

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

SISTEMA DE INSPEÇÃO VISUAL NA PRÉ-MONTAGEM DE SISTEMAS DE  
REDUÇÃO CATALÍTICA SELETIVA

por

Guilherme Luis Curzel Bernardi

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, novembro de 2021.

## DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

Curzel Bernardi, Guilherme Luis  
Sistema de inspeção visual na pré-montagem de  
sistemas de Redução Catalítica Seletiva / Guilherme  
Luis Curzel Bernardi. -- 2021.  
26 f.  
Orientador: Eduardo André Perondi.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de  
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto  
Alegre, BR-RS, 2021.

1. Sistema de Redução Catalítica Seletiva. 2.  
Inspeção visual. 3. Dispositivo à prova de falhas. I.  
Perondi, Eduardo André, orient. II. Título.

Guilherme Luis Curzel Bernardi

SISTEMA DE INSPEÇÃO VISUAL NA PRÉ-MONTAGEM DE SISTEMAS DE  
REDUÇÃO CATALÍTICA SELETIVA

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Cirilo Seppi Bresolin  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Processos de Fabricação.

Orientador: Eduardo André Perondi.

Comissão de Avaliação:

Prof./Prof<sup>a</sup>. Tiago Becker

Prof./Prof<sup>a</sup>. Flávio José Lorini

Prof./Prof<sup>a</sup>. Eduardo André Perondi

Porto Alegre, novembro de 2021.

## AGRADECIMENTOS

À minha família, que esteve comigo nesta jornada acadêmica, em especial meu irmão e meu pai que foram fundamentais no suporte dos meus estudos.

À AGCO Corporation, que me deu a oportunidade de liderar um projeto desde seu início, agregando grande conhecimento para a minha vida profissional.

BERNARDI, Guilherme L. C. Sistema de inspeção visual na pré-montagem de sistemas de Redução Catalítica Seletiva. 2021. 25. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

## RESUMO

Este trabalho descreve a elaboração do projeto de um sistema de inspeção visual que identifica erros de montagem em sensores do sistema de exaustão de tratores. Estes sensores, que ficam localizados no conjunto AIO (do inglês: *All In One*), são compostos de três sensores de temperatura e dois sensores de óxido nítrico (NOx). A montagem equivocada desses sensores resulta em uma leitura incorreta dos parâmetros do sistema, fazendo com que o motor apresente falhas, como perda de potência para não expelir óxido nítrico em excesso para a atmosfera.

Segundo relatório de problemas de campo da AGCO Corporation Canoas, montadora de tratores, no ano de 2020 ocorreram 41 casos de problemas em tratores gerados por esses erros de montagem, e o montante referente a esses problemas atingiu um valor de R\$ 114.995,08.

O presente projeto aborda informações de como estes componentes podem ser montados de forma equivocada e, a partir disso, foi desenvolvido um dispositivo que tende a impossibilitar o erro de montagem destes sensores. Para o desenvolvimento deste projeto, um estudo de viabilidade econômico-financeira precisou ser considerado para saber se o dispositivo traria retorno financeiro para a empresa. O sistema constitui de uma bancada com três câmeras de inspeção digital para avaliar a montagem correta dos sensores de acordo com a cor da abraçadeira com a qual cada sensor é identificado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema SCR, inspeção visual, dispositivo à prova de falhas.

BERNARDI, Guilherme L. C. Visual inspection system in the pre-assembly of Selective Catalytic Reduction system. 2021. 25. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

## ABSTRACT

This paper describes the development of a project for a visual inspection system that identifies mounting errors in sensors in the tractor exhaust system. These sensors, which are located in the AIO (All In One) assembly, are composed of three temperature and two nitric oxide (NOx) sensors. The wrong assembly of these sensors results in an incorrect reading of the system parameters, causing the engine to present a loss of power so as not to expel excess nitric oxide into the atmosphere.

According to a report on field problems by AGCO Corporation Canoas, a tractor assembler, in 2020 there were 41 cases of problems in tractors generated by these assembly errors, and the amount referring to these problems reached a value of R\$ 114,995.08.

This project addresses information on how these components can be assembled wrongly and, based on that, a device was developed that tends to make the assembly error of these sensors impossible. For the development of this project, an economic-financial feasibility study had to be considered to know if the device would bring financial return to the company. The system consists of a bench with three digital inspection cameras that verify the correct mounting of the sensors according to the color of the clamp with which each sensor is identified.

**KEYWORDS:** SCR system, visual inspection, failsafe device.

## NOMENCLATURA

|      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| AIO  | All In One                        |
| ARLA | Agente Redutor Líquido Automotivo |
| CER  | Capital Expenditure Request       |
| ECU  | Electronic Control Unit           |
| NG   | Not Good                          |
| NOK  | Not Ok                            |
| NOx  | Nitrogen Oxides                   |
| SCR  | Selective Catalytic Reduction     |
| SOP  | Standard Operation Procedure      |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....                           | 1  |
| 1.1 Motivação .....                                  | 1  |
| 1.2 Revisão Bibliográfica .....                      | 1  |
| 1.3 Objetivos .....                                  | 2  |
| <b>2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA</b> .....             | 2  |
| <b>3. ESTUDO DE CASO</b> .....                       | 5  |
| 3.1 Análise da viabilidade econômico-financeira..... | 5  |
| 3.2 Descrição da bancada .....                       | 8  |
| 3.3 Sistema de visão .....                           | 10 |
| <b>4. RESULTADOS</b> .....                           | 10 |
| 4.1 Hardware.....                                    | 11 |
| 4.2 Software .....                                   | 14 |
| <b>5. CONCLUSÃO</b> .....                            | 15 |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....              | 16 |
| <b>APÊNDICE</b> .....                                | 17 |



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Motivação

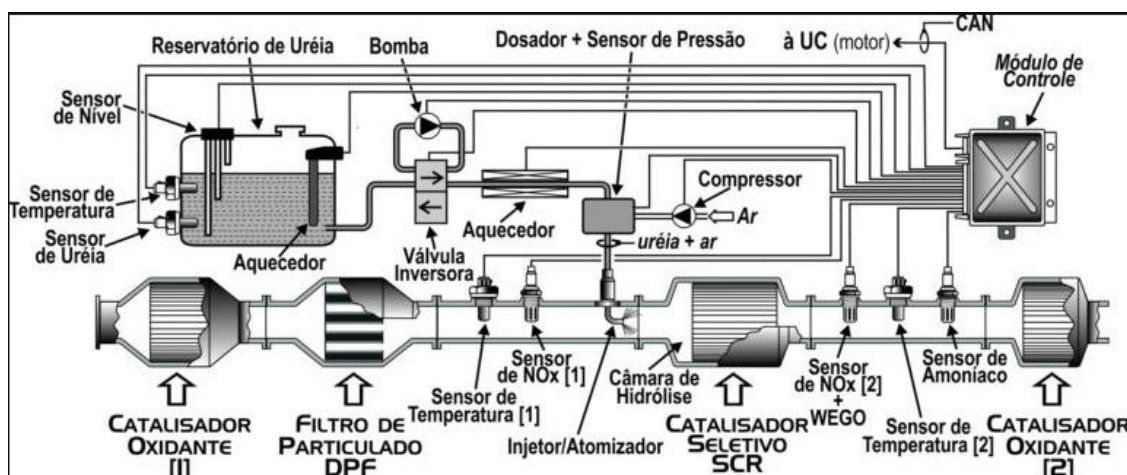
A necessidade de um sistema de inspeção que fizesse a checagem de conexões dos sensores dos sistemas SCR (*Selective Catalytic Reduction*, ou Redução Catalítica Seletiva) serviu como justificativa para o desenvolvimento deste trabalho. Essa necessidade surgiu de um estudo feito em levantamentos com relação a problemas de campo de tratores. Nesses levantamentos, foi constatado que era muito comum o trator apresentar falhas características de casos em que havia algum problema com os sensores do sistema SCR. Aprofundando o estudo em cada um desses problemas, foi apurado que muitos desses problemas havia uma relação direta com erro de montagem dos sensores de temperatura e de óxido nítrico do conjunto AIO (do inglês: *All In One*), que é um equipamento onde junta-se diversos componentes do sistema SCR. A partir disso, foi proposto projetar e instalar um sistema na bancada de pré-montagem do AIO capaz de minimizar ou até mesmo eliminar esse tipo de erro de montagem.

### 1.2 Revisão Bibliográfica

O sistema SCR é um sistema encontrado em veículos automotores que tem por objetivo reduzir o nível de óxido nítrico provenientes da combustão a ser expelidos para a atmosfera. Estes sistemas, que geralmente encontram-se em veículos pesados a diesel, são pré-montados com alguns sensores de óxido nítrico (sensores NOx) e sensores de temperatura na entrada e na saída do conjunto. Caso esses sensores forem montados de forma equivocada, a unidade de controle do motor (ECU) irá interpretar que os parâmetros não estão de acordo, fazendo com que o veículo apresente falhas durante o seu funcionamento (LOURENÇO, 2010). Por conta desses problemas, este trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema que deverá fazer a checagem das conexões dos sensores, impedindo que os mesmos sejam montados em lugares incorretos. Para tanto, será projetado um sistema de inspeção visual onde sensores de visão dever reconhecer a disposição dos sensores, sendo assim possível realizar a checagem desses componentes.

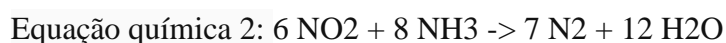
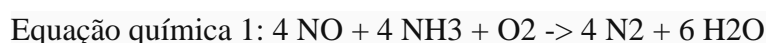
A Figura 1 mostra uma representação de um sistema SCR. Muitos dos componentes deste sistema fazem parte do AIO, que é um dispositivo que agrega a maioria destes componentes em um só conjunto, assim facilitando a pré-montagem.

Figura 1 – Representação da configuração de um sistema SCR.



Fonte: Jornal Oficina Brasil, 2018.

O sistema entra em funcionamento quando o motor está em operação e atinge uma determinada temperatura medida através dos dois sensores. Após esse tempo, a ECU começa a realizar a injeção do Arla (solução de uréia e água utilizado para reação catalítica) nos gases do escape, através do injetor localizado dentro do conversor catalítico. Quando o líquido entra em contato com os gases, inicia o processo de quebra no NOx. A ECU então analisa novamente qual a temperatura a montante e a jusante do catalisador, verificando assim se a catálise foi realizada adequadamente, pois quando ocorre a reação, a temperatura aumenta, e o segundo sensor deverá então medir uma temperatura mais alta que o primeiro. Analisando a informação passada pelo sensor de NOx, a ECU certifica que todos os resíduos de NOx foram transformados em água (H2O) e nitrogênio (N2), conforme mostram as equações químicas 1 e 2. Com esse sistema, é possível eliminar até 95% do NOx e em torno de 4 a 6% do CO2. (CHRISTINE LAMBERT, 2006)



Quando a reação é bem sucedida, a temperatura após o catalisador é mais alta que a inicial, ou seja, o segundo sensor de temperatura sempre deve indicar uma temperatura maior do que o primeiro sensor. O erro de montagem destes sensores fará com que a informação da temperatura apresente dados incorretos, fazendo com que a quantidade de combustível injetada não seja condizente com a ideal, podendo ocasionar as falhas no motor (LOURENÇO, 2010).

No sistema proposto, após a montagem correta dos sensores na bancada e o disparo das câmeras de inspeção visual, uma ferramenta de software da própria câmera será usada para calcular a taxa de correspondência da área (número de pixels) de um alvo em comparação com a área (número de pixels) de uma imagem previamente registrada. O sistema define um intervalo de extração ao clicar na cor a ser extraída na imagem mestre ou na imagem dinâmica. Essa ferramenta avalia se um alvo é OK ou NG (do inglês: *not good*) por meio da configuração do limite da taxa de correspondência. (KEYENCE, 2020).

Para a gestão do projeto, foram aplicados conceitos da metodologia Lean Manufacturing, que é uma metodologia utilizada em empresas para focar na redução de desperdícios, muito empregada em diversas áreas da AGCO Corporation para minimizar atividades desnecessárias e consequentemente diminuir custos, como movimentação excessiva, processamento excessivo e superprodução.

### 1.3 Objetivos

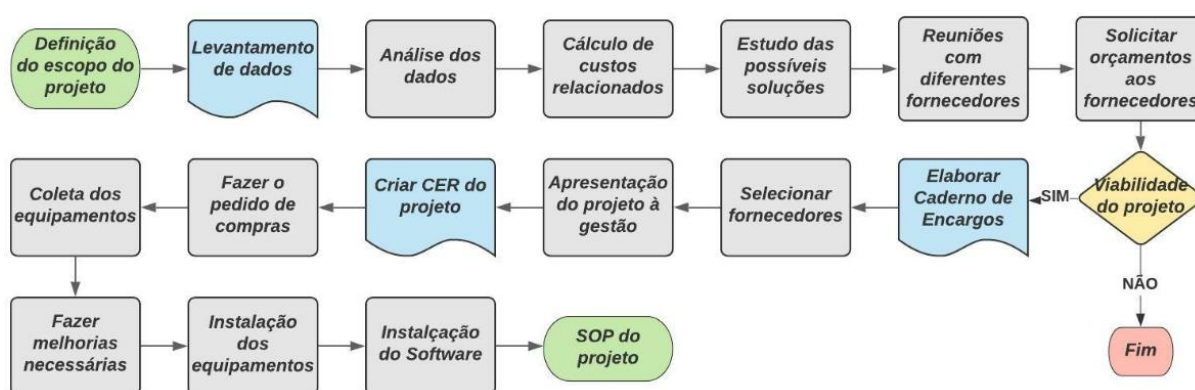
O objetivo principal deste trabalho é implementar um equipamento que faça a detecção de montagem dos sensores de temperatura e sensores de óxido nítrico do conjunto AIO usando um sistema de inspeção visual. O intuito da aplicação desse sistema será fazer com que o operador não consiga prosseguir com a instalação do conjunto caso aconteça algum erro de montagem dos sensores. Uma trava no sistema deverá impedir a montagem não siga adiante caso aconteça algum erro. A câmera que irá checar o *layout* do chicote dos sensores terá uma comunicação direta com o sistema da fábrica, assim tornando possível repassar ao sistema de gestão da fábrica dados obtidos naquele posto. Esse sistema será capaz de identificar se a montagem dos sensores está correta de acordo com o modelo da máquina. Os principais benefícios a serem alcançados são: redução de retrabalhos internos, redução dos problemas de campo e geração de um banco de dados, resultando em uma redução de custo.

## 2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O sistema de inspeção visual, dispositivo a ser projetado no contexto do presente trabalho, tem por objetivo inspecionar o layout dos sensores NOx e temperatura que são instalados no AIO, que é o conjunto de equipamentos que compõe o sistema catalisador de um trator. A proposta é a identificação da correta posição dos sensores que é feita por meio de abraçadeiras com cores especificadas de forma unívoca para cada sensor.

Para que um planejamento de projeto fosse desenvolvido, reuniões junto aos líderes da área de Engenharia de Manufatura foram efetuadas para criar um cronograma e um fluxograma de projeto (Figura 2). A metodologia utilizada foi baseada em projetos implementados anteriormente. Reuniões recorrentes semanais foram efetuadas durante o projeto a fim de discutir as tomadas de decisões e futuras atividades a serem efetuadas.

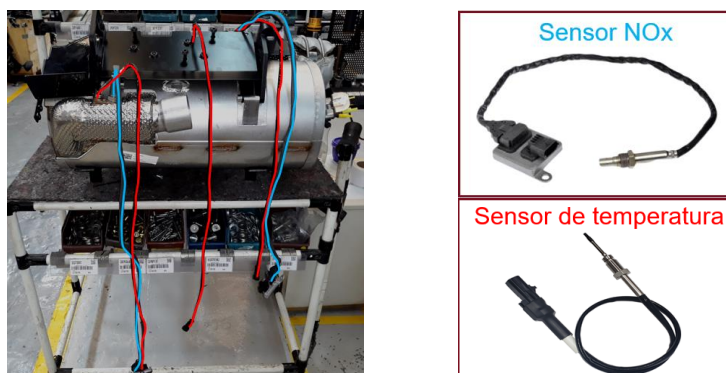
Figura 2: Fluxograma de planejamento do projeto.



Para avaliar se o projeto seria viável economicamente, foi realizado um levantamento de dados de ocorrência desses erros de montagem e qual o custo relacionado para reparar esses erros após a máquina estar operando em campo. Essas informações foram obtidas em relatórios de campo concebidas pelo setor de qualidade da empresa.

Sabendo dos problemas característicos que ocorrem em campo nos tratores pela montagem equivocada dos sensores NOx e de temperatura (Figura 3), foi possível rastrear quais foram de fato ocasionados por erros de montagem desses sensores. A partir dessas informações, pode-se obter qual o custo de garantia envolvido para cada um desses problemas, e, dessa forma, possível analisar se o projeto seria ou não viável.

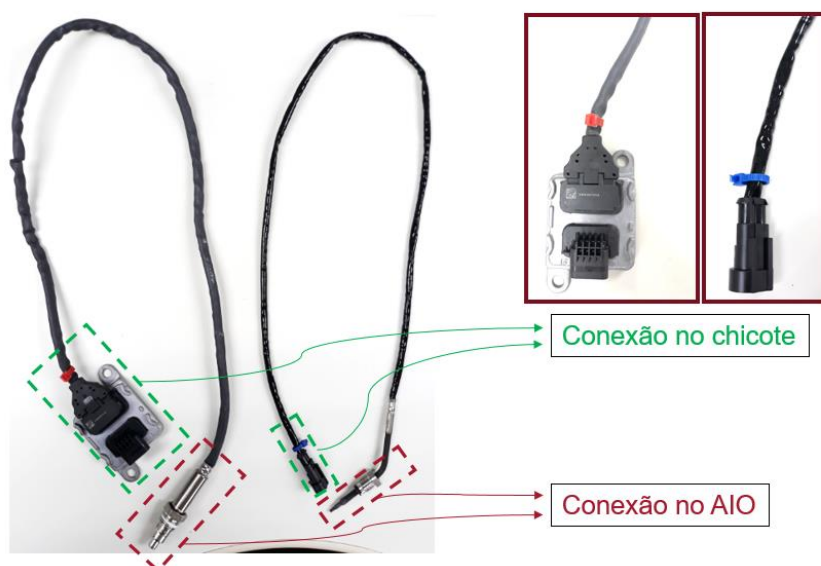
Figura 3 – Disposição dos sensores. Em azul: sensores NOx. Em vermelho: sensores de temperatura.



Na Figura 3, à esquerda, a imagem mostra a bancada antiga, onde os sensores eram identificados sem nenhum dispositivo para inspeção. Com novo sistema, caso a montagem estiver de acordo, o equipamento irá liberar o catalisador para que o mesmo seja montado na máquina na linha principal. Se os sensores não forem identificados de forma correta, uma mensagem irá avisar o operador de que a montagem não está correta, obrigando o mesmo a corrigir o problema.

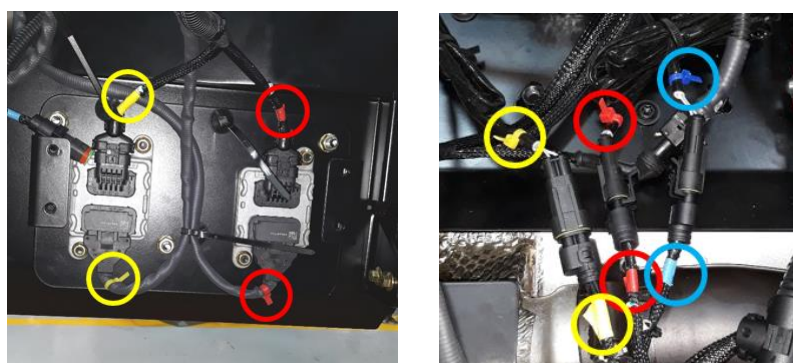
A sequência de abraçadeiras coloridas irá depender do modelo do trator, sendo que as mesmas devem ser presas na extremidade do cabo que vai ser conectada ao chicote principal do trator, conforme mostrado na Figura 4:

Figura 4: Conexões dos sensores. À esquerda: sensor NOx. À direita: sensor de temperatura.



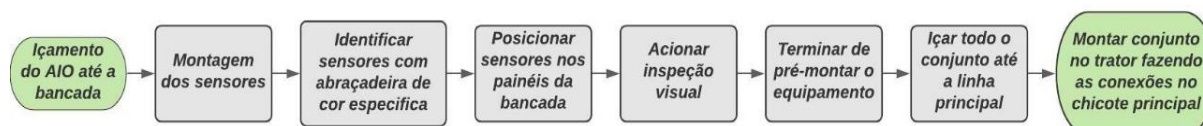
Pode-se notar que a extremidade a ser inspecionada pelas câmeras é a aquela onde os sensores são identificados com as abraçadeiras coloridas. Após ser feita a inspeção e a finalização de toda a pré-montagem, o conjunto AIO é içado até a linha principal onde será feita a instalação no trator. Neste ponto, os chicotes do conjunto AIO previamente identificados e inspecionados são conectados ao chicote principal do trator, conforme mostra a Figura 5. O chicote principal é adquirido de um fornecedor externo e já é entregue com seus cabos devidamente identificados e testados.

Figura 5 – Conexões dos chicotes dos sensores no chicote principal.



Nessa fase, a função do operador é a de conectar a extremidade dos chicotes dos sensores que já foram identificados previamente (Figura 5) ao chicote já que já está instalado na máquina. Na máquina, basta fazer as conexões de acordo com a cor correspondente. Para facilitar o entendimento, esta sequência de montagens está demonstrada em um fluxograma na Figura abaixo:

Figura 6: Fluxograma de montagem do AIO.



A conexão do chicote dos sensores no correspondente do trator é feita na linha principal, onde os chicotes do trator já estão devidamente identificados com uma cor específica. Na linha principal, o operador deve fazer a conexão do chicote dos sensores com o chicote do trator de acordo com as cores previamente identificadas.

Após a definição do escopo do projeto, foram requisitados orçamentos aos fornecedores para que pudesse ser realizada uma avaliação para definir quais empresas a serem escolhidas para fornecer os equipamentos e realizar a montagem do sistema. Definida as empresas parceiras que iriam executar a montagem do sistema, partiu-se para elaborar uma CER (*Capital Expenditure Request*) para viabilizar as aquisições da bancada, das câmeras e do software industrial. Estas informações de aquisições de equipamento serão especificadas com mais clareza posteriormente no trabalho.

### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1 Análise da viabilidade econômico-financeira

Para avaliar a viabilidade econômica, foi realizado um levantamento de dados de ocorrência desses erros de montagem e qual o custo relacionado para reparar esses erros após a máquina estar operando em campo. Essas informações foram coletadas por meio de planilhas de relatórios de campo geradas pelo setor de qualidade da empresa. Esses relatórios são construídos a partir de casos de problemas que envolvem a garantia dos tratores. Após uma rigorosa inspeção, além de testes ligados diretamente à ECU da máquina, os problemas e erros de montagem são listados e posteriormente alocados em um relatório onde são analisados para diversos fins, como melhoria de indicadores, prevenção de retrabalho e análise de custo, dentre outras aplicações.

Os modelos de tratores que utilizam o sistema SCR são os Massey Ferguson 4709 e 4710 (família 4700), 5710 e 5711 (família 5700) e 6712 e 6713 (família 6700). Esses modelos utilizam esse sistema porque são exportados para os Estados Unidos, onde as leis em relação aos gases expelidos provenientes da combustão são mais rígidas. Aqui no Brasil, esse sistema, por ora, não é necessário. Hoje, encontram-se três tipos de sistemas SCR montados nos tratores da planta da AGCO em Canoas/RS. Para esses três sistemas, existem dois tipos de *layouts* de sensores existentes. Para máquinas com motor de três cilindros, existem dois tipos de sistemas SCR, porém o layout deles é o mesmo. Para máquinas com motor de quatro cilindros, o sistema SCR é diferente, assim como o layout dos seus sensores. Com base nisso, pode-se definir os dois layouts presentes como Layout A e Layout B, demonstrados na Tabela 1:

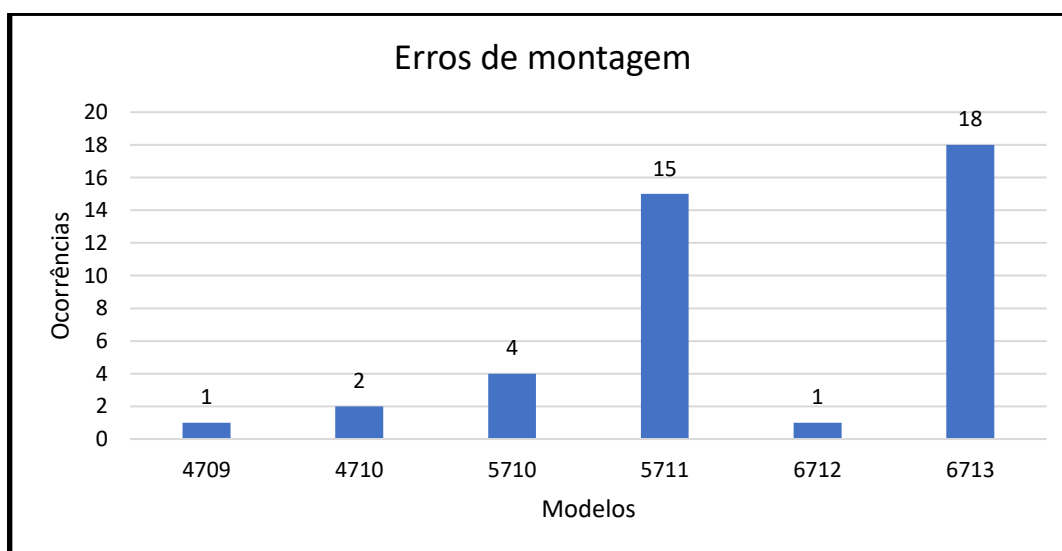
Tabela 1 – Configuração de montagem de abraçadeiras para cada layout.

| Cor da abraçadeira |          |          |
|--------------------|----------|----------|
| Sensor             | Layout A | Layout B |
| Temp. entrada      | Azul     | Vermelho |
| NOx entrada        | Vermelho | Vermelho |
| Temp. média        | Vermelho | Azul     |
| Temp. saída        | Amarelo  | Amarelo  |
| NOx saída          | Amarelo  | Amarelo  |

O Layout A é utilizado na montagem da família 4700 e é o mais comum dentre os dois, sendo esta responsável por 77% de todas as montagens de tratores que utilizam o sistema SCR. O Layout B é montado para as famílias 5700 e 6700, que, apesar de apresentarem maior quantidade em variação de modelos, representam apenas 23% dos modelos que utilizam o sistema SCR.

Ciente dos problemas característicos que ocorrem em campo nos tratores pela montagem equivocada dos sensores NOx e de temperatura, é possível rastrear quais foram de fato ocasionados por erros de montagem desses sensores. A partir dessas informações, pode-se obter o custo de garantia envolvido em cada um desses problemas e assim analisar se o projeto seria ou não viável. A Figura 7 apresenta uma quantificação dos erros de montagem do chicote dos sensores em relação a cada modelo de trator fabricado:

Figura 7 – Gráfico do número de ocorrências de erro de montagem em relação a cada modelo de trator.



Analisando os dados de problemas de campo, pode-se obter informações da quantidade de inconformidades atreladas à montagem equivocada dos sensores no conjunto AIO. Com base nesses dados, realizou-se um levantamento dos custos relacionados a cada problema, e com isso, levando em conta a quantidade de tratores a serem fabricados para o próximo ano, foi possível realizar uma estimativa do custo previsto decorrente desses problemas. No ano de 2020 foram fabricados 1209 tratores de modelos que são exportados para os Estados Unidos. Os modelos mais fabricados são da família 4700, com 77% da produção desses tratores, como mostra na Tabela 2:

Tabela 2 - Quantidade de tratores fabricados por família e sua parcela de participação total

| <b>Tratores fabricados em 2020</b> |                                   |         |
|------------------------------------|-----------------------------------|---------|
| Família                            | Quantidade de tratores fabricados | Parcela |
| 4700                               | 925                               | 77%     |
| 5700                               | 52                                | 4%      |
| 6700                               | 232                               | 19%     |
| Total                              | 1209                              | 100%    |

Apesar dos modelos da família 4700 apresentarem a maior parcela de tratores fabricados, este grupo constitui a menor quantidade de problemas, correspondendo a apenas 8% dos problemas totais. Uma análise comparativa de problemas em relação a cada família de tratores está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Problemas por família considerando sua parcela total.

| <b>Problemas de montagem em 2020</b> |                         |         |
|--------------------------------------|-------------------------|---------|
| Família                              | Quantidade de problemas | Parcela |
| 4700                                 | 3                       | 8%      |
| 5700                                 | 19                      | 46%     |
| 6700                                 | 19                      | 46%     |
| Total                                | 41                      | 100%    |

A Tabela 3 apresenta os dados que provam que o modelo 4700, é o que menos apresenta erros de montagem. Segundo o setor de Engenharia de Manufatura, isso pode ser atribuído à repetitividade da montagem do operador, pois o mesmo está familiarizado com o tipo de montagem e, quando se requer uma montagem diferente, que são os casos dos modelos das famílias 5700 e 6700, o operador pode acabar se equivocando e realizando a montagem de forma incorreta devido à falta de repetibilidade que ocorre nesses casos.

O relatório de custos de garantia apresenta os valores que foram dispendidos para solucionar cada problema. Estes custos são atrelados a cada registro de erros de montagem, levando em consideração desde o deslocamento para a busca da máquina no campo até o conserto e entrega ao cliente. Somando todos os custos e fazendo uma média aritmética para obter um custo médio relativo a cada problema, tem-se a seguinte tabela:

Tabela 4 - Tabela de custos por família de tratores para o ano de 2020.

| <b>Custos de problemas de montagem em 2020</b> |                          |          |                        |
|--|--------------------------|----------|------------------------|
| Família  | Custo médio por problema |          | Custo total por modelo |
| 4700   | R\$                      | 2.388,39 | R\$ 7.165,16           |
| 5700   | R\$                      | 3.716,40 | R\$ 70.611,57          |
| 6700   | R\$                      | 1.958,86 | R\$ 37.218,36          |
| Valor total:                                   |                          |          | R\$ 114.995,08         |

Fazendo a multiplicação do custo médio por problema pela quantidade de problemas, chega-se ao custo total por modelo. Apesar de as famílias 5700 e 6700 terem o mesmo número de problemas, a família 5700 apresenta um custo médio por problema mais elevado, fazendo com que este grupo de tratores seja o que causa mais prejuízo para a empresa quando tratam-se de erros de montagens dos sensores em questão.

Em 2020, conforme mostrado na Tabela 5, o custo total devido à problemas de montagens de sensores NOx e sensores de temperatura no conjunto AIO foi de R\$ 114,995,08. Este foi o valor levado em consideração para a construção da CER (*Capital Expenditure Request*), documento utilizado na empresa necessário para justificativa de gastos que ultrapassam o valor de R\$ 1500,00. Este documento é preenchido pelo responsável do projeto e é encaminhado ao setor financeiro da empresa, onde é feito o estudo para a aprovação ou não do investimento. Para o ano de 2021, a Tabela 6 mostra a projeção do valor que seria gasto até o final deste ano:

Tabela 5 - Projeção de gastos até o final do ano de 2021.

| <b>Problemas de montagem (projeção para 2021)</b> |                          |                  |
|---|--------------------------|------------------|
|   | Custo médio por problema | Custo por modelo |
| 4700  | R\$ 2.388,39             | R\$ 19.107,09    |
| 5700  | R\$ 3.716,40             | R\$ 263.864,28   |
| 6700  | R\$ 1.958,86             | R\$ 70.518,99    |
|   | Valor total:             | R\$ 353.490,36   |

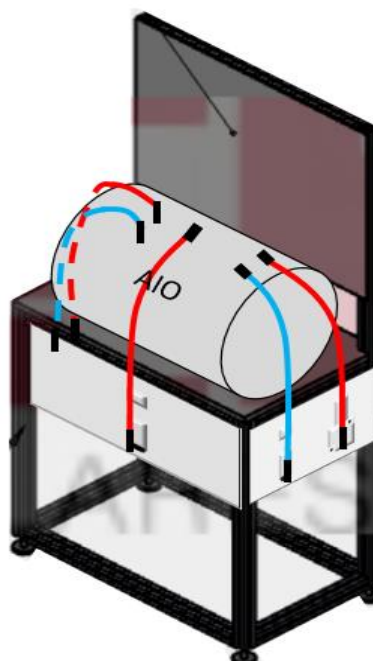
Os valores dessa projeção são baseados em listas de pedidos de tratores programados para serem fabricados no ano de 2021. Devido ao grande aumento de vendas de máquinas para os Estados Unidos, os tratores nos quais o sistema SCR é instalado tiveram que ser produzidos em uma escala maior. Até o final do ano de 2021, o número de pedidos de tratores da família 4700 foi de 2502 unidades. A família 5700 teve 194 pedidos e a família 6700 teve 436. Levando em consideração que a proporção de problemas em relação ao número total de tratores produzidos para uma família específica deve permanecer a mesma, o valor total encontrado para o prejuízo que a empresa pode ter com relação a erros de montagem dos sensores é de R\$ 353.490,36.

### 3.2 Descrição da bancada

O dispositivo de inspeção visual deve garantir que as abraçadeiras sejam identificadas com a cor relativa ao respectivo sensor. Uma câmera faz a inspeção para identificar se a abraçadeira da cor específica está associada ao sensor correto. Com base nessa ideia, o projeto de uma bancada juntamente com um conjunto de câmeras foi desenvolvido para que a inspeção visual seja efetuada durante a pré-montagem do conjunto AIO. O dispositivo montado consiste em uma bancada de alumínio com três painéis de chapa metálica os quais são posicionados na frente e nas laterais da bancada. As três câmeras estão instaladas na parte inferior da bancada e apontadas para cada um dos painéis. Uma representação desta bancada está apresentada na Figura 8:



Figura 8 - Representação do dispositivo de inspeção visual.



Os painéis mostrados na Figura 8 garantem que os cabos fiquem na ordem prevista para que a câmera possa fazer a inspeção das abraçadeiras. O projeto dos painéis passou por diversas revisões antes de chegar ao modelo atual. A ideia inicial foi fazer apenas um painel frontal onde todos os sensores estariam dispostos, contudo, após serem feitos alguns testes de montagem, foi observado que os sensores poderiam facilmente ser posicionados de forma errada, o que não evitaria com que o operador cometesse um erro no posicionamento dos mesmos. Para o caso dos painéis definitivos, por exemplo, é impossível fazer com que o sensor de temperatura de entrada seja posicionado em um lugar diferente a não ser a posição mais a direita, fazendo com que a inspeção com a câmera garanta que aquele lugar é o do cabo do sensor de temperatura de entrada. Assim, isso evita que o operador monte os sensores em um local equivocado, pois o chicote dos mesmos é incompatível em termo de alcance no caminho definido pela bancada.

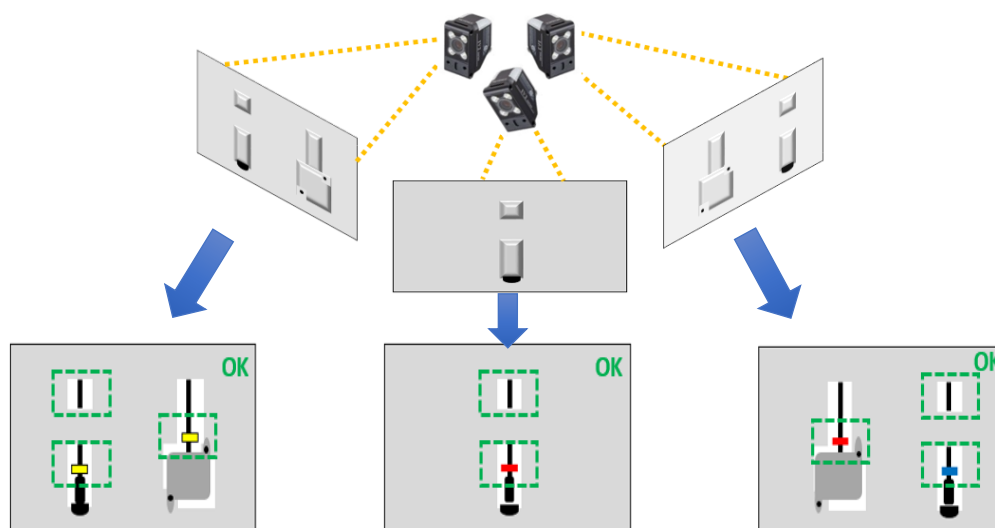
Esta bancada é um dispositivo classificado como *Poka-Yoke* (termo japonês que significa dispositivo à prova de erros). Estes tipos de dispositivos são amplamente utilizados nas indústrias para evitar que o operador cometa erros de montagem.

A fabricação da bancada foi feita por uma empresa especializada em estruturas de alumínio. Para que a empresa pudesse construir a bancada, um desenho técnico foi enviado à empresa com as medidas necessárias. Como já existia uma bancada na qual os operadores trabalhavam para a pré-montagem do sistema SCR, o desenho da nova bancada foi baseado nas medidas da bancada antiga, apenas alterando alguns pontos, como o material, por exemplo. Esta nova bancada foi construída toda em alumínio, com exceção da tampa superior onde seria posicionado o conjunto AIO, que foi exigida a colocação de uma chapa metálica para sustentar o peso do conjunto. A estrutura é composta por um material em alumínio comercialmente conhecido como perfil Bosch, que facilita a montagem e implementação de outros dispositivos à bancada. A escolha desse perfil se deu devido à uma padronização de estruturas de prateleiras da fábrica que está sendo implementada atualmente.

### 3.3 Sistema de visão

O sistema de inspeção visual faz a checagem dos *layouts* dos sensores utilizando as câmeras que estão instaladas abaixo da bancada. As câmeras irão fazer a inspeção dos cabos e das abraçadeiras por trás do painel de acordo com a Figura 9:

Figura 9 - Representação da inspeção visual feita pelas câmeras.



Cada câmera é responsável por inspecionar um painel e aprovar se as cores das abraçadeiras estão de acordo ou não. Se a abraçadeira está com a cor certa e dentro da área demarcada no software, o sistema aprova a montagem no sistema. Além da abraçadeira, o software deve checar se o chicote do sensor está alinhado quando fixado no painel, fazendo com que não seja possível uma montagem cruzada, por exemplo.

## 4. RESULTADOS

O desenvolvimento do dispositivo do sistema de inspeção visual foi realizado de acordo com a especialidade de empresas para cada parte do projeto. Para a fabricação da bancada, uma empresa especializada em estruturas de alumínio foi contratada para o desenvolvimento da mesma. A compra das câmeras foi efetuada após testes com diversas empresas a fim de selecionar a melhor opção para este tipo de aplicação.

Para cada equipamento a ser comprado, devido à políticas da empresa, três orçamentos deveriam ser requisitados a fim de comparação de preços. Esses orçamentos foram anexados a CER, que posteriormente foi encaminhado ao setor de compras. Para o projeto em questão, as compras foram separadas em três segmentos: bancada, câmeras de inspeção e software. Para cada um desses segmentos, foram contatadas três empresas para o conhecimento de seus produtos, com exceção da empresa de software. Como já havia um sistema implementado ao Terminal de Coleta com uma empresa de software específica, seria mais viável a contratação desta mesma empresa para fazer a implementação do sistema de visão. Outra empresa também foi contatada para o desenvolvimento do software apenas para fins de comparação. Por fim, as empresas selecionadas foram:

**Alu-Cek:** fabricante da bancada de alumínio. Valor: R\$ 4.400,00;

**Keyence:** fabricante dos sensores de visão (câmeras). Valor: R\$ 30.960,45;

**Sequor:** empresa responsável pelo software industrial. Valor: R\$ 99.696,43.

O valor total gasto nas compras de todos os equipamentos necessários para o desenvolvimento do dispositivo foi de \$ 26.202,00 ou de R\$ 135.057,00 (Figura 10) considerando o valor de compra do dólar de R\$ 5,1545, valor do momento da construção da CER.

Figura 10: Resumo da CER do projeto.

| Overview of Request:              |  |  |                              |   |
|-----------------------------------|--|--|------------------------------|---|
| Project Title:                    | <u>Digital vision at AIO System pre-assembly</u>     | <input type="checkbox"/>   | Date:                        | <u>8/2/2021</u>   |
| Region / Location:                | <u>South America/Brazil/Canoas</u>                   | <input type="checkbox"/>   |                              |   |
| CER Originator / Budget Contact:  | <u>Guilherme Luis Curzel Bernardi</u>                | <input type="checkbox"/>   |                              |   |
| Amount of CER (US\$):             |  |  |                              |   |
|                                   | Total  | Capital  | Expense                      |   |
|                                   | \$ 26.202  | \$ 26.202  | \$ -                         | <input type="checkbox"/>  |
| Total Cost of Project             | \$ 26.202  | \$ 26.202  | \$ -                         | Is this project in the current year budget?   |
| Less: Amounts previously approved | -  | -  | -                            | Yes <input checked="" type="checkbox"/>   |
| Amounts remaining to be approved  | -  | -  | -                            | No <input type="checkbox"/>   |
| Amount of CER (US\$)              | \$ 26.202  | \$ 26.202  | \$ -                         | If yes, how much? _____   |
|                                   |  |  |                              | If this project is a lease arrangement, please indicate the accounting classification determined: |
|                                   |  |  |                              | Operating lease _____   |
|                                   |  |  |                              | Capital lease _____   |
| Request Type                      |  |  |                              |   |
|                                   | <input checked="" type="checkbox"/> Original Request | <input type="checkbox"/> Stand alone project                     |                              |   |
|                                   | <input type="checkbox"/> Re-submission               | <input type="checkbox"/> Part of a larger project (project name) |                              |   |
|                                   | <input type="checkbox"/> Supplemental Request        |  |                              |   |
| Investment Type                   |  |  |                              |   |
|                                   | <input type="checkbox"/> Maintenance                 | <input type="checkbox"/> Infrastructure                          | <input type="checkbox"/> NPI |   |
|                                   | <input checked="" type="checkbox"/> Cost Reduction   | <input type="checkbox"/> Legal / Regulatory                      |                              |   |
|                                   | <input type="checkbox"/> Quality                     | <input type="checkbox"/> Capacity                                |                              |   |

#### 4.1 Hardware

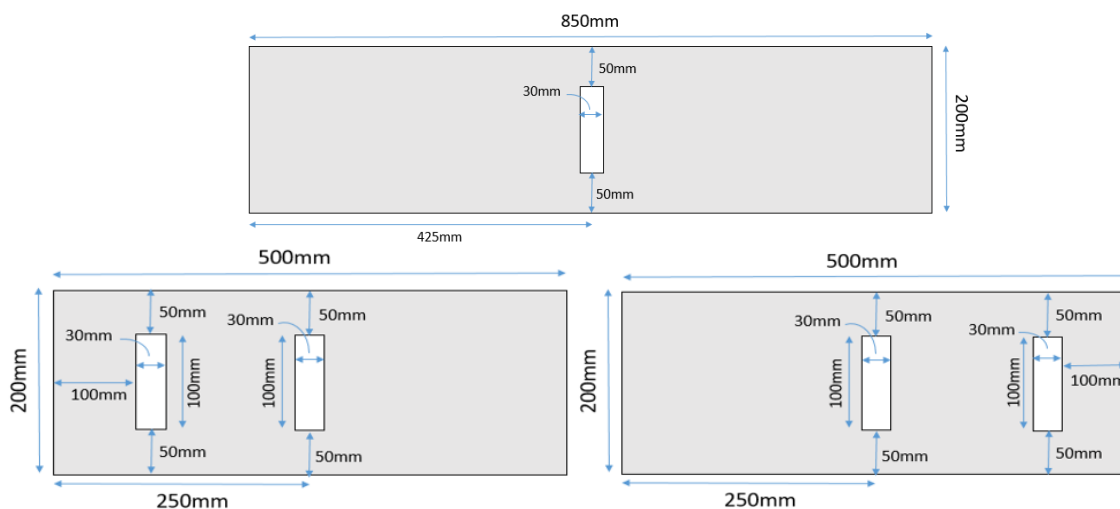
Com a chegada dos materiais necessários para a montagem do dispositivo, algumas alterações na bancada foram realizadas para possibilitar a instalação das câmeras e os painéis necessários para a inspeção visual. Foram realizadas algumas melhorias para poder fazer com que os chicotes dos sensores pudessem ser posicionados de forma correta conforme planejado. Além disso, um suporte para as câmeras foi projetado para ser instalado sob a bancada, prendendo as câmeras de modo que ficassem posicionadas adequadamente. A Figura 11 apresenta uma imagem da bancada antes de ter sido realizada qualquer alteração.

Figura 11 – Bancada de alumínio.



Primeiramente, três painéis foram confeccionados a fim de poder acomodar os sensores na bancada (Figura 12). Cada painel foi projetado para que cada chicote de sensor pudesse ser posicionado no seu devido lugar, procurando evitar a possibilidade de erro de montagem. Na configuração projetada, os três sensores de temperatura são montados separadamente. O chicote do sensor de temperatura de entrada deve ser posicionado no painel da lateral direita, o sensor médio posicionado no painel frontal e o sensor de temperatura de saída posicionado no painel da lateral esquerda da bancada. Fazendo esta separação, como comentado anteriormente, fica improvável que o operador cometa algum erro de montagem, pois cada chicote só pode alcançar o encaixe associado ao seu exato posicionamento. Para os sensores NOx, o sensor de entrada deve ser posicionado no painel à direita e o sensor de saída à esquerda.

Figura 12 – Desenho técnico dos painéis.



A fabricação desses painéis foi feita pela área de melhoria da empresa, que é responsável pela modificação e conserto de componentes da fábrica. Os desenhos desses painéis, que são mostrados na Figura 12, foram elaborados levando em consideração diversos fatores como: a facilidade para o encaixe dos sensores, prevenção de erros de montagem, custo e ergonomia. Os painéis foram fabricados com chapas metálicas de 0,9 mm de espessura. Após a confecção e instalação dos painéis, uma estrutura foi projetada e fabricada para alocar as câmeras na bancada e posicioná-las para possibilitar a realização de inspeção. A estrutura das câmeras foi projetada para que elas pudessem ser posicionadas abaixo da bancada visando cada um dos painéis, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Configuração da parte inferior da bancada.



Em cada câmera existe apenas uma entrada para conexão, a qual serve para ligá-la diretamente a um amplificador com um cabo específico. As demais conexões devem ser feitas diretamente no amplificador, já que este componente apresenta as demais entradas. Para o caso deste projeto, a conexão utilizada para a comunicação das câmeras com o software é do padrão Ethernet. O conjunto de câmeras é ligado em 24 V, que corresponde à tensão utilizada para sua alimentação. Uma fonte chaveada ligada diretamente ao amplificador do sensor é utilizada para fazer a alimentação do conjunto. Como cada câmera necessita de uma corrente de 1,8 A para o seu funcionamento, a fonte necessária para alimentar todo o sistema deve ser de, no mínimo, 5,4 A.

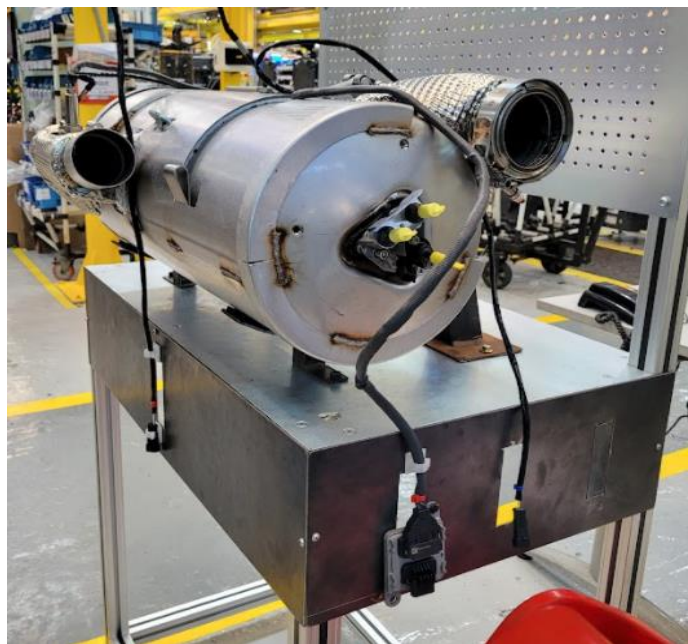
Para a bancada acomodar o conjunto AIO, um suporte foi instalado sobre a bancada. Este suporte foi reaproveitado da antiga bancada utilizada para fazer a pré-montagem deste equipamento. Os painéis foram acoplados à bancada com rebite. A bancada, após todas as montagens, está apresentada na Figura 14:

Figura 14 – Bancada montada e pronta para uso.



Após a montagem estar pronta, foi necessário o acoplamento de presilhas para que fosse possível prender o chicote dos cabos nas posições adequadas. A escolha de uma chapa perfurada para compor a bancada foi baseada em outras bancadas já existentes na fábrica. Este tipo de chapa permite que seja possível prender diversos tipos de equipamentos na própria bancada, como ferramentas que serão utilizadas para a montagem do conjunto AIO ou um monitor que mostre a instrução de montagem ao operador. A Figura 15 mostra o sistema já com o conjunto AIO sobre a bancada, modo no qual o operador deve fazer o posicionamento dos cabos para que seja possível realizar inspeção visual.

Figura 15 – Sistema finalizado para utilização.



Finalmente, o dispositivo montado está pronto para o SOP (do inglês: Standard Operation Procedure), que é um procedimento específico para a operação que descreve as atividades necessárias para implementar um novo equipamento e completar tarefas de acordo com os regulamentos da empresa (BRAMPTON, 2017).

#### 4.2 Software

O operador irá realizar a operação de identificação do modelo de trator que está sendo montado na linha principal via leitura de código de barras. O sistema então mostra na tela do Terminal de Coleta as instruções de montagem para o operador de acordo com o modelo identificado, mostrando o *layout* para a identificação dos sensores a serem montados no AIO. Após a finalização da montagem, o operador irá utilizar o Terminal para solicitar ao sistema que realize a inspeção visual. O sistema receberá do software de inspeção visual, via comunicação Ethernet/IP, as informações referentes aos testes, OK/NOK de todas as posições testadas de acordo com o layout selecionado (Figura 16). Caso a montagem esteja de acordo, o sistema armazena todas as informações para rastreabilidade. Caso haja algum problema, o sistema irá informar ao operador e manter a operação travada. Depois de ajustado, o operador poderá solicitar uma nova inspeção visual. Após o sucesso na validação pelo sistema de visão, o sistema irá vincular os dados de inspeção na etiqueta impressa na operação. Esta etiqueta deve ser colada no AIO para que seja feita uma checagem de que o equipamento esteja sendo montado no modelo de trator correto.

Figura 16 – Interface do software das câmeras.



O software dispõe de diversas ferramentas que podem ser utilizadas para controle de montagem. Para o caso deste projeto, a ferramenta utilizada chama-se ÁreaCor. Esta opção de inspeção permite que seja definido uma área de controle onde uma cor específica deve estar dentro desta área para que o software aprove a inspeção. A cor pode ser selecionada manualmente ou pode-se usar a ferramenta Extração de Cores, onde uma amostra da cor desejada é selecionada na imagem para definir qual é a frequência desejada para aquela área definida. A partir da escolha da cor, pode-se definir diversos parâmetros, como intervalo da matriz, saturação e o brilho da imagem para determinar qual será a tolerância a ser aceita a partir da cor escolhida. Além disso, é possível determinar a proporção de pixels de uma cor específica a ser aceita dentro da área demarcada. Na Figura 16 é possível notar que para ambas as áreas demarcadas, 84% dos pixels daquela cor estão presentes no exato momento da inspeção. Esta diferença de 16% da imagem definida como padrão pode ser ocasionada devido à fatores como a perspectiva da abraçadeira em relação à lente da câmera, luz natural, tonalidade da cor da abraçadeira, entre outros aspectos. Todos estes parâmetros previamente apresentados podem ser modificados de acordo com a aplicação.

## 5. CONCLUSÃO

Os objetivos do trabalho foram alcançados e o dispositivo de inspeção visual já está em fase de testes para ser implementado na linha de montagem. A necessidade do desenvolvimento de um equipamento à prova de erros de montagem de sensores na pré-montagem do sistema SCR mostrou-se necessário tendo em vista os problemas verificados em relatórios de qualidade da empresa. Com o dispositivo em operação e a diminuição de erros de montagem para esta aplicação, calcula-se que o valor a ser economizado pela empresa em relação a estes problemas possam ultrapassar o valor de R\$ 300,000,00 por ano, levando em consideração o ano de 2021 como base para os cálculos. Dessa forma, pode-se dizer que o dispositivo projetado tem um grande potencial de retorno para a empresa.

Para futuros trabalhos, um estudo de avaliação da quantidade de erros de montagem que o dispositivo possa ter conseguido evitar com o sistema de inspeção visual em um intervalo de um ano é de grande valia, pois assim será possível comparar com os relatórios atuais e fazer um cálculo de ganho financeiro obtido com a implementação do equipamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LAMBERT, C., GIRARD, J., "**The Influence of Ammonia to NOX Ratio on SCR Performance**," SAE Technical Paper 2007-01-1581, 2007.

BOSCH. **Manual de Tecnologia Automotiva**, 25. Ed. São Paulo: E. Blucher, 2012.

CANOVA M, MIDLAM S. **Model-based fault detection and isolation for a diesel lean NOx trap aftertreatment system**, 2015.

Qiu T, Li XC, Liang H, Liu XH, Lei Y. **A method for estimating the temperature downstream of the SCR (selective catalytic reduction) catalyst in diesel engines**, 2014.

GREENCHEM. **What is an SCR system?**. 2017. Disponível em: <<https://www.greenchemadblue.com/scr-system/>>. Acessado em: 20/10/2021.

LOURENÇO, ÁLVARO A. de MATTOS. **Otimização de sistema de pós-tratamento de gases de escape do tipo catalisadores seletivos em motores diesel**, 2010.

KEYENCE. **Manual do usuário da série IV2 (software para PC)**. Sensor de visão série IV2. 2020

MANAVELLA, Humberto. **SCR realiza a neutralização das emissões de Óxido de Nitrogênio**. Disponível em: <<https://www.mte-thomson.com.br/scr-catalisador-seletivo-reductor/>>. Acessado em 02/11/2021.

MUIRA, André. **Sistemas de pós-tratamento SCR Diesel – funcionamento, reações químicas e testes práticos**. Disponível em: <<https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/tecnicas/sistemas-de-pos-tratamento-scr-diesel-funcionamento-reacoes-quimicas-e-testes-praticos>>. Acessado em 02/11/2021.

## APÊNDICE



Figura 1: Segmento da CER com os orçamentos requisitado.

| Investment                    | Suppliers                 | Quantity (a) | Net Unit Cost - R\$ (b) | Taxes (ICMS, IPI, PIS, COFINS, ISS) (c) | Gross Unit Cost - R\$ (d) = (b)+(c) | Total - R\$ (e) = (d)*(a) | Total-US\$ (f) = (e)/Ex.Rate | Supplier selected |
|-------------------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------|
| Cameras for visual inspection | A Keyence                 | 1            | R\$ 30.960,45           | R\$ -                                   | R\$ 30.960,45                       | R\$ 30.960,45             | \$ 6.006,49                  | X                 |
|                               | B SPI (complete solution) | 1            | R\$ 110.000,00          | R\$ -                                   | R\$ 110.000,00                      | R\$ 110.000,00            | \$ 21.340,58                 |                   |
|                               | C Spheric                 | 1            | R\$ 41.127,95           | R\$ -                                   | R\$ 41.127,95                       | R\$ 41.127,95             | \$ 7.979,04                  |                   |
| Workbench                     | A Motion Service          | 2            | R\$ 3.790,00            | R\$ -                                   | R\$ 3.790,00                        | R\$ 7.580,00              | \$ 1.470,66                  |                   |
|                               | B Weld Tools              | 2            | R\$ 2.700,00            | R\$ -                                   | R\$ 2.700,00                        | R\$ 5.400,00              | \$ 1.047,63                  |                   |
|                               | C Alu-Cek                 | 2            | R\$ 2.200,00            | R\$ -                                   | R\$ 2.200,00                        | R\$ 4.400,00              | \$ 853,62                    | X                 |
| Software                      | A Sequor                  | 1            | R\$ 99.696,83           | R\$ -                                   | R\$ 99.696,83                       | R\$ 99.696,83             | \$ 19.341,71                 | X                 |
|                               | B SPI (complete solution) | 1            | R\$ 230.000,00          | R\$ -                                   | R\$ 230.000,00                      | R\$ 230.000,00            | \$ 44.821,20                 |                   |
| <b>TOTAL CAPITAL</b>          |                           |              |                         |   |                                     | <b>R\$ 135.057,28</b>     | <b>\$ 26.201,82</b>          |                   |

Figura 2: Planta baixa da área de pré-montagem do sistema SCR.

