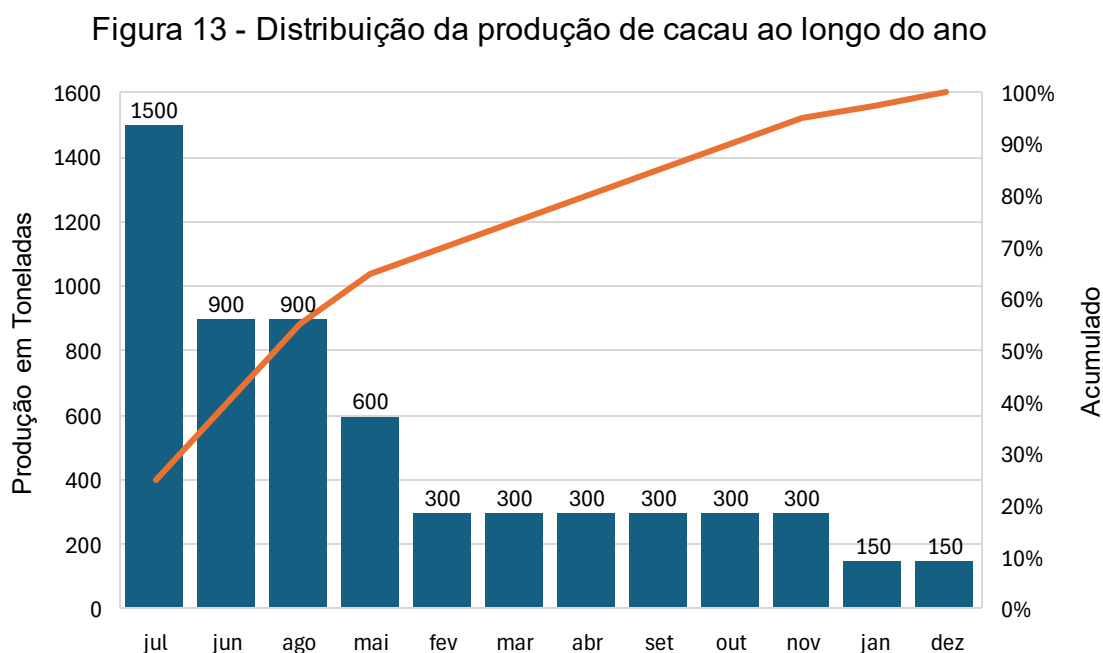


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para o dimensionamento da planta industrial e a seleção dos equipamentos com capacidade de operação suficiente para atender a demanda

de trabalho, foi feito um levantamento da produtividade de cacau na região que é escoada pela empresa. De acordo com dados coletados na empresa, o volume de cacau comprado no último ano foi de 6000 toneladas.

Essa quantidade de cacau é distribuída ao longo do ano, sendo os meses de maio a agosto o período de safra e maior concentração de entradas. O período de maio a agosto corresponde a aproximadamente 65% da produção de cacau da região e o restante da produção é distribuída nos demais meses do ano. Deve-se levar em conta que a empresa em questão não necessariamente compra toda a produção de cacau da região, mas a produção é majoritariamente escoada por ela. Os dados sobre a demanda da empresa no ano de 2024 estão na Figura 13.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Assim, a demanda apresentada pelo gráfico da Figura 13 norteou a seleção dos equipamentos a serem usados na linha produtiva proposta e o dimensionamento de cada um deles. As propostas de melhoria também foram pensadas a partir dos dados coletados na empresa e dos problemas encontrados no processo que poderiam ser trabalhados, desperdícios que podiam ser reduzidos e pontos que poderiam ser melhorados.

A partir desse levantamento foi desenvolvida uma proposta de melhoria levando em consideração os pontos que poderiam ser otimizados utilizando as tecnologias de automação. A planta produtiva proposta foi desenvolvida com capacidade pensada para atender a demanda da empresa estudada e teve seu funcionamento pensado de forma que haja uma integração dos equipamentos que o compõem através de um controlador central.

Após o desenvolvimento das propostas da linha produtiva e da integração dos equipamentos, foi realizada uma análise dos resultados quali-quantitativos obtidos através da proposta de melhoria e da simulação feita no *software* Arena®. Em seguida, foram realizadas as discussões acerca da análise dos resultados e do cumprimento dos objetivos do trabalho.

4.2. Proposta de planta produtiva semiautomática

Para a criação de uma proposta de melhoria do processo de pré-processamento e manuseio do cacau, foi realizado o dimensionamento da planta já existente e um levantamento dos equipamentos necessários para a melhoria da qualidade do produto e para o aumento do nível de automação do processo. A proposta não eliminou a necessidade de intervenção humana no processo, mas procurou reduzir o esforço físico das tarefas, introduzir componentes automatizados na linha e melhorar a eficiência do processo. Em seguida, foi feita uma ilustração da linha de produção do armazém que está representada na Figura 14.

Figura 14 – Proposta de uma nova linha produtiva para o manuseio de cacau

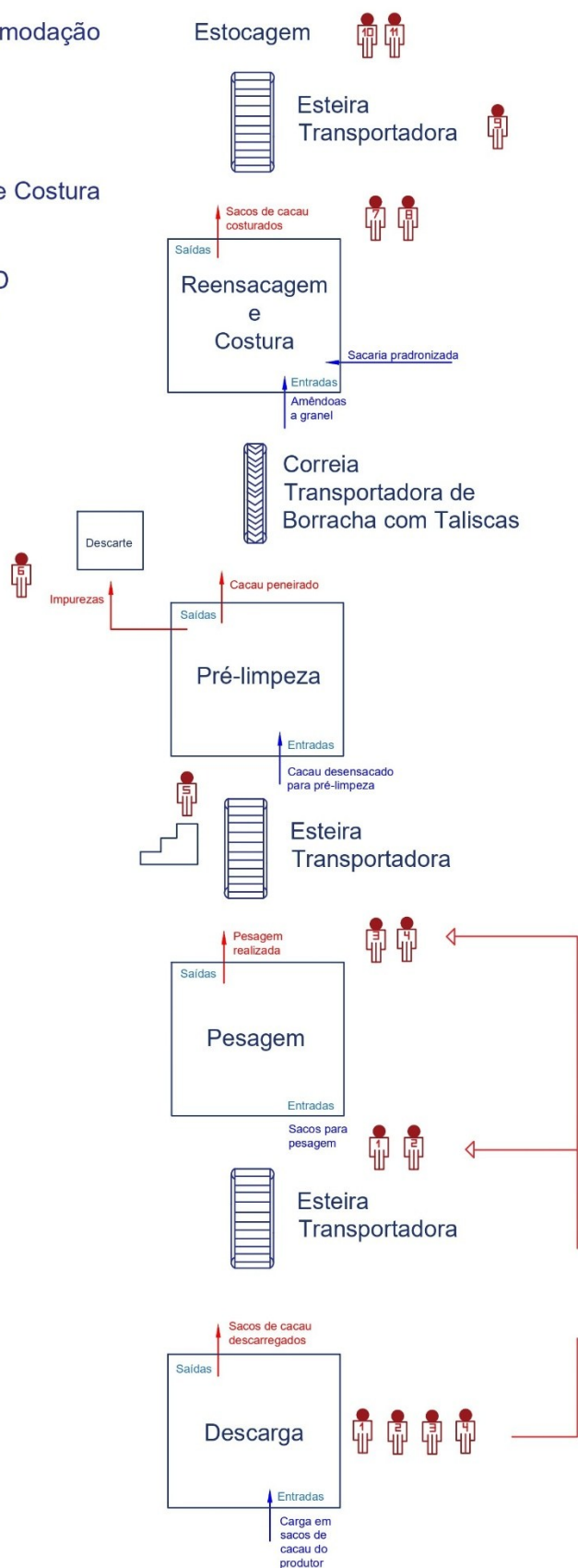
Estocagem: Etapa de acomodação dos sacos na pilha
Nº de operadores: 2

ETAPA 4: Reensacagem e Costura
Moega WAIG
Capac.: 1 m³
Ensacadeira digital WBE-D
Capac.: 5 a 15 sacos/min.
Costura automática
Capac.: 600 sacos/hora
Nº de operadores: 3

ETAPA 3: Pré-limpeza
Máquina de pré-limpeza de cereais
Capacidade: 15000 kg/h
Nº de operadores: 2

ETAPA 2: Pesagem
Balança industrial
Capacidade: 3000 kg
Nº de operadores: 4

ETAPA 1: Descarga
Plataforma de descarga ajustável.
Nº de operadores: 4



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Na primeira etapa é realizada a descarga, onde os sacos de cacau provenientes dos produtores são descarregados em uma plataforma ajustável que pode ser vista na Figura 15. Essa estrutura facilita o manuseio e o transporte da carga até a balança e torna a doca de carga/descarga mais acessível a diferentes tipos de veículos como caminhonetes e caminhões *truck*. Nessa fase, atuam os operadores 1, 2, 3 e 4, responsáveis pela descarga e organização do material. O principal objetivo dessa etapa é transferir a matéria-prima de forma ágil e segura para a pesagem, garantindo que não haja perdas ou danos ao produto.

Figura 15 – Plataforma ajustável de carga e descarga



Fonte: Metaro (2025).

Em seguida, ocorre a pesagem, etapa onde é realizada a mensuração da quantidade de cacau para a transação comercial. Propõe-se uma balança industrial com capacidade de até 1.000 kg, onde os sacos são depositados pelos operadores. Os operadores 1, 2 e 3, após descer do veículo de carga, largam os sacos de cacau na balança enquanto o operador 4 registra o valor do peso de cada lote apontado pela balança e repassa para o produto. Os operadores se deslocam novamente para realizar a movimentação dos sacos para a esteira transportadora.

Após a pesagem, o cacau segue para a etapa de pré-limpeza por meio de uma esteira transportadora, nesta etapa o produto é submetido à remoção de impurezas, como folhas, pedaços de casca e resíduos sólidos. Nessa fase a limpeza é realizada com o auxílio de uma máquina de pré-limpeza de cereais,

que possui capacidade de até 15.000 kg por hora, de acordo com a demanda levantada pela pesquisa e é equipada com peneiras vibratórias feitas especificamente para a granulometria do cacau.

A etapa de pré-limpeza se inicia com a recepção dos sacos pelo operador 5 que tem a função de rasgar a boca do saco, despejar as amêndoas na moega da pré-limpeza e descartar o saco. A esteira transportadora é equipada com uma botoeira normalmente aberta que para o equipamento possibilitando que o operador possa realizar a abertura e o esvaziamento dos sacos. O operador 6 tem como função auxiliar no correto descarte dos sacos usados e os resíduos orgânicos provenientes da pré-limpeza. Na Figura 16 estão exemplo de equipamentos usados nas etapas 2 e 3, onde (a) é uma esteira transportadora, (b) é uma Balança de plataforma, (c) é um sistema de pré-limpeza e (d) é uma esteira elevadora tipo caneca.

Figura 16 – Equipamentos utilizados nas etapas 2 e 3



Fonte: Agrofy (2025); Alibaba (2025); Pagé (2025); Aluminox (2025).

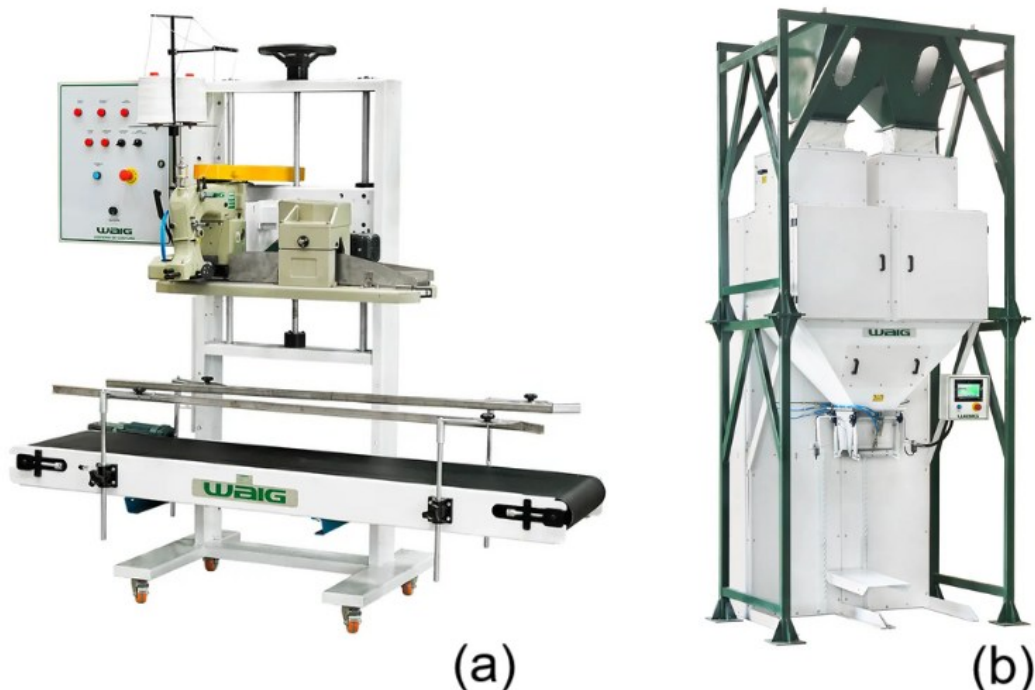
O processo contempla o descarte das impurezas e resíduos provenientes da pré-limpeza. Essa etapa tem como objetivo destinar corretamente os materiais não aproveitáveis, evitando a possibilidade de contaminações no estoque de cacau e impactos ambientais. Os resíduos provenientes da pré-limpeza são em sua maioria orgânicos, provenientes do próprio cacau, como cascas e folhas, porém também há os sacos usados que são feitos de fibras poliméricas. O descarte adequado garante um processo sustentável e alinhado às boas práticas de produção e manejo de resíduos industriais.

Posteriormente, o produto limpo é encaminhado, através de um elevador de transporte a granel, para a reensacagem e costura, etapa responsável por padronizar a embalagem do cacau. Nessa fase, as amêndoas são ensacadas por meio de uma ensacadeira digital duplo pulmão, que possui capacidade de produção entre 5 e 15 sacos por minuto, segundo a necessidade apontada pelo dimensionamento da planta, além de uma moega de alimentação que suporta até 1 m³ de material.

Nesse ponto do processo a amêndoas caem na moega e passam pelo processo de mensuração da máquina ensacadeira que pesa e despeja a quantidade correta, que neste caso é de 60 kg, nos sacos de rafia de forma simultânea devido a máquina ter duas câmaras de pesagem, a máquina libera o fluxo de amêndoas e ao passar do tempo programado interrompe o mesmo. Na boca da ensacadeira os operadores 7 e 8 são responsáveis por alcançar os sacos novos e posicioná-los na saída da máquina para que sejam envasados e depois movem o saco para a esteira do sistema de costura.

Em seguida, os sacos passam para o sistema de costura automática que deve ter uma capacidade para 600 sacos por hora, segundo o dimensionamento da planta. O operador 9 é responsável pela supervisão dos sacos e dos equipamentos do sistema da costura assegurando que os sacos sejam devidamente selados e padronizados conforme as especificações do cliente e posicionando os sacos na esteira transportadora que os levará para a pilha. Os equipamentos da etapa 4 estão na Figura 17, onde (a) Sistema de costura automático e (b) Ensacadeira duplo pulmão.

Figura 17 – Equipamentos de costura e envasamento de sacarias



Fonte: Adaptado de WAIG (2025b).

Com o produto devidamente ensacado e costurado, ocorre a estocagem, fase destinada ao armazenamento dos sacos de cacau em pilhas dispostas sobre pallets onde, no alto da pilha, os operadores 10 e 11 recebem os sacos e os posicionam corretamente. Essa etapa é fundamental para garantir a conservação das amêndoas, sendo necessário o controle de fatores como ventilação e umidade, a fim de evitar a deterioração do produto. O armazenamento adequado contribui para a manutenção da qualidade até o momento da expedição e envio para etapas posteriores de beneficiamento.

Os equipamentos selecionados pelo levantamento, levando em conta as capacidades necessárias para atender a demanda da empresa, foram expostos na Tabela 1 separados por etapas. Equipamentos como as esteiras estão distribuídos por todo o processo realizando tarefas entre as etapas. A relação dos equipamentos por etapa e capacidade está apresentada abaixo.

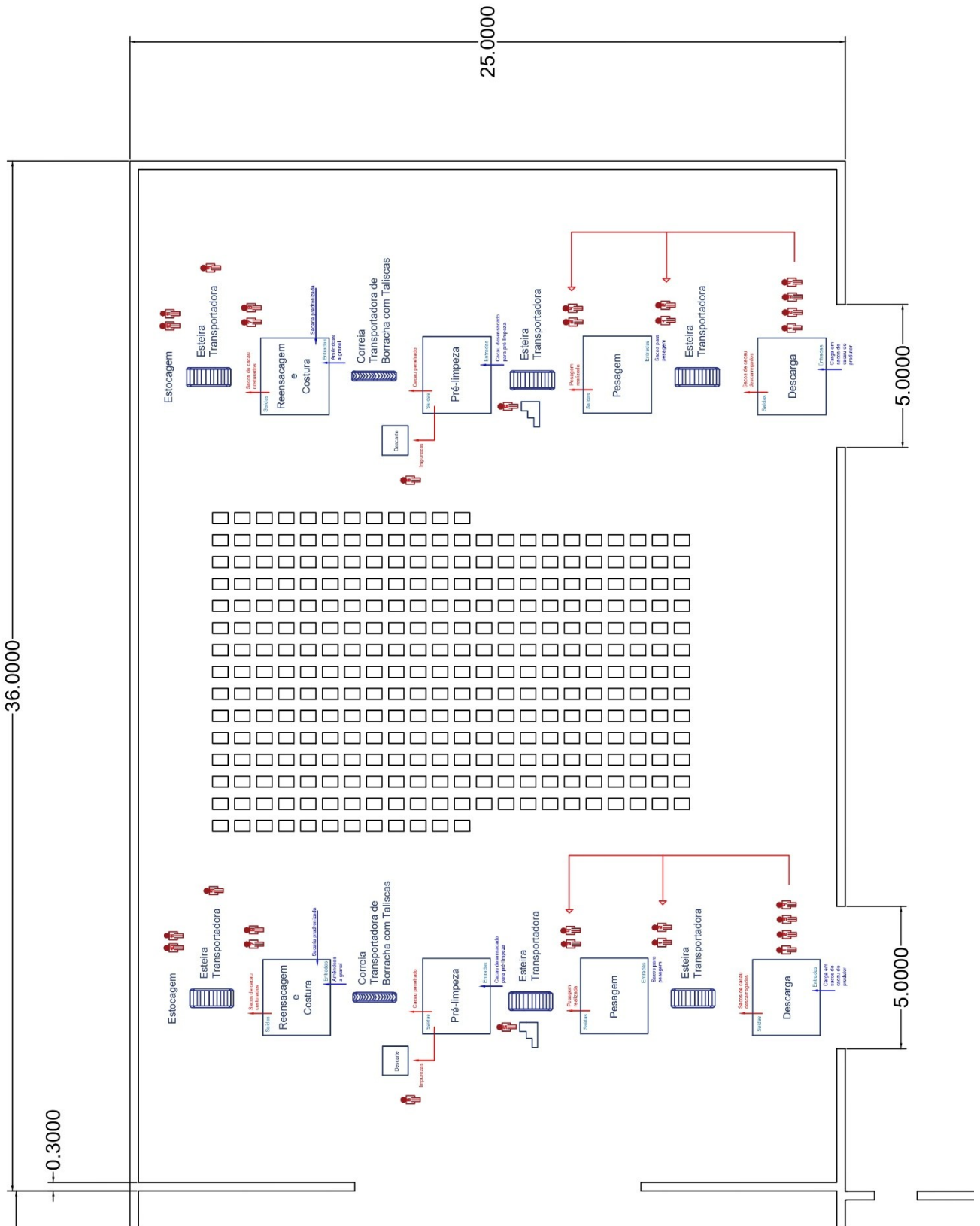
Tabela 1 — Equipamentos por etapa e capacidade

Etapas	Equipamentos	Capacidade
Descarga	Plataforma ajustável (Doca móvel de carga e descarga).	-
Transporte (tarefas entre etapas)	Esteiras transportadoras para sacaria e esteira transportadora granel.	-
Pesagem	Balança industrial de plataforma.	1000 kg.
Pré-limpeza	Máquina de pré-limpeza de cereais.	15000 kg/h.
Ensacagem e costura	Moega WAIG. Ensacadeira digital WBE-D Costura automática.	1 m ³ . 5 a 15 sacos/min. 600 sacos/h.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O *layout* descrito representa um sistema produtivo eficiente e bem estruturado, que integra movimentação, pesagem, limpeza, reembalagem e estocagem do cacau em duas linhas de produção. A utilização de equipamentos automatizados e a distribuição adequada de operadores em cada etapa contribuem para a otimização do tempo de processamento, redução de falhas humanas e melhoria da produtividade, assegurando a qualidade final do produto e a padronização das operações industriais. Abaixo, na Figura 18, está uma proposta de layout para a planta produtiva descrita.

Figura 18 - Proposta de *layout* com a nova linha de beneficiamento do cacau



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.3. Proposta de integração dos equipamentos utilizando controlador “mestre”

Foi proposto utilizar um CLP para realizar a integração das máquinas de forma que o processo atue de forma contínua e interligada através de comandos externos às máquinas. Para interligar as máquinas foi criada uma lógica de programação e uma descrição do funcionamento do processo com as entradas e saídas do CLP, bem como os atuadores, sensores e posições de atuação presentes no processo. Os símbolos utilizados para representar os componentes foram, (Q) para saídas digitais do CLP e (I) para entradas digitais do CLP.

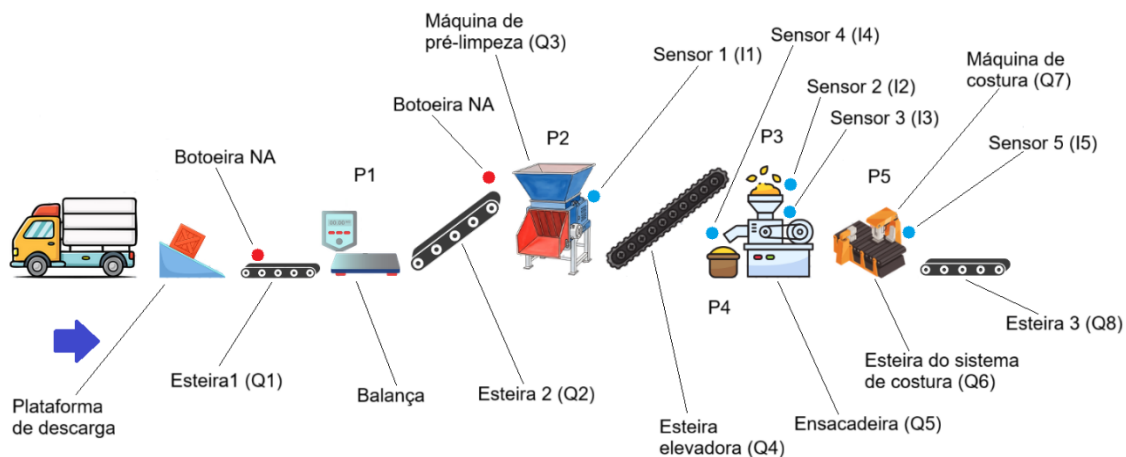
A descrição do processo foi representada no seguinte texto:

- O CLP liga a esteira 1 (Q1) que leva os sacos da descarga para a balança na posição P1, uma botoeira NA permite aos operadores interromperem o funcionamento da esteira 1 quando necessário;
- Em P1 o CLP registra o valor apontado pela balança e os sacos são levados pela esteira 2 (Q2) até a pré-limpeza em P2 onde uma botoeira NA permite ao operador interromper o funcionamento da esteira 2 quando necessário;
- Em P2, o sensor 1 (I1) ativa a máquina de pré-limpeza (Q3) quando caem amêndoas na peneira e ativa a esteira elevadora de grãos (Q4). A esteira elevadora leva as amêndoas para a moega da ensacadeira em P3, onde o sensor 2 (I2) liga a ensacadeira (Q5);
- Em P3, o sensor 3 (I3) para o funcionamento de Q3 e Q4 quando a moega da ensacadeira está cheia e o sensor 4 (I4) só permite que a ensacadeira libere as amêndoas na boca de envase se tiver um saco em P4 (que é a posição para envasar o saco). O saco é posto sobre a esteira do sistema de costura (Q6) que o leva para P5;
- Em P5, o sensor 5 (I5) liga a máquina de costura (Q7) e quando não há um saco em P5, Q7 é desligada. O saco é levado a pilha pela esteira 3 (Q8);
- O CLP liga automaticamente no início do processo as esteiras Q1, Q2, Q6 e Q8. Uma botoeira de emergência NA interrompe todo o processo quando pressionada.

Após a descrição da lógica do processo a ser executado pelo CLP foi criada uma ilustração da linha produtiva, que pode ser vista na Figura 19, com todos os atuadores, sensores e como as posições pelas quais os sacos de cacau

devem passar.

Figura 19 – Ilustração do processo a ser controlado pelo CLP



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.4. Simulação do processo no software Arena®

Foi realizada no software Arena® uma simulação dos estados atual e futuro do processo produtivo descrito. O estado atual refere-se às etapas de chegada de cargas, descarga e pesagem realizados pela empresa e o estado futuro refere-se à proposta de melhoria. Foram utilizados dados aproximados dos tempos de chegada e de execução das tarefas de cada etapa, esses dados foram obtidos através de estimativas baseadas nas capacidades de cada equipamento e nos dados de demanda obtidos da própria empresa.

Para realizar a simulação de forma que ela esteja próxima da realidade é necessário configurar cada etapa com uma base de dados estatística. Essa base de dados refere-se a um conjunto de n amostras de tempo que devem ser colhidas através de cronometragem do processo. Como o processo apresentado neste trabalho é uma proposta de melhoria, os dados utilizados foram baseados em uma estimativa do tempo para realizar as tarefas.

Foi utilizado um valor de n igual a 80 amostras – disponíveis no apêndice A deste trabalho - para cada etapa sendo que no primeiro bloco as amostras de tempo se referem ao tempo entre chegadas, ou seja, a quantidade de tempo que se passaram entre a saída de um produtor e a chegada de outro na plataforma

de descarga. Nos demais blocos as amostras se referem a quantidade de tempo necessária para que a tarefa correspondente seja realizada. Nesse trabalho a quantidade de tempo foi medida em minutos.

Através de uma ferramenta presente no ambiente do *software arena*® chamada *input analyzer* é possível identificar os tipos de distribuição de frequência que os conjuntos de amostras obedecem e pode-se gerar a expressão matemática que melhor descreve a distribuição. O *input analyzer* permite a importação de um arquivo que contenha os dados a serem analisados e fornece a análise estatística do conjunto e a expressão que descreve a curva de distribuição. Após a apresentação do relatório do *input analyzer* é preciso configurar os blocos do diagrama copiando a expressão fornecida pelo relatório na área chamada “*Expression*”.

O bloco nomeado “início” no diagrama representa uma entidade que nesse caso são sacos de cacau do produtor e a quantidade de entidades que chegam por vez, nesse trabalho a quantidade foi configurada para uma média de 10 sacos a cada chegada. Nas configurações do bloco “início” deve-se dar um nome para as entidades geradas, indicar a quantidade de entidades a cada chegada que nesse caso chegam em lotes de aproximadamente 10 sacos e inserir a expressão matemática que descreve a curva de distribuição das amostras de tempo coletadas.

Em seguida, é preciso configurar os demais blocos inserindo um nome para cada bloco que se refere a etapa do processo que ele representa, indicando o número de operadores e copiando a expressão correspondente gerada pelo *input analyzer*. Utilizando o *input analyzer* foi feita a identificação do tipo de distribuição de cada espaço amostral através dos histogramas gerados – disponíveis no apêndice B desse trabalho - e foi gerada uma expressão para cada distribuição.

A simulação feita pelo *software Arena*® leva em conta a teoria das filas e o tempo de operação do processo que corresponde a jornada de trabalho diária que nesse caso é de 8 horas por dia. Para rodar a simulação no *software Arena*® é preciso selecionar a aba “Rodar” clicar em “Configuração” e inserir os dados de número de replicações, duração da replicação, Quantidade de horas por dia e a unidade de tempo. Os dados utilizados estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Informações para configurar a simulação

Configurações	Informações do processo
Número de replicações	100
Duração da replicação	1 hora
Horas trabalhadas no dia	8 horas/dia
Unidade de medida de tempo base	Minutos

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Após a coleta dos dados de tempo necessários para o *software*, foi realizada a simulação do estado atual e do estado futuro da planta. No espaço de simulação do *software* Arena® foi construído o diagrama de blocos do estado atual do processo que está representado na Figura 20. Em seguida, com os dados de tempos das tarefas foi realizada a análise estatística com a ferramenta do *input analyzer* que possibilitou obter as expressões das distribuições de frequência para cada tarefa que estão na Tabela 3.

Figura 20 – Diagrama de blocos do estado atual do processo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 3 - Tipos de distribuição e Expressões correspondentes

Etapas	Tipo de distribuição	Expressão
Início.	Beta	$0.5 + 35 * \text{BETA} (1.08, 2.48)$
Descarga.	Normal	$\text{NORM} (11.2, 5.1)$
Pesagem.	Poisson	$\text{POIS} (1.85)$

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Ao realizar a simulação do processo atual o *software* Arena® pôde gerar um relatório da simulação. No relatório foi possível identificar dados como o tempo que agrega valor “*VATime*”, o tempo de espera do processo “*WaitTime*” e o tempo total do processo “*TotalTime*”; o relatório também mostrou o tempo de

fila de cada tarefa que indica se as tarefas tiveram filas ou não bem como a porcentagem de utilização de cada tarefa. Um resumo dos dados apontados pelo relatório gerado no Arena® está exposto nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Variáveis de tempos do processo atual

Variáveis	Valores
VATime	19,5 Minutos
WaitTime	1,6 Minutos
TotalTime	21 Minutos

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Com os dados da Tabela 4 foi possível constatar que o tempo de espera do processo atual é baixo e que sendo um processo simples e de poucas etapas ele tem um fluxo eficiente, pois o tempo de agregação de valor é quase igual ao tempo total do processo.

Já na Tabela 5 pôde-se observar que a etapa de descarga possui uma alta porcentagem de utilização – a taxa de utilização de uma tarefa corresponde a porcentagem do tempo diário de trabalho que o operador realmente trabalha - gerando filas na etapa seguinte que por sua vez tem uma porcentagem muito baixa de utilização.

Tabela 5 – Tempos de fila entre etapas e utilização do processo atual

Etapas	Tempo de fila	Utilização
Descarga	0	82%
Pesagem	20 segundos	12,3%

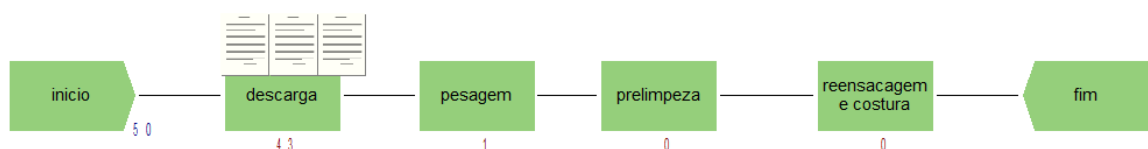
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Depois de realizar a simulação do processo atual foi executado o mesmo procedimento para a proposta de melhoria pensada para substituir o processo atual. O estado futuro do processo é mais complexo e possui mais etapas que o estado atual, pois nele estão inseridos novos equipamentos e tecnologias que devem trazer benefícios ao produto e agregar valor.

Para a simulação do estado futuro foi realizada a construção do diagrama

de blocos no espaço de trabalho do Arena® que está na Figura 21. Com base em uma estimativa de tempo de execução das tarefas foi possível obter amostras de tempos para realizar a análise estatística e obter as expressões da distribuição de frequência de cada etapa que estão na Tabela 6.

Figura 21 – Diagrama de Blocos da proposta de melhoria.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 6 – Tipos de distribuição e Expressões correspondentes

Etapas	Tipo de distribuição	Expressão
Início.	Beta	$0.5 + 35 * \text{BETA} (1.08, 2.48)$
Descarga.	Beta	$0.5 + 30 * \text{BETA} (1.62, 4.24)$
Pesagem.	Poisson	POIS (1.85)
Pré-limpeza.	Beta	$1.5 + 4 * \text{BETA} (0.957, 0.969)$
Reensacagem e costura	Lognormal	$1.68 + \text{LOGN} (0.582, 0.449)$

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Após configurar o *software* foi possível rodar a simulação e então extrair o relatório como as informações do processo. Os dados obtidos correspondem a uma aproximação e a proposta de melhoria e ainda não foi implementado. As informações obtidas com a simulação do processo em seu estado futuro estão nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Variáveis de tempos do processo futuro

Variáveis	Valores
VATime	15,5 Minutos
WaitTime	4,2 Minutos
TotalTime	19,7 Minutos

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 8 - Tempos de fila entre etapas e utilização do processo futuro

Etapas	Tempo de fila	Utilização
Descarga	10,8 Minutos	72,8%
Pesagem	0	14,7%
Pré-limpeza	0	24,7%
Reensacagem e costura	0	15,7%

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O relatório apresentou o percentual de utilização de cada etapa do processo que analisa o percentual de tempo de trabalho do operador/equipamento dentro da jornada total de 8 horas/dia. A etapa de Descarga teve 72,8% de utilização, o que significa que os operadores que realizam a tarefa de descarga passaram aproximadamente 6 das 8 horas de turno trabalhando. As demais etapas tiveram um percentual de utilização de respectivamente 14,7%, 24,7% e 15,7%; os valores baixos de utilização indicam que as etapas 2 a 4 estão ociosas na maior parte do tempo.

Esses resultados possibilitaram a identificação da etapa de descarga como gargalo do processo uma vez que a simulação no *software* arena® apontou uma utilização muito maior enquanto as demais etapas ficaram paradas na maior parte do tempo. Em seguida, a simulação apontou informações como o tempo de processo e o tempo de espera na fila para descarregar, essas informações eram desconhecidas pela empresa devido à ausência de dados de cronometragem.

Também foi possível identificar que devido aos percentuais de utilização estarem baixos, até mesmo a etapa de descarga teve um tempo de parada consideravelmente grande, os equipamentos podem ter suas capacidades reduzidas. O dimensionamento dos equipamentos foi realizado levando em consideração uma demanda máxima, porém existe uma margem de ajuste da capacidade de acordo com a Tabela 1, o que possibilita adquirir máquinas menos robustas. Entretanto, deve-se levar em conta que por se tratar de uma produção agrícola haverá anos como maior e menor produção.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma proposta de melhoria para o processo de pré-processamento e armazenagem de cacau, com foco no aumento do nível de automação e na modernização das operações realizadas na planta estudada. A partir da análise do processo atual, foi possível identificar limitações estruturais e elevado esforço físico exigido dos colaboradores, ausência de padronização na qualidade das sacarias recebidas. Esses fatores contribuíam para perdas de eficiência, riscos operacionais e variabilidade na qualidade final do produto.

Após a elaboração da proposta de reestruturação da linha produtiva, composta pela introdução de equipamentos como plataforma ajustável, esteiras transportadoras, máquina de pré-limpeza, ensacadeira digital e sistema automático de costura, foi criada uma proposta de integração dos equipamentos por meio de um CLP que possibilitaria um processo contínuo, com monitoramento das etapas, intertravamentos, maior segurança e coleta de dados para análises futuras.

Com a proposta elaborada foi feita uma simulação computacional no *software* Arena® para atestar viabilidade operacional da proposta e permitir a identificação do comportamento da linha sob condições de alta demanda, evidenciando gargalos e apontando oportunidades de expansão e balanceamento da capacidade produtiva.

Os resultados do presente trabalho envolveram inicialmente a criação da proposta de melhoria e a seleção dos equipamentos a serem utilizados. Em seguida, pôde-se listar o aumento do nível de automação do processo e a redução do esforço humano. A proposta de melhoria introduziu sistemas de esteiras e equipamentos para facilitar a descarga dos sacos de cacau e a movimentação deles na linha o que proporcionou uma esperada melhoria da eficiência, uma redução de desperdícios e um menor risco de acidente de trabalho.

Com a introdução da máquina de pré-limpeza e a reensacadeira pôde-se observar que a nova linha, se implementada, resultará em uma melhora na higiene e limpeza do produto e na padronização dos sacos. Pôde-se apresentar também a possibilidade de um descarte correto de impurezas que são orgânicas

na parte da peneira e resíduos poliméricos devido aos sacos não padronizados vindos do campo.

Como a integração dos equipamentos a partir do CLP pode-se apontar como resultados a comunicação entre as etapas da linha, a conversão em um processo contínuo, o monitoramento e a coleta de dados do processo pelo CLP e a capacidade de interromper o processo em determinadas circunstâncias evitando desperdícios, contaminações e/ou acidentes. Além disso, a partir dos relatórios do *software* Arena® obteve-se também dados do processo que apontaram a etapa de descarga como gargalo do processo e a formação de filas na etapa de descarga.

Os resultados alcançados nesse trabalho abrem espaço para trabalhos futuros como uma nova proposta de *layout* com paralelismo, uma proposta para a solução do gargalo da etapa de descarga seria a introdução de duas plataformas de descarga paralelamente na linha e a redução da capacidade das demais etapas para nivelar os tempos de utilização. Em seguida, pode ser criado um plano de manutenção para a linha produtiva introduzindo conceitos de manutenção preventiva e preditiva, com a capacidade de coleta de dados do CLP e o monitoramento da produção também pode ser realizado um controle estatístico de processos e a criação de um banco de dados da empresa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Hermes Alves de. **Influência dos elementos meteorológicos no lançamento foliar, na floração e frutificação do cacaueteiro (Theobroma cacao L.)**. 1986. 121 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-20231122-100510/pt-br.php>. Acesso em: 07 out. 2025.

APRIGIO, Andressa morais; DE PAULA, Gabriel Carrara Theodoro Garcia; DE PAIVA, Lívia Iglésias Corrêa; SALDANHA, Marcos Felipe Bonifácio; NAZARÉ, Tiago Bittencourt. Análise comparativa entre processos de fabricação através de simulações do software arena. **Revista Mythos**, v. 11, n. 1, p. 83–93, 2019. DOI: 10.36674/mythos.v11i1.257. Disponível em: <https://periodicos.unis.edu.br/mythos/article/view/257>. Acesso em: 04 dec. 2025.

FESTO. **Atuador compacto de dupla ação ADN**. 2025. Disponível em: https://www.festo.com/br/pt/p/atuador-compacto-de-dupla-acao-id_ADN/. Acesso em: 01 nov. 2025.

FESTO. **Atuador elétrico ESBF**. 2025. Disponível em: https://www.festo.com/br/pt/p/eixo-eletrico-id_ESBF/. Acesso em: 01 nov. 2025.

FESTO. **Atuador pneumático DSBC**. 2025. Disponível em: https://www.festo.com/br/pt/p/atuador-normalizado-id_DSBC/. Acesso em: 01 nov. 2025.

FESTO. **Atuador redondo, de dupla ação DSNU**. 2025. Disponível em: https://www.festo.com/br/pt/p/cilindro-redondo-acionamento-duplo-id_DSNU_PUB/. Acesso em: 01 jun. 2025.

BAAL, E.; CERETTA, A. G.; ARCOS, R. A. G.; BORTOLAIA, L. A.; SILVA, L. C.; ROMANO, L. N.; GARGIONI, S. L.; VALDIERO, A. C. Demandas e soluções de engenharia no setor de pós-colheita de grãos. **Cuadernos de Educación y Desarrollo - QUALIS A4**, v. 16, n. 13, p. e6912, 2024. DOI: 10.55905/cuadv16n13-065. Disponível em: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/6912>. Acesso em: 12 nov. 2025.

ALIBABA. **Balança industrial de plataforma**. 2025. Disponível em: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/3000-Kg-Digital-Floor-Luggage-Weight-1600457510643.html>. Acesso em: 01 nov. 2025.

BARATEIRO, C.; EMERIK, R. Industry 4.0 e o Controle de Processos: desafios para determinar o grau de automação das plantas. In: Congresso Rio Automação Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis–IBP, Rio de Janeiro, Brasil. 2019, Rio de Janeiro, **Anais** [...]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333992244_INDUSTRY_40_E_O_CO

CONTROLE DE PROCESSOS DESAFIOS PARA DETERMINAR O GRAU DE AUTOMAÇÃO DAS PLANTAS. Acesso em: 02 jul. 2025.

BARBOSA, Lucas Pencinato; BARBOSA, Vinícius de Oliveira; CANAZARO, Joelmir Vinhoza. Automação industrial nacional: perspectivas e desafios do futuro. **Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico**, v. 6, n. 1, jun. 2020. Disponível em: <https://reinpec.cc/index.php/reinpec/article/view/544>. Acesso em: 09 mai. 2025.

BEISE, Marlon. **Automação Industrial Aliada à Produção Enxuta: Caminhos Para Melhoria e Otimização de Processos**. Santa Cruz do Sul: UNISC, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unisc.br/jspui/handle/11624/1537>. Acesso em: 26 mai. 2025.

BERTI, Ederson Batista; CUSTÓDIO, Eliane Silva. Desenvolvendo um CLP com expansão e programado com linguagem Open Source. **Caderno Progressus**, v. 4, n. 8, p. 24–37, 2024. Disponível em: <https://www.cadernosuninter.com/index.php/progressus/article/view/3243>. Acesso em: 10 mai. 2025.

BRANDALISE, Loreni Teresinha; ROJO, Claudio Antonio; DA MATA, Daniela Mendes; DE SOUZA, Almir Ferreira. Simulação de Cenários e Formulação de Estratégias Competitivas: o caso do atacado liderança. **Revista Gestão & Tecnologia, Pedro Leopoldo**, v. 12, n. 1, p. 223–257, dez. 2012. Disponível em: <https://revistagt.fpl.emnuvens.com.br/get/article/view/464>. Acesso em: 06 mai. 2025.

CITON, Júlia Elisa Argenta; DA ROSA, Melissa Dietrich. **Estudo de caso de melhoria de processo utilizando a metodologia lean em empresa do ramo calçadista: automatização do método de obtenção de massas de modelamentos de plastisol no software nx**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Mecânica – IFRS – Câmpus Farroupilha, Farroupilha, 2021. Disponível em: <https://dspace.ifrs.edu.br/xmlui/handle/123456789/1722>. Acesso em: 09 mai. 2025.

COELHO, Igor Freitas Soares; NEVES, Diego da Silva; MACHADO, Vitor Pereira Contage; DUARTE, João Paulo Bittencourt da Silveira. Automação industrial no brasil: análise dos benefícios e perspectivas futuras. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 10, p. 2518–2525, 16 out. 2024. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/16051>. Acesso em: 06 mai. 2025.

WEG. **Controlador Lógico Programável PLC500**. 2025. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controle-de-Processos/Controladores-L%C3%B3gicos-Program%C3%A1veis/Controlador-L%C3%B3gico-Program%C3%A1vel-PLC500/Controlador-L%C3%B3gico-Program%C3%A1vel-PLC500/p/MKT_WDC_BRAZIL_PROGRAMMABLE_LOGIC_CONTROLLER_PLC500. Acesso em: 01 mai.

2025.

COSTA, Tales Silva. **Simulação de processos como auxílio ao planejamento estratégico e apoio nas tomadas de decisões**. 2016. 33 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2016. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/235>. Acesso em: 11 mai. 2025.

COUTINHO, Anderson Aparecido; MOURA, Luis Paulo De; COUTINHO Rafael Rodolfo; GAYER, Vânia. Ferramentas da qualidade na gestão do processo produtivo do Setor de vulcanização de uma empresa automotiva. **Revista científica da faex/ e-locução**, v. 10, n. 20, ISSN 2238-1899, 2020. DOI: <https://doi.org/10.57209/e-locucao.v1i20.401>. Disponível em: <https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucao/article/view/401>. Acesso em: 19 jan. 2026

DE CARVALHO, Diego Bernardo. **Importância da implantação de controlador lógico programável para a automação industrial**. 2017. Monografia (Engenharia de Controle e Automação) - Faculdade Pitágoras de Poços de Caldas, Poços de Caldas, 2017. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/handle/123456789/19626>. Acesso em: 10 mai. 2025.

DEL RÍO, Daniel Guzmán; CISNEROS, Edry Antonio Garcia; TORNÉ, Israel Gondres; NETO, Joao Evangelista; FIGUEIREDO, Ingrid S. Gadelha; TORRES, Aristides Rivera; SOUZA; Marcus Antônio Oliveira Nicácio; NASCIMENTO, Odinelma dos Aboim. Análise da eficiência energética por meio da simulação de processos industriais: uma abordagem complementar na Indústria 4.0. **Peer Review**, v. 5, n. 1, p. 245–258, 23 fev. 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/368770952_Analise_da_eficiencia_en_ergetica_por_meio_da_simulacao_de_processos_industriais_uma_abordagem_complementar_na_Industria_40. Acesso em: 08 mai. 2025.

DESPONTIN, Maiara Alonso. **Zoneamento agroclimático e de risco climático para a cultura do cacau (Theobroma cacao L.) no estado do Pará**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. doi:10.11606/D.11.2019.tde-13032019-160707. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-13032019-160707/pt-br.php>. Acesso em: 02 out. 2025.

PAGÉ. **Elevadores**. 2025. Disponível em: <https://www.page.ind.br/produtos/16-elevadores-de-cereais/>. Acesso em: 02 nov. 2025.

WAIG. **Ensacadeira digital**. 2025. Disponível em: <https://www.Waig.com.br/ensacadeira-digital/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

WAIG. **Ensacadeira duplo pulmão**. 2025. Disponível em: <https://www.waig.com.br/ensacadeira-duplo-pulmao/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

ALUMINOX. **Esteira tipo caneca para grãos**. 2025. Disponível em: <https://www.aluminoxmontagem.com.br/produtos/esteiras-transportadoras/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

WAIG. **Esteira transportadora móvel**. 2025. Disponível em: <https://www.waig.com.br/esteira-transportadora-dalla-eletrica/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

AGROFY. **Esteiras transportadoras**. 2025. Disponível em: https://www.agrofy.com.br/esteira-transportadora-dalla-207764.html?srsId=AfmBOookmuH-54n_hqFLjqCD9Eg0JXkzxHvVGZ7-lasJyAWH8wPr_ixF. Acesso em: 01 nov. 2025.

FERREIRA, Bárbara Cristina Ferrão; PIEREZAN, Milena Dutra; MALAGHINI, Claudio Marcos Eugênio; MANASSI, Cynthia Farias; VERRUCK, Silvani. Processamento de cacau e chocolate: influência sobre a qualidade do produto final. In: VERRUCK, Silvani (org.). **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 5, n. 1, p. 300-334, 2021. Editora Científica. ISBN 978-65-5360-031-7. DOI: 10.37885/211106835. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/processamento-de-cacau-e-chocolate-influencia-sobre-a-qualidade-do-produto-final>. Acesso em: 26 set. 2025.

FILHO, Francisco Chagas Da Silva. Modelagem de problemas de engenharia: solução de equações diferenciais parciais pelo método dos elementos finitos. **Revista Tecnologia**, v. 26, n. 2, 2009. Disponível em: <https://ojs.Unifor.br/tec/article/view/95>. Acesso em: 10 mai. 2025.

FREITAS, Elton da Silva; LEMOS, Herick Talles Queiroz; DE ANDRADE, Humberto Dionísio; PAIVA, José Lucas da Silva. Aplicação de tecnologias de Automação industrial para melhoria de processos de produção: um estudo de caso. **Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica**, v. 2, n. 1, p. 92–102, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/r4em/article/view/9587>. Acesso em: 30 abr. 2025.

GIANELLI, Christian da Silva. Problemas de Empacotamento e Corte: Uma Aplicação à Indústria Siderúrgica. **Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial**, Florianópolis, v. 18, n. 1, 2025. DOI: 10.18624/etech.v18i1.1397. Disponível em: <https://etech.sc.senai.br/revista-cientifica/article/view/1397>. Acesso em: 08 out. 2025.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6ª edição. São Paulo: Atlas, 2008.

KIM, Yong Cheon; KWON, Dai Young; LEE, Won Gyu. Computational Modeling and Simulation for Learning an Automation Concept in Programming Course. **International Journal of Computer Theory and Engineering**, v. 6, n. 4, p.

341–345, 2014. Disponível em:

<https://www.ijcte.org/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=57&id=107>

. Acesso em: 13 mai. 2025.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5ª edição. São Paulo: Atlas, 2003.

PAGÉ. **Limpeza e Pré-limpeza**. 2025. Disponível em:

<https://www.page.ind.br/produtos/14-maquinas-de-pre-limpeza-e-limpeza/>.

Acesso em: 02 nov. 2025

WAIG. **Moega**. 2025. Disponível em: <https://www.waig.com.br/moega-para-ensacadeiras/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

MOREIRA, Marco Antonio. Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 2, 2014. Disponível em:

<http://hdl.handle.net/10183/132559>. Acesso em: 12 mai. 2025.

WEG. **Motor de alta tensão**. 2025. Disponível em:

https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Alta-Tens%C3%A3o/Usos-Gerais/BR_MT_3PHASE_HV_GENERALPURPOSE?h=85b424e9. Acesso em: 01 nov. 2025.

WEG. **Motor de baixa tensão**. 2025. Disponível em:

https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Baixa-Tens%C3%A3o/Usos-Gerais/BR_MT_3PHASE_LV_GENERALPURPOSE?h=4c10c7cd. Acesso em: 01 nov. 2025.

MOURAD, Ricardo Bussab Abou. **Método de Análise do Nível de Automação de Linhas de Montagem em um Ambiente de Manufatura Enxuta**. 2018. Dissertação (mestrado engenharia mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.unicamq.br/acervo/detalhe/1128729>. Acesso em: 11 mai. 2025.

NASCIMENTO, Vinicius Vicente Frazão do; PEREIRA, Guilherme Fragoso Xavier; MELO, Carlos Cicinato Vieira; FREIRE, Ana Izabella; SOUZA, Filipe Bittencourt Machado de; MARTINS, Athila Damasceno. Análise logística na produção de grãos no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. 2525-3409, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30597>.

Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/361077032AnaliseLogisticaNaProducaoDeGrãosNoBrasil>. Acesso em: 01 out. 2025.

OLIVEIRA, Mariza de Jesus. **Proposta de melhoria para redução de perdas de embalagens e retrabalho no setor ensaque em uma usina de**

beneficiamento de sementes. 2025. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2025. Disponível em:
<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/45836> Acesso em: 02 out. 2025.

OLIVEIRA, Rafael de Lima; TAVARES, Roberto Ramalho; DOS SANTOS, Rafael Henrique; FRAZÃO, Marcos Celestino; NETO, José Marcos Correia. Simulação do envasamento do processo de hidrogenação em uma indústria química com o software Arena. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 13. 2023, Evento Online. **Anais** [...]. APREPRO, 2023. Disponível em:
<https://aprepro.org.br/conbrepro/anais/2023/arquivos/1001202310105765197941e8d5d.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2025.

PEREIRA, Rafael Zucente; HERCULANI, Rhadler. A utilização do software arena na otimização de processos de descarga de mercadorias. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, SP, v. 16, n. 2, p. 74–85, 2019. DOI: [10.31510/infa.v16i2.643](https://doi.org/10.31510/infa.v16i2.643). Disponível em:
<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/643>. Acesso em: 07 out. 2025.

METARO. **Plataforma ajustável de carga e descarga**. 2025. Disponível em:
<https://metaro.com.br/blog/plataforma-de-carga-3-opcoes-que-podem-mudar-seus-processos-para-melhor/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

REZENDE, E. A.; ALBUQUERQUE, H. M.; PEREIRA, R. M.; NOGUEIRA, V. N. Redenção nas terras do sem-fim? Desafios da transferência tecnológica e ação empreendedora na cadeia produtiva do cacau. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 22, n. 8, p. e16840, 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n8-005. Disponível em:
<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/16840>. Acesso em: 12 nov. 2025.

RIBEIRO, Paula Bonassoli Dos Santos Batista. **Avaliação das capacidades real e instalada no pré-processamento de grãos de soja na unidade Brejeiro Anápolis**. 2015. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação (Bacharel em Engenharia Agrícola) - Campus Central - Sede: Anápolis - CET - Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO. Disponível em:
<https://repositorio.ueg.br/jspui/handle/riueg/4641> Acesso em: 02 out. 2025.

RODRIGUES, Edvania Rocha; BÓ, Micheli Dal; GANZER, Paula Patrícia; NODARI, Cristine Hermann; OLEA, Pelayo Munhoz; DORION, Eric Charles Henri; SILVA, Oberdan Teles; D'AVILA, Alfonso Augusto Fróes. Inovação tecnológica em produtos e processos: estudo de caso em empresa de automação industrial. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**, v. 1, n. 1, p. 1–9, 2016. Disponível em:
<https://revistas.ifpr.edu.br/index.php/mundietg/article/view/857> . Acesso em: 29 abr. 2025.

SANTIAGO, Michel Thompson Ferreira; RIBEIRO, Carlos Augusto Francisco de

Jesus; MARINHO, Euler Bentes dos Santos; PEREIRA, Bruno Teixeira; DOS SANTOS, Uarnei Souza; FERREIRA, Tiara Borges Santiago. Automação industrial aplicada a indústria automobilística. **Revista Internacional de Pesquisa de Desenvolvimento**, Camaçari, BA, v. 9, n. 12, p. 32732-32739, 2019. DOI: 10.37118/ijdr. Disponível em: <https://www.journalijdr.com/automa%C3%A7%C3%A3o-industrial-aplicada-aind%C3%BAstria-automobilistica>. Acesso em: 09 mai. 2025.

SANTOS, Ricardo Aparecido; CARVALHO, Andréa dos G. de. Tecnologia e equipamentos utilizados em processos de armazenamento de grãos. **Revista Interação Interdisciplinar (ISSN: 2526-9550)**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 72–87, 2025. DOI: [10.35685/mamthm64](https://publicacoes.unifimes.edu.br/443/index.php/interacao/article/view/4434). Disponível em: <https://publicacoes.unifimes.edu.br/443/index.php/interacao/article/view/4434>. Acesso em: 11 nov. 2025.

SCHEEPENS, Piet; HOEVERS, Rik; ARULAPPAN, Francis Xavier; PESCH, Gerard. **Armazenamento de produtos agrícolas**. 3ª edição. Wageningen: Fundação Agromisa e CTA, 2011.

SCHMIDT, F. Monitoramento de uma Unidade de beneficiamento de sementes de milho. **Agropecuária Catarinense**, v. 33, n. 1, p. 24–27, 2020. DOI: 10.52945/rac.v33i1.462. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/462>. Acesso em: 01 out. 2025.

PAGÉ. **Secadores**. 2025. Disponível em: <https://www.page.ind.br/produtos/15-secadores-de-cereais/>. Acesso em: 02 nov. 2025

SENA, José Vladimir Cardoso. **Produção e efetivo do cacau no Nordeste**. Fortaleza: Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE, Ambiente de Estudos, Pesquisas e Avaliação – AEPA, Coordenadoria de Estudos Rurais e Agroindustriais – COERG, 2011. (Informe Rural ETENE). Disponível em: <s1dsp01.dmz.bnb:8443/s482-dspace/handle/123456789/983>. Acesso em: 25 set. 2025.

WEG. **Sensor Capacitivo**. 2025. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Seguran%C3%A7a-de-M%C3%A1quinas%2C-Sensores-Industriais-e-Fontes-de-Alimenta%C3%A7%C3%A3o/Sensores-Industriais/Sensores-Capacitivos/Sensores-Industriais---Sensores-Capacitivos/p/MKT_WDC_BRAZIL_SENSORS_CAPACITIVE_SENSORS. Acesso em: 01 mai. 2025.

WEG. **Sensor Indutivo**. 2025. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Seguran%C3%A7a-de-M%C3%A1quinas%2C-Sensores-Industriais-e-Fontes-de-Alimenta%C3%A7%C3%A3o/Senosres-Industriais/Sensores-Indutivos/Sensores-Indutivos-Linha-SL/Sensores-Indutivos-Linha-SL/p/MKT_WDC_BRAZIL_SENSORS_INDUCTIVE_SENSORS. Acesso em: 01 mai. 2025.

WEG. **Sensor Magnético**. 2025. Disponível em:
https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Seguran%C3%A7a-de-M%C3%A1quinas%2C-Sensores-Industriais-e-Fontes-de-Alimenta%C3%A7%C3%A3o/Se%20nsensores-Industriais/Sensores-Magn%C3%A9ticos/Sensores-Magn%C3%A9ticos/p/MKT_WDC_BRAZIL_SENSORS_MAGNETIC_SENSORS. Acesso em: 01 mai. 2025.

WEG. **Sensor Óptico**. 2025. Disponível em:
https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Seguran%C3%A7a-de-M%C3%A1quinas%2C-Sensores-Industriais-e-Fontes-de-Alimenta%C3%A7%C3%A3o/Sensores-%C3%93pticos/Sensores-%C3%93pticos/p/MKT_WDC_BRAZIL_SENSORS_OPTIC_SENSORS. Acesso em: 01 nov. 2025.

SILEVIRA, Leonardo; LIMA, Weldson Q. **Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial**. 2003. PPgEE – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica - Campus Universitário - Lagoa Nova - Natal-RN - 59072-970, UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, maio 2003. Disponível em:
www.dca.ufrn.br/~maitelli/cursos/clp. Acesso em: 03 mai. 2025.

PAGÉ. **Silo de fundo cônico**. 2025. Disponível em:
<https://www.page.ind.br/produtos/13-silos-de-fundo-conico/>. Acesso em: 02 nov. 2025.

SILVA, Vivian Aparecida da; SILVA, Mayara Thais Soares da; SANTIS, Sandra Helena da Silva de; ASSIS, Cleverson Faber de. Análise de transição do processo de corte manual para laser visando aumento de produtividade numa empresa de transformadores em suzano. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 11, n. 6, p. 3143–3157, 2025. DOI: 10.51891/rease.v11i6.19894. Disponível em:
<https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/19894>. Acesso em: 19 jan. 2026.

SILVA, André Luiz Emmel; SILVEIRA, Tiago da; MORAES, Jorge André Ribas; BRUM, Tonia Magali Moraes. Proposta de automação industrial em uma empresa fabricante de borrachas escolares. **Revista Gestão Inovação e Tecnologias**, v. 8, n. 1, p. 4259–4172, 2018. Disponível em:
https://www.academia.edu/69760850/Proposta_De_Automa%C3%A7%C3%A3o_Industrial_Em_Uma_Empresa_Fabricante_De_Borrachas_Escolares. Acesso em: 08 mai. 2025.

SILVA, Angela Maria Miranda; DE SOUZA, Jesus Nazareno Silva. Experiências de campo com produtoras e produtores do cacau de várzea no Baixo Moju/PA: contribuições da pesquisa à comunidade. **C4C–Caderno 4 Campos: Periódico Discente do PPGA/IFCH/UFPA**, v. 8, n. 1, p. 32-46, 2024. Disponível em:
<https://periodicos.ufpa.br/index.php/caderno4campos/article/view/18943>. Acesso em: 25 set. 2025.

SILVA, J. V. O. Automação e controle de qualidade em reatores industriais. **Revista Contemporânea**, v. 4, n. 12, p. e7040, 2024. DOI: 10.56083/RCV4N12-203. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/7040>. Acesso em: 08 out. 2025.

WAIG. **Sistema de costura automático**. 2025. Disponível em: <https://www.waig.com.br/sistema-de-costura-saco-raschel/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

WAIG. **Sistema de costura de sacos**. 2025. Disponível em: <https://www.waig.com.br/sistema-de-costura-industrial-cw35/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

PAGÉ. **Sistema de pré-limpeza**. 2025. Disponível em: <https://www.page.ind.br/produtos/14-maquinas-de-pre-limpeza-e-limpeza/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

SPERANDIO, M.; COELHO, J. Métodos de programação inteira aplicados ao planejamento da automação de sistemas de manobra em redes de distribuição. **Revista Controle & Automação**, v. 21, p. 463–476, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ca/a/NZYTDZVh3L8cwjf9ZZT4FS/>. Acesso em: 12 mai. 2025.

TROGELLO, E.; NOBRE, D. A. C.; KOLLING, E. M.; MODOLO, A. J.; TROGELLO, A. G. Acompanhamento de uma unidade beneficiadora de sementes de milho: estudo de caso. **Revista brasileira de milho e sorgo**, v. 12, n. 2, p. 193–201, 2013. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms. v12n2p193-201. Disponível em: <https://rbms.sede.embrapa.br/ojs/article/view/411>. Acesso em: 01 out. 2025.

FESTO. **Válvula duplo solenoide**. 2025. Disponível em: https://www.festo.com/br/pt/p/valvula-solenoide-id_VSNC/?categoryCode=pim229. Acesso em: 01 nov. 2025.

FESTO. **Válvula solenoide VSNC**. 2025. Disponível em: https://www.festo.com/br/pt/p/valvula-solenoide-id_VSNC/?CategoryCode=pim229. Acesso em: 01 nov. 2025.

VIDAL, M. F. CACAU. **Caderno Setorial ETENE**, Fortaleza, v. 9, n. 343, julho, 2024. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2885>. Acesso em: 28 set. 2025.

WEG. **WEG Ladder Programmer (WLP)**. 2025. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-ontrole-Industrial/Drives/Softwares/WEG-Ladder-Programmer-%28WLP%29/WEG-Ladder-Programmer-%28WLP%29/p/M_KT_WDC_BRAZIL_SOFTWARE_WLP. Acesso em: 01 set. 2025.

WENNECK, Gustavo Soares; OLIVEIRA, Giovanna Gabriela de; SÁ, Nathália de Oliveira; ARAÚJO, Larissa Leite de; PEREIRA, Gustavo Lopes; SAATH, Reni. **Armazenamento de sementes de trigo em diferentes embalagens**. In: **XII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica**, 2021, Maringá. Anais [...]. Maringá: Unicesumar, 2021. Disponível em: <http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/9625>. Acesso em: 2 out. 2025.

XAVIER, Andreza Batista; CANDIDO, Kerollany Halley Fonseca; ROBERTO, José Carlos Alves; SOUTO, Sistina Pereira. A automação industrial como solução e não como ameaça aos trabalhadores. **Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)**, v. 14, n. 6, p. 9019–9032, 2023. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/2278>. Acesso em: 06 mai. 2025.

APÊNDICE A – Amostras de tempo usadas na simulação do *Software Arena*[®]

Estado atual:

Amostras de Chegadas:

1, 2, 1, 3, 5, 3, 6, 1, 2, 6
5, 4, 8, 3, 6, 5, 6, 8, 5, 3
2, 1, 4, 5, 3, 6, 5, 3, 4, 2
4, 3, 5, 6, 9, 10, 12, 15, 14, 15
16, 19, 20, 18, 16, 15, 13, 20, 25, 24
20, 19, 18, 20, 16, 15, 14, 12, 15, 13
16, 10, 9, 15, 12, 18, 15, 11, 9, 8
10, 15, 16, 20, 25, 14, 30, 35, 20, 22

Amostras dos tempos de descarga:

12, 7, 17, 10, 4, 11, 7, 18, 14, 3
12, 7, 17, 8, 6, 12, 22, 10, 11, 7
14, 18, 5, 7, 12, 17, 3, 16, 10, 12
8, 17, 11, 7, 12, 32, 4, 6, 14, 7
18, 10, 12, 17, 3, 8, 7, 11, 6, 12
17, 10, 7, 16, 12, 14, 18, 7, 10, 17
11, 12, 7, 3, 8, 17, 12, 10, 7, 11
18, 14, 6, 12

Amostras dos tempos de pesagem:

1, 2, 1, 3, 2, 1, 2, 1, 3, 1
2, 4, 1, 3, 2, 1, 2, 1, 1, 1
2, 2, 4, 1, 3, 1, 2, 2, 4, 4
1, 2, 3, 3, 1, 3, 1, 1, 2, 1

1, 1, 2, 4, 3, 1, 1, 1, 1, 1

2, 1, 2, 1, 2, 1, 3, 1, 1, 2

1, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 1, 2, 4

1, 1, 1, 2, 2, 3, 4, 1, 2, 2

Estado Futuro:

Amostras de Chegadas:

1, 2, 1, 3, 5, 3, 6, 1, 2, 6

5, 4, 8, 3, 6, 5, 6, 8, 5, 3

2, 1, 4, 5, 3, 6, 5, 3, 4, 2

4, 3, 5, 6, 9, 10, 12, 15, 14, 15

16, 19, 20, 18, 16, 15, 13, 20, 25, 24

20, 19, 18, 20, 16, 15, 14, 12, 15, 13

16, 10, 9, 15, 12, 18, 15, 11, 9, 8

10, 15, 16, 20, 25, 14, 30, 35, 20, 22

Amostras dos tempos de descarga:

5, 2, 5, 10, 9, 6, 5, 3, 1, 10

15, 12, 10, 5, 6, 4, 2, 9, 11, 14

5, 9, 10, 12, 15, 20, 5, 10, 12, 10

5, 15, 8, 1, 6, 5, 10, 14, 15, 10

8, 5, 1, 15, 10, 5, 8, 3, 10, 1

15, 16, 5, 9, 10, 30, 1, 5, 6, 9

10, 15, 15, 16, 5, 15, 6, 12, 5, 4

9, 8, 5, 10, 16, 15, 2, 4, 8, 10

Amostras dos tempos de pesagem:

1, 2, 1, 3, 2, 1, 2, 1, 3, 1

2, 4, 1, 3, 2, 1, 2, 1, 1, 1

2, 2, 4, 1, 3, 1, 2, 2, 4, 4

1, 2, 3, 3, 1, 3, 1, 1, 2, 1
1, 1, 2, 4, 3, 1, 1, 1, 1, 1
2, 1, 2, 1, 2, 1, 3, 1, 1, 2
1, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 1, 2, 4
1, 1, 1, 2, 2, 3, 4, 1, 2, 2

Amostras dos tempos de Pré-limpeza:

3, 5, 2, 4, 3, 5, 5, 4, 5, 2
3, 4, 2, 5, 3, 4, 2, 3, 2, 3
2, 3, 4, 5, 3, 5, 4, 5, 3, 2
5, 4, 2, 5, 4, 3, 2, 5, 3, 2
4, 2, 5, 5, 4, 2, 3, 5, 5, 4
2, 3, 5, 4, 2, 3, 4, 5, 3, 2
2, 5, 2, 2, 5, 3, 4, 2, 5, 3
4, 2, 3, 4, 2, 5, 3, 4, 2, 5

Amostras dos tempos de reensacagem e costura:

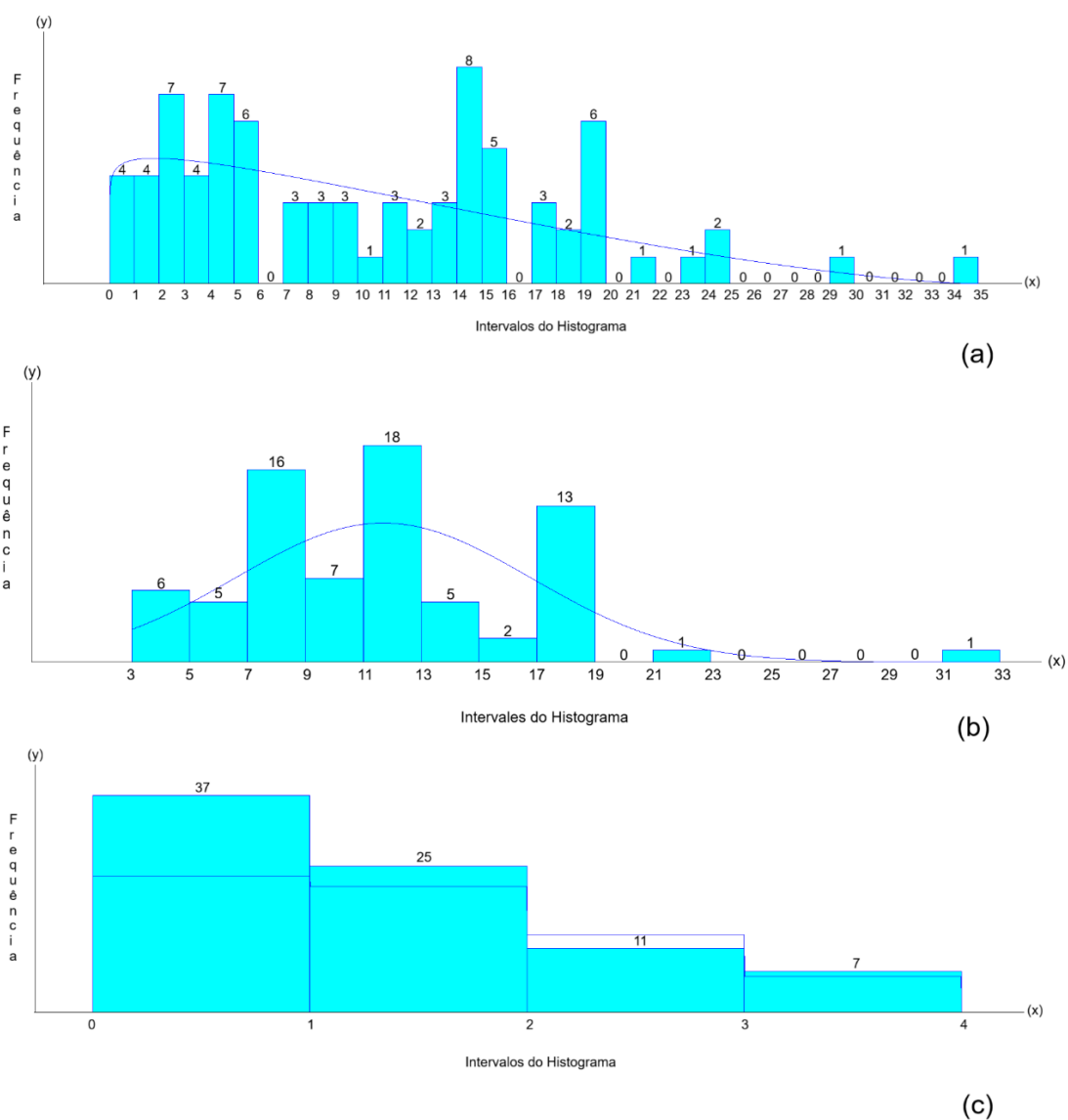
1.9, 2.0, 1.8, 2.5, 3.0, 2.9, 2.0, 2.8, 1.9, 2.0
2.0, 1.9, 2.5, 3.0, 2.9, 2.0, 2.0, 2.0, 2.8, 1.8
2.0, 3.0, 2.0, 2.0, 2.5, 2.0, 2.2, 3.0, 2.0, 2.0
2.0, 2.0, 2.5, 2.3, 2.9, 1.9, 2.0, 2.0, 2.0, 1.9
3.0, 2.0, 2.0, 1.8, 2.5, 2.9, 2.0, 2.0, 2.0, 1.9
3.0, 2.5, 2.9, 2.0, 2.0, 3.0, 2.4, 2.5, 2.0, 2.1
1.9, 2.0, 2.0, 2.0, 2.5, 2.8, 3.0, 2.9, 2.0, 2.0
2.0, 2.2, 2.5, 3.0, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 1.8, 2.0

APÊNDICE B – Histogramas gerados pelo *Input analyzer*

Estado Atual:

Na Figura 22 estão os histogramas gerados para as etapas do processo, em que (a) é o gráfico referente aos dados de chegadas, (b) é referente a etapa de descarga e (c) é referente a etapa de pesagem.

Figura 22 – Histogramas referentes a simulação do estado atual

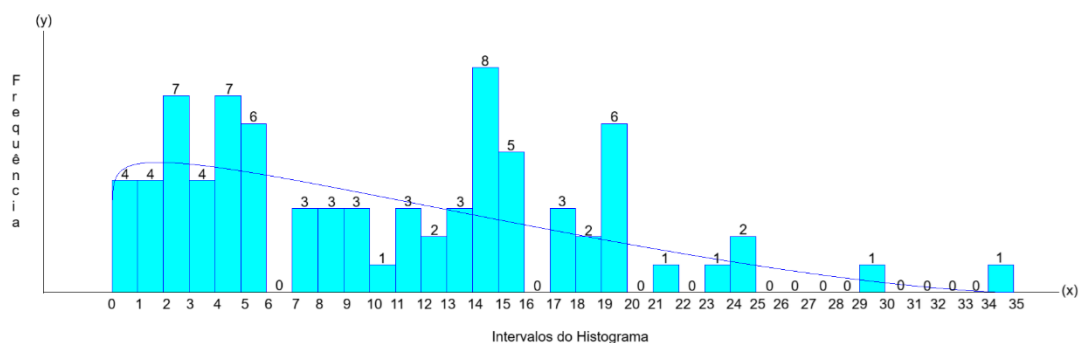


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

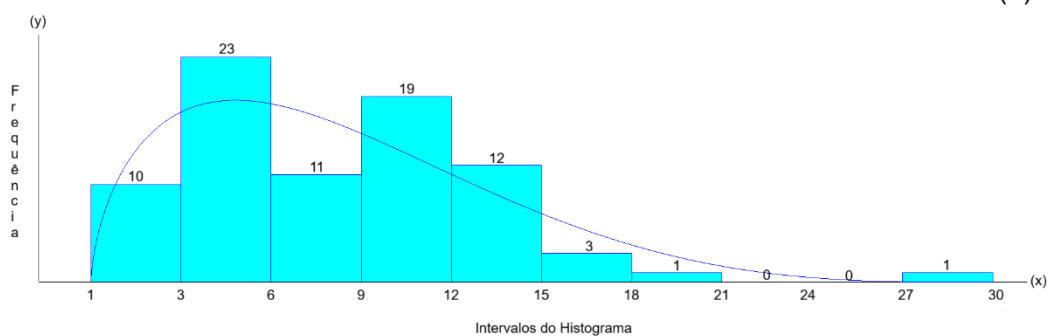
Estado Futuro:

Na Figura 23 estão os histogramas gerados para as três primeiras etapas do processo, em que (a) é o gráfico referente aos dados de chegadas, (b) é referente a etapa de descarga e (c) é referente a etapa de pesagem.

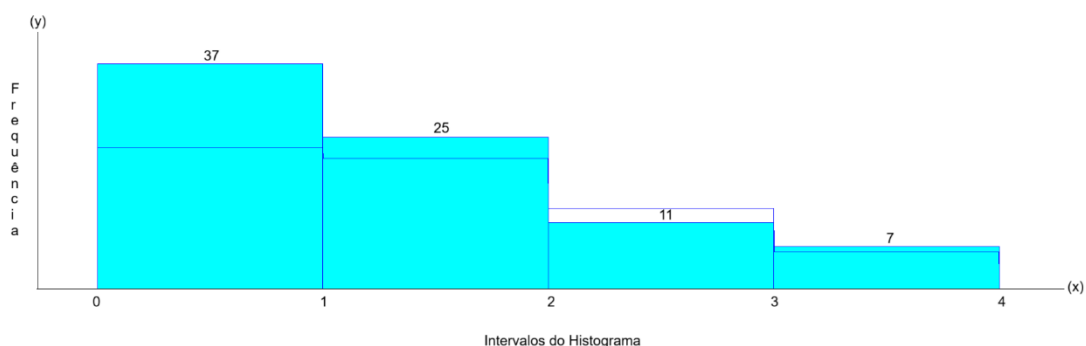
Figura 23 – Histogramas referentes a chegadas, descarga e pesagem



(a)



(b)



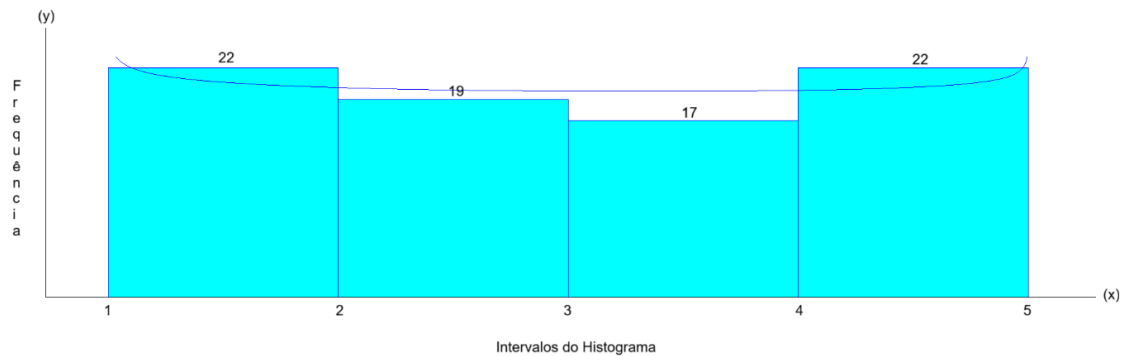
(c)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

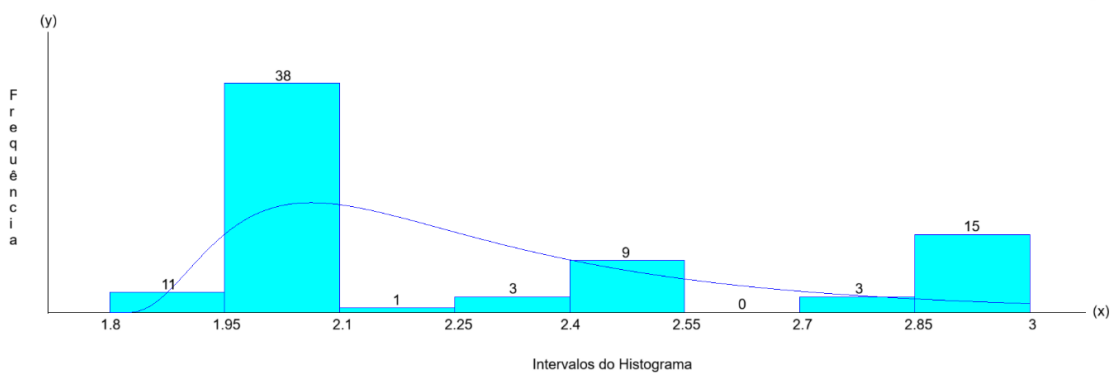
Na Figura 24 estão os histogramas gerados para as últimas etapas do processo, em que (a) é o gráfico referente a etapa de pré-limpeza e (b) é

referente a etapa de reensacagem e costura.

Figura 24 – Histogramas referentes a Pré-limpeza e Reensacagem/costura



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).