



**PABLO PEREIRA SPAGGIARI SOUZA**  
**VICTOR SCARANO ANDRADE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA  
AUTOMAÇÃO DA INSPEÇÃO DE COMPONENTES  
AUTOMOTIVOS**

**LAVRAS – MG**  
**2019**

**PABLO PEREIRA SPAGGIARI SOUZA  
VICTOR SCARANO ANDRADE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA AUTOMAÇÃO DA  
INSPEÇÃO DE COMPONENTES AUTOMOTIVOS**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação para obtenção do título de Bacharel.

**Prof. Dr. Fábio Lucio Santos  
Orientador**

**LAVRAS – MG  
2019**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras, todos os professores e funcionários que proporcionaram oportunidades e conhecimento.

Aos amigos que permitiram que a caminhada pela graduação fosse mais leve e divertida.

Ao nosso professor-orientador Fábio Lúcio Santos, pela paciência, apoio e orientação.

A empresa Equitron e todos seus colaboradores que participaram deste projeto e nos auxiliaram nessa caminhada.

Às nossas famílias por todo amor e carinho.

## RESUMO

A presente proposta foi idealizada com base nas experiências de um dos autores na empresa Equitron Automação Eletrônico Mecânica LTDA. Observou-se os trabalhos manuais de inspeção visual referentes a última etapa do processo de produção da coluna da direção elétrica. A inspeção dos componentes manufaturados com intuito de garantir a funcionalidade e qualidade na montagem final eram um fator que aumentava o tempo de produção e além dos custos adicionais, relativo ao erro humano durante verificação, ocorrendo o envio de produtos defeituosos ao cliente. Idealização e desenvolvimento de uma bancada com um robô e um sistema de visão automatizados que permite a análise de cada componente exigidos pelos padrões de qualidade de produto, de forma a acelerar o processo final de produção. Foi realizado um levantamento de dados para verificar a viabilidade econômica, benefícios a curto e longo prazo, comparações entre alternativas para garantir uma solução lucrativa e eficiente para empresa, utilizando-se de um estudo relevante no campo de atuação de um engenheiro de Controle e Automação. A utilização de ferramentas, conceitos e técnicas da automatização industrial na elaboração do projeto, visa o aprimoramento do processo produtivo, dentro dos resultados espera-se um aumento do fluxo produtivo e confiabilidade, redução de custos, e eficiência do processo em questão.

**Palavras Chave:** Automação, Inspeção visual, Controle de qualidade, Sistema de visão automatizado.

## ABSTRACT

The project was idealized based on one of the author's working experience in the company Equitron Automação Eletrônico Mecânica LTDA. The last process in manufacturing the electrically powered steering was observed. Inspection of the manufactured components to ensure functionality and quality in the final assembly was a factor that increased the production time and the costs were, related to human error during an inspection, sending defective products to the customer. Design and development of a workbench with an automated robot and vision system will enable the analysis of each component required by product quality standards to accelerate the final production process. A data survey was conducted to verify the economic viability, short and long-term benefits, comparisons between alternatives to ensure a profitable, and efficient solution for the company, using a relevant study in the field of performance of a Control and Automation engineer. The use of industrial automation tools, concepts and techniques in project design aims to improve the production process. As a result, it is expected to have an increased production flow and reliability, reduced costs and improved process efficiency.

**Keywords:** Automation, Visual inspection, Quality control, Automated vision system.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de visão Keyence.....	12
Figura 2 - Sistema de visão FQ2 Omron .....	13
Figura 3 - Bloco de válvulas SMC. ....	13
Figura 4 – Robô KUKA. ....	14
Figura 5 - Robô Omron Adept Viper 850.....	14
Figura 6 - CLP Siemens ET200S. ....	15
Figura 7 - CLP Omron NX-series.....	15
Figura 8 - IHM Siemens – TP700 Basic. ....	16
Figura 9 - IHM Omron NB Designer. ....	16
Figura 10 - Cilindro pneumático Festo.....	16
Figura 11 - Cortina de Luz Omron. ....	17
Figura 12 - Cortina de Luz Keyence. ....	17
Figura 13 - Botão de emergência Schneider.....	18
Figura 14- Botão de reset Schneider.....	18
Figura 15 - Controlador de segurança Pilz. ....	19
Figura 16 - Controlador de segurança Sick. ....	19
Figura 17 - Sensor Indutivo Balluf .....	20
Figura 18 - Sensor Difuso Balluf.....	20
Figura 19 - Dispositivo para análise de inspeção manual da coluna da direção elétrica.....	22
Figura 20 - Exemplo de Fluxo de Caixa.....	26
Figura 21 - Bancada com inspeção de componentes automatizadas .....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Investimento Inicial: Alternativa A .....	29
Tabela 2 - Investimento Inicial: Alternativa B .....	29
Tabela 3 - Custo Anual de Mão de Obra antes e pós proposta.....	30
Tabela 4 - Ganho de produção em relação ao sistema antes da proposta (diário).....	30
Tabela 5 - Lucro de produção em relação ao sistema antes da proposta (anual) .....	31
Tabela 6 - Custos de consumo de energia elétrica.....	32
Tabela 7 - Custo salarial por operador .....	32
Tabela 8 - Referência de Depreciação .....	33
Tabela 9 - Resultados das variáveis das alternativas.....	35

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>A Empresa.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>Situação do mercado da empresa.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3</b>	<b>Equipamentos e Norma para desenvolvimento do projeto.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Sistema de visão de alta velocidade.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Bloco de válvulas.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Robô.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Controlador Logico Programável (CLP).....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.5</b>	<b>Interface Homem Máquina (IHM).....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.6</b>	<b>Cilindro de dupla ação.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3.7</b>	<b>Norma NR12.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3.8</b>	<b>Cortinas de Luz.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3.9</b>	<b>Botoeira de Emergência e Reset.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3.10</b>	<b>Controladores de segurança.....</b>	<b>19</b>
<b>3.3.11</b>	<b>Sensores indutivo e difuso.....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Identificação dos problemas.....</b>	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>Identificação das alternativas.....</b>	<b>22</b>
<b>4.3</b>	<b>Estimativas dos custos.....</b>	<b>23</b>
<b>4.4</b>	<b>Benefícios monetizáveis e não monetizáveis.....</b>	<b>24</b>
<b>4.5</b>	<b>Análise Econômica.....</b>	<b>24</b>
<b>4.5.1</b>	<b>Taxa Mínima de Atratividade (TMA).....</b>	<b>24</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Custo de operação.....</b>	<b>24</b>
<b>4.5.3</b>	<b>Custo de Manutenção.....</b>	<b>25</b>
<b>4.5.4</b>	<b>Depreciação.....</b>	<b>25</b>
<b>4.5.5</b>	<b>Valor Residual.....</b>	<b>25</b>
<b>4.5.6</b>	<b>Fluxo de caixa.....</b>	<b>25</b>
<b>4.5.7</b>	<b>Valor Presente Líquido (VPL).....</b>	<b>26</b>
<b>4.5.8</b>	<b>Taxa Interna de Retorno.....</b>	<b>27</b>



4.5.9	Payback.....	27
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>28</b>
5.1	Análise das Alternativas.....	28
5.1.1	Alternativa A.....	28
5.1.2	Alternativa B.....	28
5.2	Investimento.....	29
5.3	Benefícios monetizáveis.....	30
5.4	Benefícios não monetizáveis.....	31
5.5	Taxa mínima de atratividade.....	31
5.6	Custo de operação.....	31
5.6.1	Custo de energia.....	32
5.6.2	Custo de operador.....	32
5.6.3	Custo de manutenção.....	33
5.7	Depreciação e Valor Residual.....	33
5.8	Apuração das variáveis econômicas.....	33
5.9	Recomendação.....	35
6	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico na indústria moderna criou a necessidade de inovação constante no setor de automação de processos. A crescente competitividade no mundo globalizado demanda que as empresas se adequem às exigências do mercado para que se mantenham lucrativas, tais como a necessidade de produzir mais e de forma acelerada, um alto padrão de qualidade dos produtos manufaturados, um custo baixo de produção, e um preço final acessível para o consumidor.

O desenvolvimento tecnológico permitido pelos recentes avanços computacionais e o início da indústria da 4.0, tem permitido um grande avanço na automatização em larga escala. Esta tendência tem-se intensificado nos últimos tempos devido às novas exigências impostas pela globalização. É comumente aceito que à automatização de processos seja associado um vasto número de benefícios à produção, tais como a redução de custos, a rapidez de produção, produção programada e contínua, e a própria padronização do produto.

Visando a qualidade e uma redução do tempo de produção, o presente trabalho tem como proposta o estudo da viabilidade econômica da automação de um processo industrial. Desenvolvido na empresa Equitron Automação Eletrônica Mecânica LTDA, foi idealizada uma bancada a ser desenvolvida para automatizar a inspeção de componentes de dois tipos de produtos de coluna de direção elétrica para o setor automotivo. Com objetivo de aumentar a confiabilidade, a padronização e o custo final do processo de inspeção, utilizou-se de ferramentas recorrentes na automação industrial: reconhecimento de padrões por sistemas de visão, automação e programação de máquinas com o uso de um controlador lógico programável, robô manipulador e controladores de segurança.

O projeto utiliza de metodologias da engenharia para a análise dos custos envolvidos, benefícios e das alternativas economicamente viáveis para a empresa, capazes de satisfazer os objetivos propostos.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo geral**

Desenvolver uma bancada automatizada com inspeção visual utilizando robô para inspeção de componentes no processo de manufatura de produtos de coluna de direção elétrica.

### **2.2 Objetivos específicos**

Elaborar uma proposta de automação de um processo que permita a empresa elevar os padrões de qualidade na produção e atender as exigências do cliente.

Analisar a viabilidade econômica e de implantação do projeto comparando ao processo manual existente, a fim de obter os benefícios de curto e longo prazo, custos, confiabilidade, eficiência, e retorno sobre patrimônio líquido.

### 3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

#### 3.1 A Empresa

A Equitron Automação Eletrônico Mecânica LTDA, localizada na cidade de São Carlos - SP, empresa do ramo de automação industrial, oferece soluções em automação para empresas de pequeno, médio e grande porte, sendo a maior parte destas, multinacionais. Apesar da empresa ter clientes de ramos diferentes, atualmente o foco da empresa é o ramo automobilístico, pois os produtos finais possuem um alto valor agregado, além de ter uma vasta experiência neste mercado.

Os principais serviços oferecidos são linhas de montagens completas, bancada de testes não destrutivos, células automatizadas, reforma e automatização de linhas existentes. As linhas de montagens, hoje o que mais gera rentabilidade para empresa, são produzidas de acordo com as necessidades e exigências do cliente. O cliente requisita o orçamento e a Equitron faz todo o estudo de viabilidade econômica, técnica e análise de prazos para a conclusão da venda.

A Equitron é subdividida em vários setores. A estrutura organizacional é composta por:

- Diretoria - Responsável pela estratégia de mercado e as principais decisões da empresa.
- Recurso Humanos - Responsável pela gestão de pessoas.
- Financeiro - Responsável pela gestão de recursos da empresa, tributária e orçamentária.
- Projeto - Elabora todo o projeto mecânico e estrutural das máquinas e alinham com os desejos do cliente.
- Usinagem - Produz estruturas mecânicas de acordo com as especificações das máquinas projetadas pelo setor do projeto.
- Metrologia - Responsável pela medição de todas as peças produzidas pela usinagem a fim de garantir a qualidade final do produto.
- Elétrica - Responsável pela elaboração do projeto elétrico, estudos e montagens das máquinas construídas pela Equitron.
- Pneumática - Responsável pela toda parte do projeto pneumático e hidráulico das máquinas construídas.
- Mecânica - Responsável pela montagem da parte física das máquinas, alinhamento e ajustes necessários.
- Engenharia de Software - Responsável pela integração de todos os setores envolvidos na construção de uma máquina a partir da programação dos controladores lógico

programáveis, Servo motores, sistemas de visão, parafusadeiras automáticas, processos de prensagem, cilindros eletropneumáticos, entre outros.

- Automação militar - Setor separado da empresa, onde são prestados serviços confidenciais para o exército brasileiro.

### **3.2 Situação do mercado da empresa**

A Equitron é uma empresa consolidada no mercado de soluções em automação. Dispõe de uma estrutura de alto nível e uma vasta experiência no mercado industrial, o que a torna referência para projetos de automação para o setor automobilístico. Os clientes principais atualmente são: ZF Friedrichshafen AG, Valeo, Bosch, Denso e Borg Warner, entre outras.

### **3.3 Equipamentos e Norma para desenvolvimento do projeto**

#### **3.3.1 Sistema de visão de alta velocidade**

Dispositivo utilizado para capturar uma imagem, analisar e reconhecer padrões de forma rápida e confiável. Nas Figuras 1 e 2, encontram-se exemplos dos sistemas de visão levados em consideração neste projeto.

Figura 1 - Sistema de visão Keyence.



Fonte: Keyence Brasil (2019)

Figura 2 - Sistema de visão FQ2 Omron



Fonte: Omron Automação (2019)

### 3.3.2 Bloco de válvulas

Um bloco de válvulas permite a integração dos dispositivos pneumáticos em um único ponto. Integrado ao controlador lógico programável por meio do protocolo de rede Profinet, facilita o controle de todos dispositivos pneumáticos da máquina e seus respectivos sensores de avanço e retorno. A Figura 3 representa um bloco de válvulas similar ao utilizado no projeto.

Figura 3 - Bloco de válvulas SMC.



Fonte: SMC (2019)

### 3.3.3 Robô

Robô de pequeno porte utilizado em aplicações nas quais não requer o controle de grandes cargas. As propostas de melhorias apresentam robôs similares aos das Figuras 4 e 5, que possuem seis graus de liberdade. Para a escolha do robô foi levado em consideração não apenas o custo, mas também o volume de trabalho, precisão de repetições em seus movimentos e menor erro de posicionamento.

Figura 4 – Robô KUKA.



Fonte: Kuka (2019)

Figura 5 - Robô Omron Adept Viper 850.



Fonte: Omron Automação (2019)

### 3.3.4 Controlador Logico Programável (CLP)

Trata-se de um equipamento eletrônico com hardware e software, onde é possível enviar sinais de entrada, processá-los e enviar sinais de saída a fim de controlar equipamentos e/ou processos industriais. Entre outras palavras é um computador que executa funções específicas de um programa criado por um ser humano. As Figuras 6 e 7 são representações dos CLPs levados em consideração para esse projeto.

Figura 6 - CLP Siemens ET200S.



Fonte: Nex Instrument (2019)

Figura 7 - CLP Omron NX-series.



Fonte: Omron Automação (2019)

### 3.3.5 Interface Homem Máquina (IHM)

Segundo Lévy (2006), Interface Homem Máquina é definida como: “[...] o conjunto de programas e aparelhos materiais que permitem a comunicação entre um sistema informático e seres humanos. ”

A interface homem máquina permite a interação inteligente entre usuário e máquina, garante o acesso a informações e controles necessários no manuseio de uma bancada automatizada. Na automação industrial é frequente a utilização de telas de IHM como nos exemplos da Figura 8 e Figura 9.



Figura 8 - IHM Siemens – TP700 Basic.



Fonte: Siemens (2019)

Figura 9 - IHM Omron NB Designer.

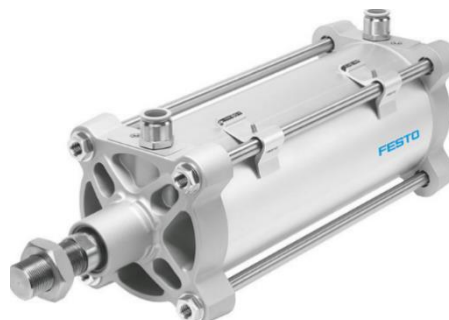


Fonte: Omron Automação (2019)

### 3.3.6 Cilindro de dupla ação

Atuadores eletropneumáticos capazes de produzir força a partir de ar comprimido e que a partir de acionamentos elétricos move um pistão em duas direções, de avanço e retorno. A Figura 10 representa um atuador semelhante ao utilizado para este projeto.

Figura 10 - Cilindro pneumático Festo.



Fonte: Festo (2019)

### 3.3.7 Norma NR12

A Norma Regulamentadora Número 12 - Segurança do Trabalho em Máquinas e Equipamentos (NR12), tem como objetivo garantir que máquinas e equipamentos sejam seguros para o uso do trabalhador. Ela define também os requisitos de segurança para armazenamento de materiais. A norma define medidas de instalação e arranjos físicos a fim de garantir a proteção coletiva e individual. Segundo a norma, todos dispositivos de partida, acionamento e parada devem se estar localizados em áreas seguras e de fácil acesso para possam ser utilizados por qualquer pessoa em caso de emergência.

### 3.3.8 Cortinas de Luz

É um equipamento óptico eletrônico utilizado para segurança em máquinas para detectar presença caso um objeto opaco interrompe um ou mais feixes no seu campo de detecção. Caso um operador invada seu campo, um sinal é enviado ao controlador de segurança para que interrompa máquina imediatamente, evitando acidentes nos processos industriais. Nas Figuras 11 e 12, encontram-se exemplos dos equipamentos levados em consideração para este projeto, das fabricantes Omron e Keyence, respectivamente.

Figura 11 - Cortina de Luz Omron.



Fonte: Omron Automação (2019)

Figura 12 - Cortina de Luz Keyence.



Fonte: Keyence (2019)

### 3.3.9 Botoeira de Emergência e Reset

De acordo com a NR12 (2019), princípio 12.56: “As máquinas devem ser equipadas com um ou mais dispositivos de parada de emergência, por meio dos quais possam ser evitadas situações de perigo latentes e existentes”.

As botoeiras de emergência são dispositivos acionadores que possuem o papel de cessar a operação de uma máquina de maneira imediata. São comumente instalados em locais muito visíveis e de fácil acesso aos operadores. Um exemplo de botão de emergência pode ser visto na Figura 13.

As botoeiras de reset servem para rearmar a máquina após a segurança da máquina estiver normalizada. De acordo com o princípio 12.63 da NR-12 (2019): “A parada de emergência deve exigir rearme, ou reset manual, a ser realizado somente após a correção do evento que motivou o acionamento da parada de emergência”. Na Figura 14 é mostrado um exemplo de botão de reset.

Figura 13 - Botão de emergência Schneider.



Fonte: Schneider Electric (2019)

Figura 14- Botão de reset Schneider.



Fonte: Schneider Electric (2019)

### 3.3.10 Controladores de segurança

São controladores que oferecem soluções inteligentes para cumprimento da norma NR12, possuem entradas digitais e saídas digitais para monitoramento de sinais de segurança tais como: cortina de luz, porta de segurança, emergência, homem-morto, entre outros. As Figuras 15 e 16 representam controladores de segurança das marcas Pilz e Sick, respectivamente.

Figura 15 - Controlador de segurança Pilz.



Fonte: Pilz (2019)

Figura 16 - Controlador de segurança Sick.



Fonte: Sick (2019)

### 3.3.11 Sensores indutivo e difuso

Dispositivos capazes de detectar estímulos físicos e emitir sinais que são convertidos e interpretados por outros dispositivos.

Sensor indutivo: dispositivo eletrônico equipado com uma bobina de indução, que gera uma impedância ao se aproximar um objeto metálico, tendo sua corrente alternada. Essa variação é detectada pelo sensor e produz um sinal de saída, indicando ou não a presença de um objeto metálico. Na Figura 17, encontra-se um exemplo de sensor indutivo.

Figura 17 - Sensor Indutivo Balluf



Fonte: Balluf (2019)

Sensor difuso: sensor difuso é um sensor fotoelétrico reflexivo que possui um emissor e um receptor num mesmo corpo. O emissor emite um feixe de luz na direção de um objeto, ao encontrar um objeto, parte do feixe de luz é refletido e retorna para a unidade receptora, ativando o sensor. Na Figura 18 tem-se um exemplo de sensor difuso utilizado no projeto.

Figura 18 - Sensor Difuso Balluf



Fonte: Balluf (2019)

## **4 METODOLOGIA**

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como proposta realizar uma concepção básica de um projeto de automação para uma empresa multinacional do ramo automobilístico, cliente da empresa Equitron. O cliente requer que a inspeção final de produtos seja realizada com maior confiabilidade e rapidez, substituindo o processo de inspeção manual da coluna de direção elétrica.

### **4.1 Identificação dos problemas**

A inspeção visual de componentes manufaturados é de grande valia no processo de produção da coluna de direção elétrica. Produtos com defeitos entregues a montadoras podem gerar recalls, causando grande impacto financeiro na empresa e perda de confiabilidade no produto, além dos riscos de segurança inerentes ao entregar um produto de baixa qualidade ao consumidor final.

A automação na indústria é um instrumento fundamental para o aprimoramento tecnológico. É um investimento que gera uma alta capacidade de produção, processos menos propensos a falibilidade humana, por consequência, há aumento da qualidade e redução de custos. No momento em que este projeto foi idealizado, a inspeção das colunas de direção elétrica era feita manualmente. O operador tinha que alimentar a coluna de direção elétrica em um dispositivo manual, (FIGURA 19), fixar o produto e analisar visualmente cada componente requerido pela engenharia de qualidade. O processo requeria uma inspeção rigorosa de cada componente, porém a inspeção feita manualmente é propensa a erros humanos, o trabalho feito por operadores é exaustivo e repetitivo, o que pode causar imprecisão na análise de um componente. Para manter o controle da qualidade final dos produtos e evitar prejuízos é necessária uma ferramenta eficaz para inspeção da peça.

Figura 19 - Dispositivo para análise de inspeção manual da coluna da direção elétrica.



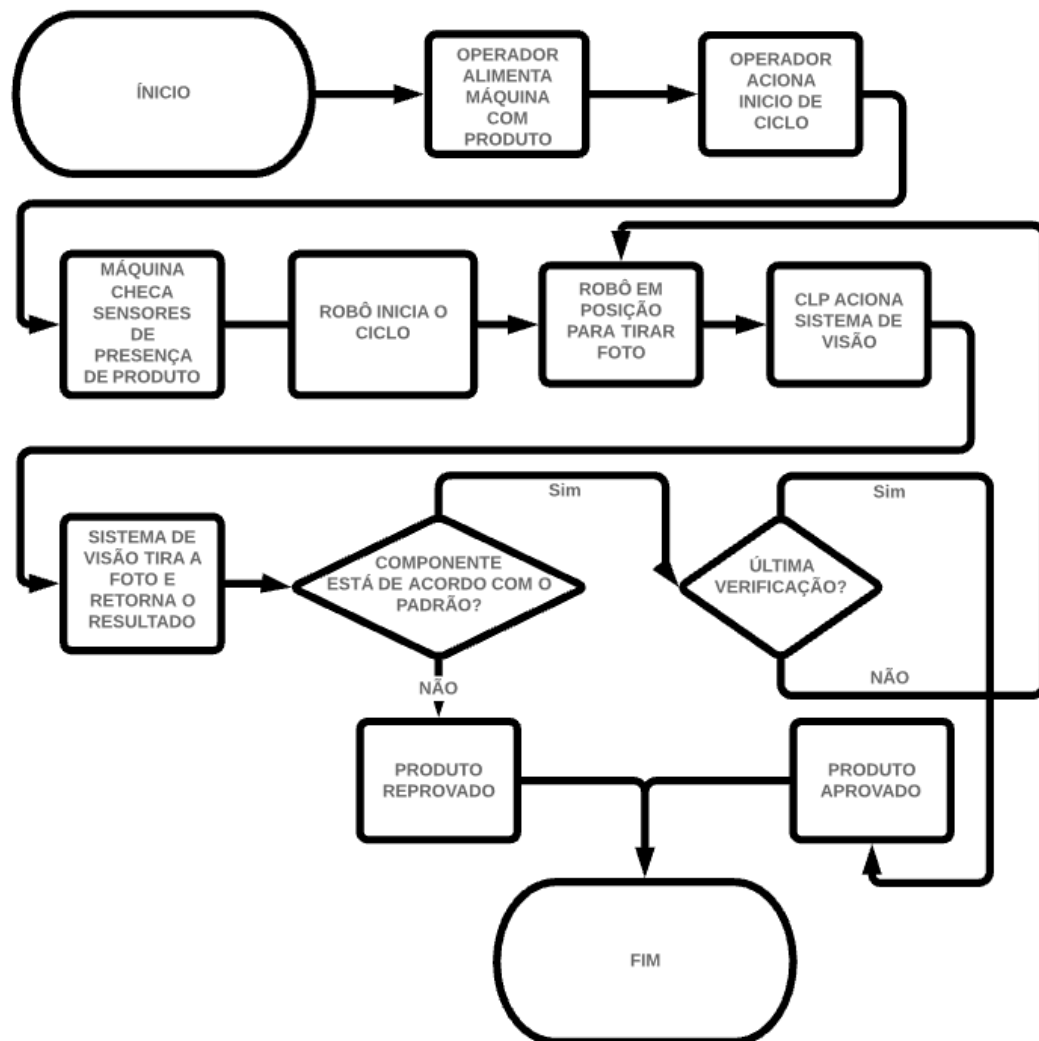
Fonte: Do autor (2019)

#### 4.2 Identificação das alternativas

Projeto e desenvolvimento de uma bancada automatizada equipada com um robô, capaz de movimentar-se com 6 graus de liberdade, acoplado a sua extremidade um sistema de visão digital que oferece recursos de processamento computacional de imagens com alta qualidade, velocidade e precisão. Controlados por um CLP com módulos de entradas, saídas, interface IHM, monitor LCD e sistema de segurança com padrões exigidos de acordo com a NR12. Utilização de uma esteira para transporte da peça após verificação com o intuito de facilitar o acesso da mesma a zona de despacho final do produto. Duas bancadas com dispositivos similares foram idealizadas com produtos de fornecedores diferentes.

No Fluxograma 1 é mostrado a representação da esquemática do processo da bancada automatizada de inspeção da coluna de direção elétrica.

Fluxograma 1: Processo de Inspeção Automatizado



Fonte: Do Autor (2019)

### 4.3 Estimativas dos custos

Para a estimativa dos custos, foram selecionados equipamentos de fornecedores dos quais a Equitron compra regularmente, permitindo obter equipamentos com descontos gerando uma boa relação de custo e benefício.

A escolha dos equipamentos foi feita considerando alguns pontos essenciais, como por exemplo a qualidade e robustez, de modo que seja garantido a confiabilidade do processo de automatização da inspeção dos produtos. Levou-se em consideração também equipamentos que possibilitem uma possível expansão e/ou modernização futuramente.

A análise dos custos foi subdividida em investimento, depreciação, operação e manutenção.



#### **4.4 Benefícios monetizáveis e não monetizáveis**

Com o intuito de avaliar os resultados da implementação da presente proposta, os benefícios foram separados em duas categorias: benefícios monetizáveis e benefícios não monetizáveis.

Entende-se como benefícios monetizáveis aqueles que podem ser traduzidos em forma de lucro, ou seja, geram um saldo positivo a ser adicionado no fluxo de caixa.

No que tange aos benefícios não monetizáveis, analisa-se os benefícios que dificilmente são mensuráveis e calculados, porém agregam qualidade e confiabilidade no processo de produção.

#### **4.5 Análise Econômica**

O campo central do estudo da viabilidade econômica de um projeto industrial é a análise das alternativas de investimento. Utilizou-se de ferramentas e métodos de engenharia econômica que são comumente praticados no mercado mundial, descritas a seguir.

##### **4.5.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)**

Segundo Pamplona e Montevechi (2012), a TMA é a taxa a partir da qual o investidor considera que está obtendo ganhos financeiros.

A taxa Selic (Sistema Especial de Liquidação de Custódia) é um índice utilizado pelo Banco Central para efetuar a taxa básica de juros. É comum as empresas utilizarem a taxa Selic como referência para determinar a TMA, pois é um título de baixo risco e segue a taxa de juros básica da economia.

##### **4.5.2 Custo de operação**

Custos de operação são todos os gastos envolvidos para que uma atividade venha efetivamente a funcionar (BANCO CENTRAL, 2017), ou seja, todo custo que está ligado ao processo de produção industrial. Envolve pagamentos a funcionários, custo consumo de energia, treinamento, segurança, entre outros.

A análise leva em consideração os custos envolvidos com operador para cada turno de trabalho, custo de manutenção e custo de consumo de energia. Outros custos como de treinamento serão desprezados nesta análise, devido à ausência do mesmo neste projeto.

#### **4.5.3 Custo de Manutenção**

A manutenção periódica do maquinário faz-se necessária para evitar que o desempenho seja prejudicado e que a máquina pare de funcionar. Os cálculos deste gasto para este projeto foram feitos com base no valor médio gasto por maquinário nos anos anteriores da empresa Equitron.

#### **4.5.4 Depreciação**

A depreciação tem como finalidade registrar a redução do valor de um ativo até o final de sua vida útil. Hendriksen e Van Breda (1999, p. 325) definem, “na estrutura contábil tradicional, depreciação refere-se ao processo de alocação do valor de entrada, geralmente o custo original ou corrigido, de instalações e equipamentos, aos vários períodos durante os quais espera-se obter os benefícios decorrentes de sua aquisição e seu emprego.”

Assim, pode-se dizer que depreciação é um recurso contábil de alocação de recursos com objetivo final de obter um retorno, mesmo que este não seja garantido, quando o ativo se tornar obsoleto ou ser trocado.

#### **4.5.5 Valor Residual**

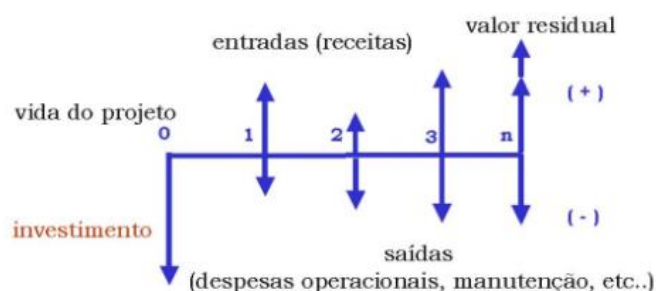
Valor residual é o montante líquido que a entidade espera, com razoável segurança, obter por um por um ativo no fim de sua vida útil, deduzidos os custos esperados para sua venda. Nas empresas, o valor da depreciação é utilizado para fins contábeis e de deduções de impostos.

#### **4.5.6 Fluxo de caixa**

Segundo Zdanowicz (2004, p.23) como “[...] o instrumento utilizado [...] com o objetivo de apurar os somatórios de ingressos e desembolsos financeiros da empresa, em determinado momento, prognosticando assim se haverá excedentes ou escassez de caixa [...]”. Utilizando o

Fluxo de caixa pode-se ter uma ideia do retorno e das despesas com determinado investimento ao longo dos anos. Para auxiliar a análise econômica, será feito um fluxo de caixa de 10 anos para ambas alternativas, contabilizando os possíveis lucros e gastos ao longo do período. Na figura 20 é mostrado um exemplo de Fluxo de Caixa em representação gráfica, segundo Pamplona (2012).

Figura 20 - Exemplo de Fluxo de Caixa.



Fonte: Pamplona (2012)

#### 4.5.7 Valor Presente Líquido (VPL)

O método do valor presente, também conhecido pela terminologia método do valor atual, caracteriza-se segundo Pamplona (2012), essencialmente, pela transferência para o instante presente de todas as variações de caixa esperadas, descontadas à taxa mínima de atratividade.

Para o cálculo do valor presente Líquido, utiliza-se a seguinte Equação 1:

$$VPL = -Investimento - Depreciação * \left| \frac{(1+i)^{n-1}}{(1+i)^{n*i}} \right| - Operação * \left| \frac{(1+i)^{n-1}}{(1+i)^{n*i}} \right| - Manutenção * \left| \frac{(1+i)^{n-1}}{(1+i)^{n*i}} \right| + Retorno * \left| \frac{(1+i)^{n-1}}{(1+i)^{n*i}} \right| + Resíduo * \left| \frac{1}{(1+i)^n} \right| \quad (1)$$

Onde n é o número de anos de execução do investimento e i a taxa de atratividade utilizada pela empresa.

A partir do VPL calculado é importante notar a relevância do seu resultado para a viabilidade do projeto. Pode-se observar que:

- VPL Negativo: despesas maiores que as receitas, ou seja, o projeto é inviável.
- VPL Positivo: receitas maiores que as despesas, ou seja, o projeto é viável.

- VPL Zero: receitas e despesas são iguais, ou seja, a decisão de investir no projeto é neutra.

#### 4.5.8 Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa que se iguala ao VPL, em outras palavras, é a taxa necessária para igualar o Valor Presente Líquido do investimento às entradas de caixa geradas pelo projeto ao longo do período de tempo. Este método garante que a empresa terá o retorno efetivo do investimento. Se o valor da TIR for maior que o investimento no mercado financeiro, o projeto pode ser aceito, se for menor, ele é rejeitado. A TIR deve satisfazer a seguinte Equação 2:

$$VPL = 0 = \text{Investimento Inicial} + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+TIR)^t} \quad (2)$$

#### 4.5.9 Payback

O Payback é o tempo de recuperação do dinheiro investido para o projeto, ou seja, é o tempo necessário para que as entradas de caixa se igualem ao investimento inicial da alternativa de melhoramento proposta.

Método simplificado, utilizado para avaliações iniciais na análise de viabilidade de econômica. É um indicador que mostra quanto tempo o empréstimo ou investimento levará para retornar ao investidor ou à empresa. O payback pode ser calculado de acordo com a Equação 3:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Ganho no Período}} \quad (3)$$

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Análise das Alternativas**

Após uma análise extensiva e sistemática do processo de inspeção visual, foi proposto duas soluções que atendessem as necessidades do cliente, de forma a garantir a rigorosidade e robustez da inspeção, garantindo confiabilidade, baixo custo e lucratividade a longo prazo, além do intuito de reduzir o trabalho repetitivo dos operadores. Optou-se por utilizar-se um sistema de inspeção visual automatizado substituindo a atual inspeção manual.

Culturalmente na indústria é comum entre fabricantes de peças automotivas e montadoras optar preferencialmente por dispositivos fabricados em seu país de origem, embora não seja regra, é algo muito usual na indústria. Considerando os fornecedores atuais da Equitron, optou-se por analisar o projeto com duas propostas. A primeira proposta, os principais dispositivos são provenientes de fabricantes Alemães e a segunda proposta com dispositivos Japoneses.

#### **5.1.1 Alternativa A**

O sistema automatizado consiste de uma bancada com robô Kuka de 6 graus de liberdade com um sistema de visão da Keyence acoplado em seu último eixo. Controlados por um CLP Siemens ET200S. A bancada também inclui itens como interface IHM Siemens KTP 700, cilindro Festo para travar o produto na bancada, esteira para acelerar o processo de despacho final do produto e um monitor LCD Dell, onde o operador pode analisar a foto do componente que está sendo verificado pela máquina caso ocorra alguma falha. Para garantir a segurança seguiu-se a norma regulamentadora NR12. A bancada tem controlador de segurança, cortina de luz Keyence, botão de emergência e botão reset da marca Schneider.

#### **5.1.2 Alternativa B**

Para segunda proposta de melhoria, a máquina é composta por um robô de 6 graus de liberdade do modelo Omron Adept Viper 850, com sistema de visão FQ2 acoplado no seu último eixo, CLP da família NX Series Controller e IHM da família NB Designer e cortina de luz da fabricante Omron. Para controlador de segurança indicou-se o componente da fabricante

SICK. Os outros componentes necessários para construção da bancada foram mantidos como na proposta de melhoria da Alternativa A.

## 5.2 Investimento

O investimento necessário para implementação das propostas de melhoria envolve a aquisição de novos equipamentos, toda a estrutura da bancada e custos com mão de obra relacionados ao projeto mecânico, usinagem e montagem dos dispositivos, ligação elétrica e programação e integração do CLP na bancada, conforme a Tabela 1 e a Tabela 2:

Tabela 1 - Investimento Inicial: Alternativa A.

<b>Itens</b>	<b>Preço</b>
Sistema de visão Keyence	R\$ 45.325,67
Robô - KR 6 R900 Sixx	R\$ 102.356,50
CLP Siemens ET200S e 1 modulo I/O	R\$ 3.346,00
Cilindro Festo	R\$ 553,00
Custo bancada (Estrutura)	R\$ 135.000,00
Custo mão de obra	R\$ 86.000,00
Controlador de segurança Pilz	R\$ 1.672,00
Cortina de Luz Keyence	R\$ 3.600,00
Monitor LCD Dell	R\$ 539,90
Botoeira reset e emergência Schneider	R\$ 202,76
Leitor DMC Keyence	R\$ 5.500,00
IHM Siemens KTP 700	R\$ 2.596,00
Cabos e Relés	R\$ 2.210,00
Sensor difuso Balluf	R\$ 580,00
2 Sensores indutivos Balluf	R\$ 950,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 390.431,83</b>

Fonte: Equitron (2019).

Tabela 2 - Investimento Inicial: Alternativa B. (continua)

<b>Itens</b>	<b>Preço</b>
Sistema de visão FQ2	R\$ 17.500,00
Robô – Omron Adept Viper 850	R\$ 77.130,20
CLP Omron NX-series NX1P2 CPU	R\$ 3.500,00
Cilindro Festo	R\$ 553,00
Custo bancada (Estrutura)	R\$ 135.000,00
Custo mão de obra Equitron	R\$ 86.000,00
Controlador de segurança SICK	R\$ 2.250,00
Cortina de Luz Omron	R\$ 2.671,00
Monitor LCD Dell	R\$ 539,90
Botoeira emergência reset Schneider	R\$ 202,76
Leitor DMC Keyence	R\$ 5.500,00

Fonte: Equitron (2019).

Tabela 2 - Investimento Inicial: Alternativa B. (conclusão)

<b>Itens</b>	<b>Preço</b>
IHM NB Series Omron	R\$ 1.850,00
Cabos e Relés	R\$ 2.210,00
Sensor difuso Balluf	R\$ 580,00
2 Sensores indutivos Balluf	R\$ 950,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 336.436,86</b>

Fonte: Equitron (2019).

### 5.3 Benefícios monetizáveis

O novo sistema de inspeção visual automatizado, tem como benefícios monetizáveis a redução com o custo com mão de obra de operários, como pode-se observar na Tabela 3, onde temos os custos anuais com salário de funcionários, somando-se os salários dos 3 turnos de trabalho da empresa (diurno, vespertino e noturno). O sistema automatizado permite que um operador trabalhe em duas máquinas, o que reduz a mão de obra para inspeção, logo sua margem de contribuição de custo a operação da máquina é reduzida pela metade.

Tabela 3 - Custo Anual de Mão de Obra antes e pós proposta.

<b>Sistema de inspeção</b>	<b>Custo de Mão de Obra</b>
Manual	R\$ 139.250,40
Automatizado	R\$ 69.625,20

Fonte: Equitron (2019).

Em termos de processo de produção, o novo sistema reduz o tempo de ciclo com a padronização do sistema de inspeção permitindo um aumento da produção. Um operador leva em média 42 segundos para realizar a inspeção manual, ao ponto em que a máquina leva de 28 segundos para realizar a inspeção com uma maior confiabilidade somado ao tempo de 8 segundos em média gasto pelo operador para alimentar e retirar o produto da bancada. A meta da linha em plena produção é de 90 peças por hora. A nova proposta garante que a meta seja alcançada. Na Tabela 4 são mostrados os cálculos de ganho na produção com o novo sistema.

Tabela 4 - Ganho de produção em relação ao sistema antes da proposta (diário).

<b>Sistema de inspeção</b>	<b>Número de Peças/hora</b>
Manual	85
Automatizado	90

Fonte: Do autor (2019).

A linha de produção é composta por 22 máquinas automatizadas e com a nova automação na inspeção visual irá produzir 3120 peças a mais por mês. Considerando sua margem de contribuição no lucro de 4,57%, foi calculado o lucro adicional anual. A tabela 5, apresenta os dados que comprovam esta afirmação.

Tabela 5 - Lucro de produção em relação ao sistema antes da proposta (anual).

<b>Descrição</b>	<b>Valor</b>
Média de lucro por produto	R\$ 195,00
Margem de contribuição da máquina (%)	4,57%
Margem de contribuição da máquina	R\$ 8,87
Dias do mês de produção (24 horas)	21
Lucro adicional anual	R\$ 268.228,00

Fonte: Do autor (2019).

#### **5.4 Benefícios não monetizáveis**

Sobre benefícios não monetizáveis, destaca-se a redução de risco de *recall*. Pode-se gerar um custo imprevisível para empresa, seja esse custo monetário e/ou quanto a reputação da empresa. Com o aumento na qualidade da inspeção garante uma maior confiabilidade do produto que está sendo entregue ao cliente, reduzindo o risco de realização de um recall ou manutenção por parte da montadora. A implantação da bancada também garante a redução de funcionários em função repetitiva e exaustiva, prevenindo gastos excepcionais com problemas físicos dos operadores.

#### **5.5 Taxa mínima de atratividade**

A empresa Equitron utiliza a taxa Selic como referência mais um prêmio de 3% para validar a viabilidade de seus projetos. A proposta deste projeto em 2019, considerando que a taxa Selic está em 5.5% (setembro/2019) é esperado uma TMA de no mínimo 8.5% ao ano.

#### **5.6 Custo de operação**

Os custos inclusos são consumo de energia, manutenção de máquina e salário dos operadores. O custo relacionado a treinamento foi desconsiderado, devido a manutenção da empresa possuir qualificação para tal.



### 5.6.1 Custo de energia

Para o cálculo de consumo de energia, levou-se em consideração a Potência da máquina e o valor do kWh fornecido pela companhia de energia CPF Energia - São Carlos-SP. Os custos de possíveis descontos recebidos por acordos contratuais com a concessionária foram desconsiderados. Na Tabela 6 é mostrado os cálculos de consumo de energia anual:

Tabela 6 - Custos de consumo de energia elétrica.

<b>Descrição</b>	<b>Valor</b>
Potência	16.800 kW
Tempo de operação mensal	512 horas
Tempo de operação anual	6.144 horas
Consumo anual	103.219,2 kWh
Preço Kw/h	R\$ 0,56
Valor total	R\$ 57.802,75

Fonte: Do autor (2019).

### 5.6.2 Custo de operador

O operador responsável pela bancada automatizada, trabalha em duas máquinas ao mesmo tempo na linha de produção da coluna de direção elétrica. Logo, a sua margem de contribuição ao custo do processo de inspeção foi considerado sendo de 50% do valor total de seu salário, portanto no processo automatizado a empresa economiza metade do custo em comparação com o processo manual que exige um operador exclusivo. Na Tabela 7 é exposto os custos existentes para empregar um funcionário. Como a linha produz durante 3 turnos, foi considerado o custo por turno, pois há diferentes leis trabalhistas para diferentes faixas de horário.

Tabela 7 - Custo salarial por operador.

<b>Descrição</b>	<b>Salário com impostos</b>
Operador diurno Mensal	R\$ 3.363,60
Operador vespertino Mensal	R\$ 3.868,60
Operador noturno Mensal	R\$ 4.372,00
Valor total anual	R\$ 139.250,40
Valor total anual (½ Margem de contribuição)	R\$ 69.625,20

Fonte: RH da Equitron.

### 5.6.3 Custo de manutenção

Com intuito de reduzir o risco de perda de desempenho ou parada total da máquina antes do final de sua vida útil, faz-se necessário a realização de manutenções periódicas. Com base em dados de custos de manutenção da empresa do ano de 2018, o valor gasto médio de manutenção por maquinário é de R\$ 3.000,00 ao ano.

### 5.7 Depreciação e Valor Residual

A depreciação é o valor anual estipulado para o investidor reservar e garantir que o ativo possa ser substituído ou pago durante a sua vida útil.

O Valor Residual representa o valor que o ativo terá ao final de sua vida útil. Segundo a Instrução de Trabalho INT/VPCI N°004/2012, a depreciação para Máquinas e Equipamentos na indústria é de 10%, vide Tabela 8.

Tabela 8 - Referência de Depreciação.

<b>Conta</b>	<b>Título</b>	<b>Vida útil (anos)</b>	<b>Depreciação</b>
1.2.2.2.03.01.002	Máquinas e Equipamentos	10	10%

Fonte: Instrução de Trabalho INT/VPCI N°004/2012, p. 5.

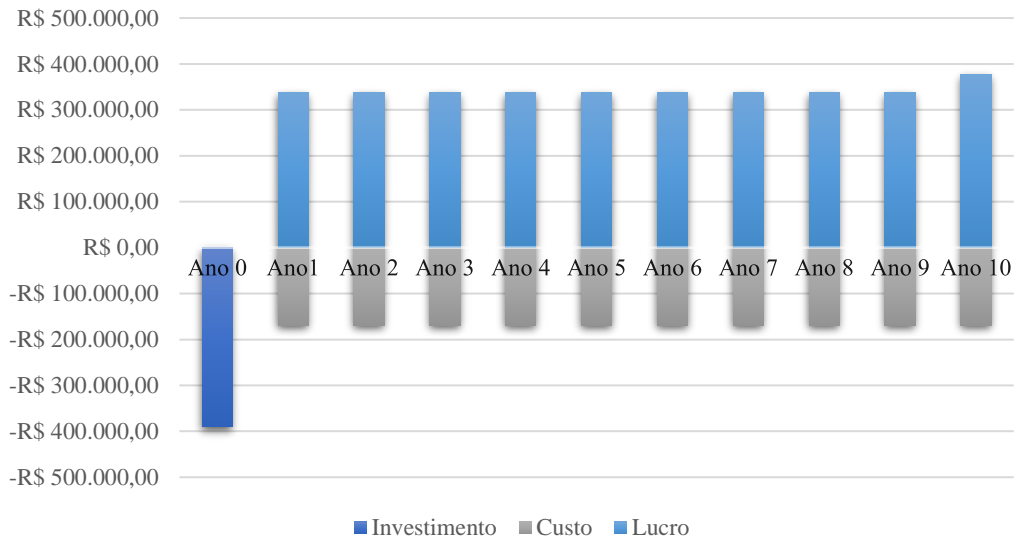
Para alternativa A, a máquina de inspeção automatizada o valor residual após 10 anos será de R\$39.043,18 e a depreciação anual com o mesmo valor.

Para alternativa B, o valor residual após 10 anos será de R\$33.643,686 e a depreciação anual com o mesmo valor.

### 5.8 Apuração das variáveis econômicas

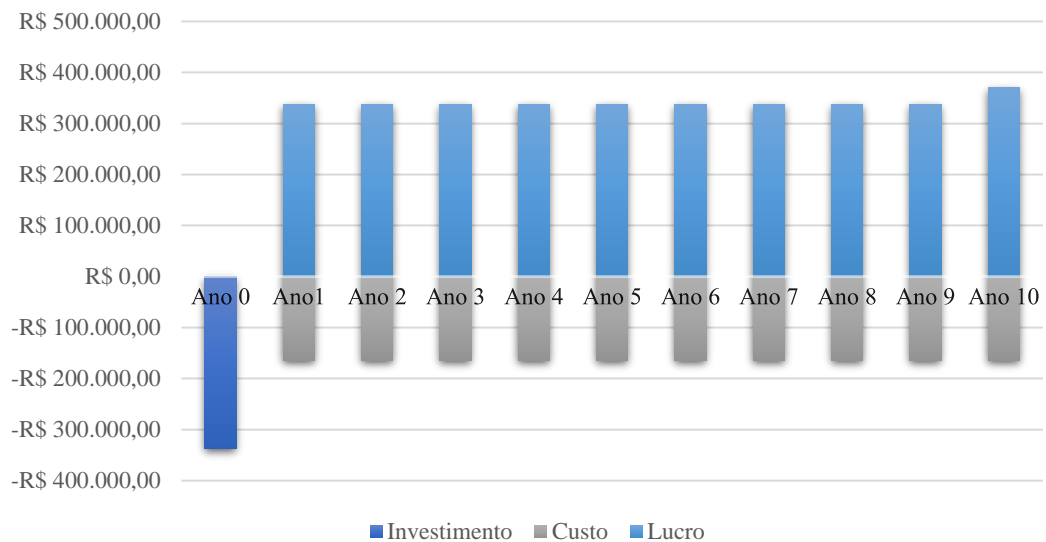
Para análise das alternativas de automação da inspeção visual. Utilizou-se o método do valor presente líquido e taxa interna de retorno por um período de 10 anos. Os indicadores foram obtidos a partir dos dados do fluxo de caixa representados das duas alternativas pelos gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 - Fluxo de Caixa da Alternativa A.



Fonte: Do Autor (2019)

Gráfico 2 - Fluxo de Caixa da Alternativa B.



Fonte: Do autor (2019)

A partir de uma observação dos Gráficos 1 e 2 do fluxo de caixa das alternativas A e B, respectivamente, nota-se que tanto o lucro quanto o custo mantem-se constante ao longo dos anos, com um pequeno acréscimo no lucro no ano 10 devido ao valor residual do maquinário ao término de sua vida útil. As duas alternativas apresentam fluxo de caixa positivo no período avaliado, porém apenas está análise não validaria a viabilidade do projeto.

A Tabela 9 exhibe os valores de VPL, TIR e *Payback* calculados, resultados que permitem uma análise abrangente da viabilidade econômica.

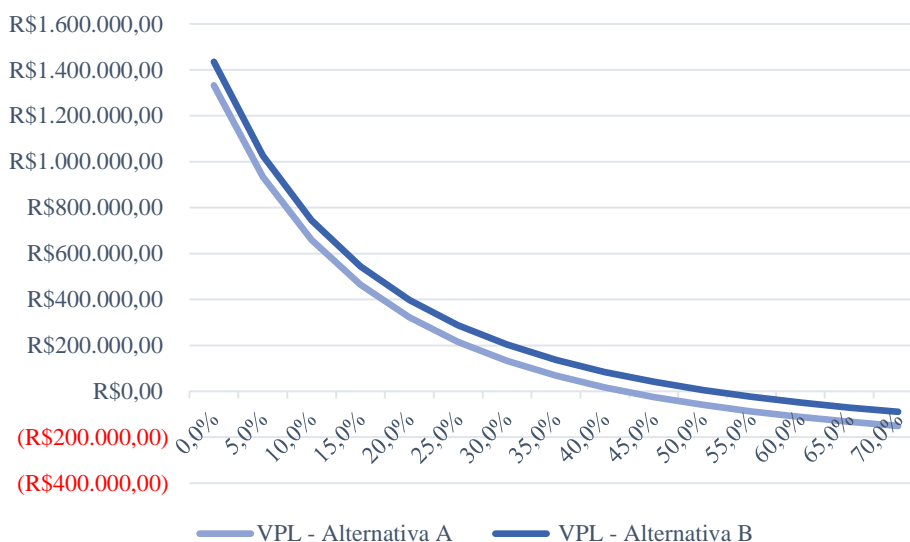
Tabela 9 - Resultados das variáveis das alternativas.

Descrição	VPL	TIR	Payback
Alternativa A	R\$ 731.649,75	42%	2 anos e 3 meses
Alternativa B	R\$ 818.684,58	51%	1 ano e 11 meses

Fonte: Do autor (2019)

Os resultados evidenciam que ambas alternativas apresentam valores positivos de Valor Presente Líquido, porém segundo Pamplona (2012), o VPL positivo não garante que o investimento é viável. Para uma análise precisa é necessário examinar a curva da Taxa Interna de Retorno versus Valor Presente Líquido representada pelo gráfico 3 abaixo.

Gráfico 3 - Curvas do VPL das alternativas em função da TIR.



A partir da curva apresentada nota-se que o valor da TIR da alternativa A que iguala o VPL a zero é 45% e da alternativa B é 50%. Ambos valores superam a Taxa Mínima de Atratividade da empresa (8,5%), indicando que ambas propostas são economicamente viáveis.

## 5.9 Recomendação

Os benefícios não monetizáveis para este projeto geram um maior valor agregado se comparados aos benefícios monetizáveis, pois, confiança e qualidade do produto, reputação do cliente com as montadoras, redução do risco da possibilidade de recall, reduzem a relevância dos benefícios monetizáveis. Circunstâncias como estas são predominantemente levadas em

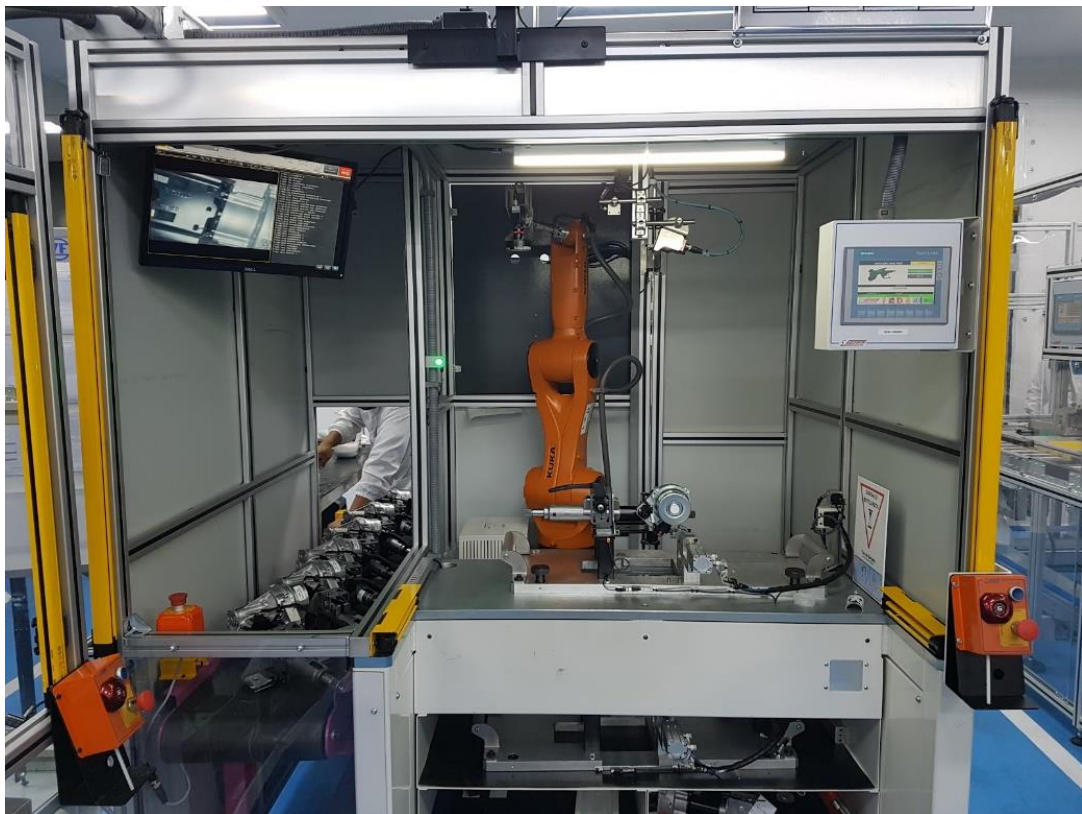
consideração na decisão final da empresa para projetos como este, com base nessas afirmações, recomenda-se a Alternativa A.

Para qualificar a escolha da Alternativa A, é importante destacar que empresas fabricantes dos dispositivos escolhidos são prevaletentes nas linhas de produção da Equitron e o contato com os fornecedores é frequente, o que favorece a área da manutenção, manufatura e produção. A troca de fornecedores geraria um impacto negativo para readaptação dos procedimentos logísticos e de produção da empresa.

A proposta de melhoria da bancada automatizada da alternativa A se encontra implementada (Figura 21) e em operação na inspeção da coluna de direção elétrica. Hoje atende a dois produtos de marcas diferentes e algumas variantes do mesmo produto.

A bancada atualmente está em plena produção e cumpre o objetivo inicial da empresa Equitron de verificação de 90 peças/hora, o que atesta o sucesso da implantação do projeto.

Figura 21 - Bancada com inspeção de componentes automatizadas.



Fonte: Do autor (2019)

## **6 CONCLUSÃO**

A automatização do sistema de inspeção da coluna de direção elétrica mostra-se viável por ambas alternativas.

A Alternativa B mostrou-se mais viável economicamente, porém demanda uma troca maior de variáveis ligadas diretamente a cultura da empresa, o que induziu a recomendação da Alternativa A como melhor opção custo-benefício, por possuir maiores benefícios não monetizáveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Taxas SELIC diária. 2019. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>>. Acesso em 17 jul. 2019.

CPFL. Valores de tarifas e serviços. 2019. Disponível em: <<https://servicosonline.cpfl.com.br/agencia-webapp/#/taxas-tarifas>>. Acesso em 4 jun. 2019.

FAUSTINO, Z. A. **Planejamento do Fluxo de Caixa em Microempresas**. Florianópolis: [s.n.], 2005.

HENDRIKSEN, E.S.; VAN BREDA, M.F. **Teoria da contabilidade**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

INSTRUÇÃO DE TRABALHO INT/VPCI N.º 004/2012.

KUKA. Industrial Robots. Disponível em: [www.kuka.com](http://www.kuka.com). Acesso em: 20 ago. 2019.

LÉVY, Pierre. **As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática**. São Paulo: 34, 2006.

NR-12 - Segurança no Trabalho Em Máquinas e Equipamentos. 2019.

PAMPLONA, E.; MONTEVECHI, J. A. **Engenharia Econômica I**. 1. ed. [S.l.: s.n.], 2012.

ZANCAN, Marcos Daniel. **Controladores Programáveis**. 3ª Ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

ZDANOWICZ, José Eduardo. Fluxo de caixa: uma decisão de planejamento e controle financeiro. 10. Ed Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2004.

ZEPPELINI, P. D.; NETO, José L. De C.; NAKAMURA, W. T. **Breves Anotações Sobre o Payback**. N° 324. [S.l.:s.n], 200-.