



MURILO HENRIQUE DOMINGOS DE MELO

**AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE COLAGEM DE PONTEIRA
3W EM BAINHA DE INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL:
IMPLEMENTAÇÃO E VALIDAÇÃO**

LAVRAS – MG

2019

MURILO HENRIQUE DOMINGOS DE MELO

**AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE COLAGEM DE PONTEIRA 3W EM BAINHA DE
INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL:
IMPLEMENTAÇÃO E VALIDAÇÃO**

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 Bacharel.

Prof. DSc. Felipe Oliveira e Silva
Orientador

LAVRAS – MG

2019

MURILO HENRIQUE DOMINGOS DE MELO

**AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE COLAGEM DE PONTEIRA 3W EM BAINHA DE
INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL: IMPLEMENTAÇÃO E VALIDAÇÃO**

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 Bacharel.

APROVADA em 15 de Novembro de 2019.

Prof. DSc. Fábio Domingues de Jesus UFLA

Prof. DSc. Vinicius Miranda Pacheco UFLA

Prof. DSc. Felipe Oliveira e Silva
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

*Dedico este trabalho à minha Família e a Deus, por serem meu guia e autores do meu destino.
À minha mãe Rosiane, pelo seu cuidado, dedicação e forças para continuar nessa etapa
incrível de minha vida, ao meu pai Adilson pela sua presença, segurança, base de
conhecimentos e todo suporte nessa minha caminhada.*

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, por terem me dado suporte, amor e incentivo pela busca do conhecimento.

A Deus, por ter me dado sabedoria e saúde para resolver os problemas e superar as dificuldades.

À WTA Watanabe Tecnologia Aplicada EIRELI - EPP, por ter disponibilizado todo ambiente e estrutura para realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras, por esbanjar o conhecimento e fornecer todo o suporte para crescimento pessoal e profissional dentro e fora do âmbito acadêmico.

A todos os professores por terem dividido comigo todo o seu conhecimento abundante de cada área de nossa atuação.

Aos meus amigos, que puderam compartilhar dessa experiência incrível e contribuir com o nosso conhecimento profissional.

A todos que fizeram parte da minha formação.

Meu sincero **MUITO OBRIGADO!**

*O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo.
Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas
admiráveis.
(José de Alencar)*

RESUMO

Desde a primeira revolução industrial iniciada no século XVIII, a geração, distribuição de energia e o processo industrial exigiram o surgimento de novos sistemas automatizados a fim de aumentar a produtividade, amenizar os custos de produção e aumentar a qualidade do processo. Dentro deste contexto, destaca-se a automação industrial, um ramo da engenharia composto por elementos tecnológicos, tais como equipamentos de controle, motores, sensores, atuadores e IHM (*Interface Human Machine*), e que se divide em duas partes principais: parte operacional e de controle. Como consequência da Automação Industrial, a segurança do processo e a produtividade das empresas melhoraram, de modo que foi possível fabricar um produto com melhor qualidade e menor custo. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma aplicação da automação industrial no sistema de colagem de ponteiras 3W em bainhas de inseminação artificial animal, realizando o controle da aplicação de uma super cola, gerador de vácuo, sensores e posicionamento dos motores do sistema. O trabalho é desenvolvido na forma de um projeto piloto da empresa WTA – Watanabe Tecnologia Aplicada, localizada em Cravinhos – SP. A WTA é uma empresa dedicada à pesquisa e desenvolvimento de produtos e equipamentos para reprodução animal, bem como fabricação de moldes de injeção e prestação de serviços, tendo por diferencial a inovação, criação e desenvolvimento de produtos, equipamentos e tecnologias.

Palavras-chave: Automação Industrial; Controle; Motores; Sensores; Atuadores; IHM; Ponteira 3W; Bainha.

ABSTRACT

Since the first Industrial Revolution that began in the 18th century, new automated systems have been required to supply the generation and distribution of electricity to the industrial process, increase the productivity, soften production costs, and improve the quality of the process. Within this context, an engineering branch stands out, the industrial automation. It is composed of technologic elements such as control equipment, motors, sensors, actuators, and Interface Human Machine (IHM), and is divided in two main parts: operational and control. As a result of the Industrial Automation, process safety and business productivity have improved, so it was possible to manufacture a product with better quality and lower cost. The objective of this study is to present an application of the industrial automation in the 3W tips gluing system in animal artificial insemination sheaths, controlling the super glue application, vacuum generator, sensors, and positioning of the motors of the system. The study is developed as a pilot project at Watanabe Aplicated Technology (WTA) – located in Cravinhos, São Paulo, Brasil. WTA is a company dedicated to research and development of animal reproduction products and equipment, as well as injection mold manufacturing and services provision. WTA's differential is product, equipment, and technology innovation, creation, and development.

Keywords: Industrial Automation; Control; Motors; Sensors; Actuators; IHM; Tip 3W; Sheath.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Sistema Difuso de Ondas Ultrassônicas	17
Figura 2.2 – Modelo de Fim de Curso Industrial Convencional	18
Figura 2.3 – Faixa do Espectro Infravermelho	18
Figura 2.4 – Forma de Detecção de um Objeto por Meio do Sensor IR	19
Figura 2.5 – Princípio do <i>Encoder</i> Incremental e <i>Encoder</i> Absoluto	19
Figura 2.6 – <i>Encoder</i> de Contagem de Pulsos para Controle de Posicionamento Rotativo	20
Figura 2.7 – Componentes Fundamentais de um Sistema Embarcado	21
Figura 2.8 – IHM de Opções	22
Figura 2.9 – IHM de Supervisão	22
Figura 2.10 – Técnica Reprodutiva de IA é Empregada na Maioria das Espécies . .	24
Figura 2.11 – Equipamentos para IA e IATF	25
Figura 2.12 – Esquema para a Inseminação Artificial em Bovinas	26
Figura 2.13 – Bainhas 3W WTA	27
Figura 2.14 – Ponteiras 3W com Chanfro e sem Chanfro	27
Figura 3.1 – Perspectiva Frontal da Planta do Processo de Colagem de Ponteiras 3W em Bainhas de Inseminação Artificial	30
Figura 3.2 – Perspectiva Traseira da Planta do Processo de Colagem de Ponteiras 3W em Bainhas de Inseminação Artificial	31
Figura 3.3 – Visão Geral das Conexões dos Dispositivos Eletrônicos do Sistema . .	32
Figura 3.4 – Painel IHM com o Botão de Emergência e Sinalizador Sonoro Pulsante	33
Figura 3.5 – Nomes dos Conjuntos de Dispositivos Utilizados no Processo	33
Figura 3.6 – <i>Dispensers</i> de Cola com Regulagem Precisa de Tempo de Despejamento e Quantidade	34
Figura 3.7 – Conjunto de 2 Agulhas com Regulagem e Direcionamento da Colagem	35
Figura 3.8 – Sistema de Colagem com Seringa, Agulha, Filtro e <i>Dispenser</i>	35
Figura 3.9 – Alimentador Vibratório das Ponteiras 3W	36
Figura 3.10 – Sistema de Fuso com Motor de Passo para Deslocamento Linear . . .	36
Figura 3.11 – Sistema de Correia com Motor de Passo para Deslocamento Angular .	37
Figura 3.12 – Motor DC com Caixa de Redução de Alto Torque	37
Figura 3.13 – Sensor para Medição de Nível do Reservatório de Bainhas	38

Figura 3.14 – Sensor para Detecção de Bainhas no "Castelo"	38
Figura 3.15 – Sensor IR para Detecção de Ponteiras no Alimentador Vibratório . . .	39
Figura 3.16 – Sensor IR para Detecção de Ponteira 3W na Bainha	39
Figura 3.17 – Sensor Fim de Curso para os Motores de Passo	40
Figura 3.18 – Encoder Resposável pelo Posicionamento Angular do "Castelo"	40
Figura 3.19 – Painel de Comando com o Sistema Embarcado Desenvolvido	41
Figura 3.20 – Fonte de Alimentação da Máquina	41
Figura 3.21 – Interface De Supervisão da Máquina	42
Figura 3.22 – Opção Geral das Funcionalidades	42
Figura 3.23 – Interface De Monitoramento dos Sensores da Máquina	43
Figura 3.24 – Mensagens de Alertas Exibidas na Interface	44
Figura 3.25 – Micro Gerador de Vácuo Utilizado para Sugar a Ponteira na Bainha .	44
Figura 3.26 – Geração de Vácuo na "Traseira" da Bainha	45
Figura 3.27 – Encaixe da Ponteira na Bainha por Meio do Vácuo	45
Figura 3.28 – Válvula Pneumática para Acionar o Gerador de Vácuo	46
Figura 3.29 – Válvula Reguladora de Pressão do Ar Utilizado na Máquina	46
Figura 3.30 – Regulador de Fluxo de Ar dos Dispositivos do Sistema	47
Figura 3.31 – Diagrama de Comando da Interface de Supervisão	48
Figura 4.1 – Resultados Obtido pelo Teste Alpha 1.0 com <i>Setpoint</i> de 0.040 Segun- dos e sem o Sistema de Rotação	51
Figura 4.2 – Aplicador Universal para Bainhas de Inseminação Artificial	51
Figura 4.3 – Resultados Obtidos pelo Teste Alpha 2.0 com <i>Setpoint</i> de 0.010 Segun- dos e com o Sistema de Rotação de 180 graus	53
Figura 4.4 – Resultados Obtidos pelo Teste Alpha 2.1 com <i>Setpoint</i> de 0.030 Segun- dos e com o Sistema de Rotação de 360 graus	54
Figura 4.5 – Comparação das Ponteiras Com Cola de Coloração Azul Com Cola Incolor para Identificação de Falha no Processo	55
Figura 4.6 – Tempo de Produção em Cada Etapa do Processo em um Lote de 30.000 bainhas 3W	55
Figura 4.7 – Tempo de Produção de um Lote de 30.000 Bainhas 3W	56
Figura 4.8 – Comparação Isolada da Produção Manual com a Máquina 3W	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Tempo de Produção Unitária e Quantidade de Bainhas por Avaliação para o Teste Alpha 1.0	50
Tabela 4.2 – Tempo de Produção Unitária e Quantidade de Bainhas por Avaliação para Teste Alpha 2.0	52
Tabela 4.3 – Tempo de Produção Unitária e Quantidade de Bainhas por Avaliação para Teste Alpha 2.1	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Motivação	12
1.2	Apresentação da Empresa	12
1.2.1	WTA Watanabe Tecnologia Aplicada EIRELI - EPP	13
1.3	Objetivos	13
1.4	Estrutura do trabalho	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Conceitos da Automação Industrial	15
2.1.1	Processo	16
2.1.2	Sensores	16
2.1.3	Atuadores	20
2.1.4	Sistema Embarcado	20
2.1.5	Interface Homem-Máquina (IHM)	21
2.2	Bainhas de Inseminação Artificial	23
3	DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO	28
3.1	Detalhes da Instalação	30
3.2	Características dos Equipamentos Utilizados	34
3.2.1	<i>Dispenser</i> de Cola	34
3.2.2	Alimentador Vibratório de Peças	35
3.2.3	Motores de Passo com Sistema de Fuso	36
3.2.4	Motor DC com Caixa de Redução	37
3.2.5	Sensor Ultrassônico	37
3.2.6	Sensor IR	38
3.2.7	Sensor Fim de Curso	39
3.2.8	<i>Encoder</i>	40
3.2.9	Painel de Comando	40
3.2.10	Fonte de Alimentação	41
3.2.11	Interface Homem-Máquina	42
3.2.12	Micro Gerador de Vácuo	44
3.2.13	Valvula Pneumática 5/2 vias Elétrica	45
3.2.14	Válvula Pneumática Reguladora de Pressão	46

3.2.15	Valvula Reguladora de Fluxo de Ar	47
3.3	Detalhes do Funcionamento	47
4	RESULTADOS OBTIDOS	49
4.1	Atuação do Sistema de Colagem	49
4.2	Aspectos de instalação, colagem e operação do sistema	56
4.2.1	Instalação	56
4.2.2	Colagem	56
4.2.3	Operação do Sistema	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

A precisão e o tempo com que um processo é executado na indústria são de extrema importância para qualidade e custo de um produto. O controle da quantidade de cola e do tempo do processo de colagem das ponteiros 3W em bainhas de inseminação artificial animal são bons exemplos disso. Atualmente, a configuração convencional desse processo é feita de maneira manual, utilizando apenas um *dispenser* eletrônico para controle da quantidade de cola despejada na ponteira a ser colada. Colaboradores dedicados são treinados de acordo com a demanda da empresa para execução deste processo, a qual deve ser realizada em curto prazo e com extrema qualidade. Este é um processo repetitivo, desgastante para o colaborador e que exige bastante atenção.

Com o uso da Automação Industrial, o controle do processo pode ser feito por meio da integração de *software* e *hardware*, visando atender às necessidades de um mercado altamente competitivo e também garantir maior produtividade em menor tempo e custo em seu processo.

A tecnologia da Automação Industrial vem sendo de alta demanda desde a revolução industrial ocorrida no século XX, uma vez que pode resultar em enormes benefícios (FROHM et al., 2006), a saber:

- Redução no custo de produção e mão-de-obra;
- Maior eficiência do processo;
- Aumento da produtividade e da competitividade;
- Maior qualidade e precisão do processo;
- Melhora do ambiente de trabalho em atividades monótonas e de alta exigência física;
- Melhora na segurança operacional.

1.2 Apresentação da Empresa

Este trabalho foi desenvolvido na forma de projeto piloto na empresa WTA - Watanabe Tecnologia Aplicada, uma das principais empresas brasileiras atuantes no ramo de pesquisa e desenvolvimento de produtos e equipamentos para área de reprodução animal, com atuação também no mercado internacional.

1.2.1 WTA Watanabe Tecnologia Aplicada EIRELI - EPP

A Watanabe Tecnologia Aplicada, ou simplesmente WTA, é uma indústria brasileira fundada em 2003, com escritórios localizados no Brasil na cidade de Cravinhos, SP, e nos EUA na cidade de College Station, TX. Atualmente, a empresa conta com 4 divisões atuando em pesquisa, inovação e desenvolvimento de produtos e equipamentos para reprodução animal, sendo elas: Inseminação Artificial (IA), Transferência de Embriões (TE), Aspiração Folicular (OPU) e Fertilização in Vitro (FIV) em bovinos, equinos e pequenos ruminantes. Ela está presente em mais de 50 países, e é referência em qualidade nas Américas, Europa, África, Ásia e Oceania. A empresa possui certificação ISO9001, está comprometida com a consistência, melhoria contínua dos processos e satisfação dos clientes, e conta com uma força de trabalho de mais de 70 colaboradores. Seus produtos são elaborados dentro das mais exigentes e rigorosas técnicas de fabricação, usando equipamentos de alta tecnologia, o que resulta em produtos com segurança, economia, qualidade e melhores resultados. Diante de um mercado cada vez mais exigente e com sua localização estratégica próximo a Ribeirão Preto, SP, a WTA, nos últimos anos, também disponibilizou ao mercado, soluções para reprodução humana oferecendo produtos e equipamentos de elevada qualidade.

1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho é apresentar a implementação e validação da automação do processo de colagem de ponteira 3W em bainha de inseminação artificial animal. Como objetivos específicos, têm-se:

- análise e projeto das partes principais do sistema;
- desenvolvimento de uma Interface Homem-Máquina (IHM);
- desenvolvimento de um embarcado dedicado;
- monitoramento de sensores;
- controle de aplicação de uma super cola;
- controle de um gerador de vácuo;
- controle de posicionamento de motores elétricos.

Para tal, são discutidos a seguir, os principais conceitos teóricos envolvidos na aplicação, os detalhes da implementação prática da tecnologia utilizada no processo, assim como os seus respectivos resultados de desempenho.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma: O Capítulo 1 apresenta a motivação, a empresa envolvida e os objetivos deste trabalho; na sequência, no Capítulo 2 são apresentados os conceitos teóricos sobre a aplicação da Automação Industrial; em seguida, o Capítulo 3 descreve a metodologia e solução aplicada neste trabalho, enquanto o Capítulo 4 apresenta e discute os seus respectivos resultados; por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as considerações finais para este trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nos últimos anos, a Automação Industrial tem ganhado espaço em pequenas, médias e grandes empresas. Isso tem se tornado possível devido ao investimento em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, colaborando para o aumento do desempenho, controle, precisão e velocidade dos processos industriais. Devido à alta competitividade, a Automação Industrial tem sido usada cada vez mais em benefício das empresas, como é o caso, por exemplo, dos dispositivos empregados em ambientes industriais para controle de processos de alta precisão, como *encoders*, motores, sensores e microcontroladores. Essa necessidade tem feito com que as empresas implementem, cada vez mais, aplicações e processos de alta precisão, a um baixo custo, e com eficiência tecnológica em larga escala. Desta forma, tem sido possível garantir características uniformes nos produtos, qualidade e alta produtividade, além de preços competitivos.

2.1 Conceitos da Automação Industrial

O conceito da Automação Industrial consiste em oferecer e gerenciar soluções por meio de novas técnicas de controle de processo, que vão desde o chão de fábrica, até o gerenciamento de informações na indústria. Para maior compreensão dos conceitos, é importante ressaltar a diferenças entre dois termos muito semelhantes: automatização e automação.

A ideia a Automatização surgiu em meados do século XVIII, quando se teve início a Revolução industrial, e a conseqüente substituição dos processos repetitivos e da força muscular por máquinas simples com movimentos automáticos. Por conseqüência, surgiram nessa época, os primeiros sistemas automatizados. A automatização é um processo onde a saída do sistema independe da entrada, não havendo uma relação entre o valor desejado (denominado *setpoint*). Este sistema também é classificado como malha aberta (SILVEIRA; SANTOS, 1999).

O termo Automação refere-se a um conjunto de técnicas de controle utilizadas por dispositivos elétricos e mecânicos, capazes de atuar no sistema de acordo com informações recebidas do meio no qual atuam (SILVEIRA; SANTOS, 1999). Alguns conceitos são utilizados para composição ou classificação de um sistema de automação. São eles:

- processo;
- sensores;

- atuadores;
- sistema Embarcado;
- interface homem máquina (IHM).

2.1.1 Processo

O processo nada mais é que um conjunto de atividades que objetivam atingir uma determinada meta, podendo esta ser: produzir, inventar, controlar, transformar e projetar (ROGGIA; FUENTES, 2016). Neste trabalho, o processo consiste na colagem de ponteiras 3W em bainhas de inseminação artificial animal.

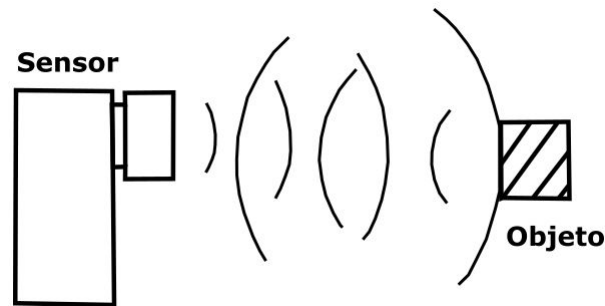
2.1.2 Sensores

Sensores são dispositivos eletrônicos que estão conectados à variáveis do processo com o objetivo de medir alterações do meio em que estão inseridos, causando mudanças em suas propriedades de acordo com as mudanças do ambiente ou condições do processo (ROGGIA; FUENTES, 2016).

Sensores são amplamente utilizados na automação industrial pois transformam as variáveis físicas do processo, como velocidade, posição, proximidade, nível, pH, temperatura, pressão etc., em unidades de engenharia convenientes. Se as unidades de engenharia são elétricas, estas informações podem estar associadas à corrente e tensão. Em geral, a primeira é mais usual por se tratar de um receptor de baixa impedância, tendo assim menor interferência a ruídos eletromagnéticos (COSTA, 1996).

Existem diversos sensores, cada qual com suas funcionalidades e particularidades, por exemplo: sensores ultrassônicos, sensores de fim de curso, sensores infravermelhos, *encoders*, dentre outros. Os sensores ultrassônicos funcionam gerando ondas ultrassônicas com frequências acima da capacidade auditiva humana (ou seja, acima de 20kHz) por meio da vibração de uma superfície. Estes sensores possuem no mesmo encapsulamento um emissor e um receptor, responsáveis por emitir o sinal ultrassônico e de detectar o sinal recebido, respectivamente. Neste projeto utilizou-se um sensor ultrassônico do tipo difuso, ilustrado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Sistema Difuso de Ondas Ultrassônicas



Fonte: Adaptada de (COSTA, 1996)

A configuração do tipo difuso é utilizada para detectar um objeto na faixa de detecção do sensor. Uma onda sonora é emitida e, ao se chocar com o objeto, retorna ao encapsulamento, sendo detectada pelo receptor, cuja eletrônica de condicionamento, neste momento, comuta a saída (COSTA, 1996).

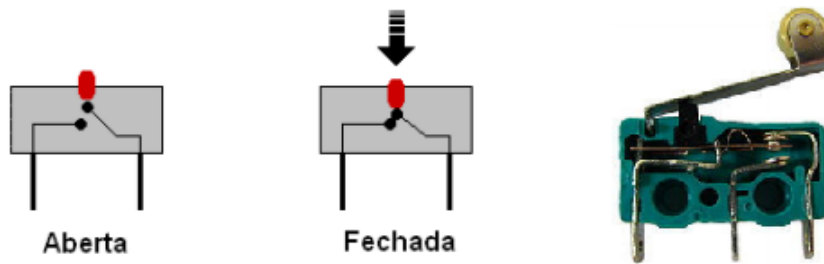
O sensor ultrassônico utilizado neste trabalho opera determinando o tempo de duração do sinal de saída. O sensor envia um pulso com duração de pelo menos 10us, para o *trigger*, o qual, ao receber este sinal envia 8 pulsos ultrassônicos a 40kHz e verifica, pelo receptor, se há algum retorno ou não. Caso haja um retorno, o sensor comuta o estado do pino de saída para nível lógico alto, calculando assim o tempo de duração do sinal desde o envio até o retorno do mesmo (supondo a velocidade do som previamente conhecida) (VIDAL, 2017). Com esse tempo de trânsito, pode-se calcular a distância ao objeto como segue:

$$D = \frac{T \cdot V}{2} \quad (2.1)$$

onde D, T e V são respectivamente a distância, tempo de trânsito e a velocidade do som.

Um sensor de presença eletromecânico muito utilizado na indústria é a chave de fim de curso. Em linhas gerais, trata-se de um sensor ativo de presença, que detecta um objeto por meio de um acionamento mecânico de uma alavanca, emitindo assim, um sinal na saída do sensor (MAZZAROPPI, 2007). Um exemplo de uma chave de fim de curso industrial pode ser visto na Figura 2.2. Em estado normal, ela atua como uma interrupção do circuito e, quando pressionada, fecha a comunicação no mesmo (WENDLING, 2010).

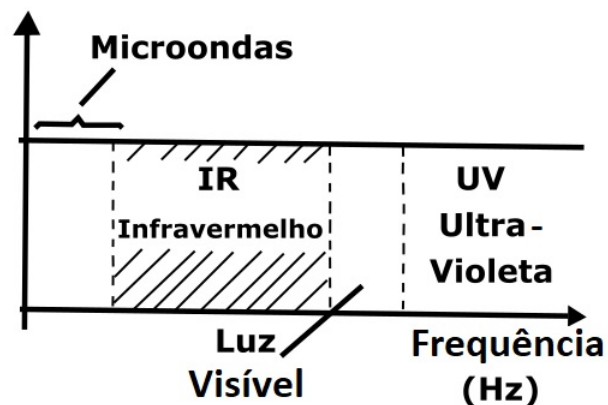
Figura 2.2 – Modelo de Fim de Curso Industrial Convencional



Fonte: (WENDLING, 2010)

Outro sensor muito usado na detecção de objetos ou obstáculos em curtas distâncias (até 30 cm), é o sensor infravermelho (IR). Este é um sensor passivo, que opera na faixa de radiação eletromagnética (não perceptível ao olho humano), e cuja frequência do sinal está acima da faixa SHF (*Super High Frequency*) e abaixo da luz visível (MAZZAROPPI, 2007), conforme ilustrado na Figura 2.3.

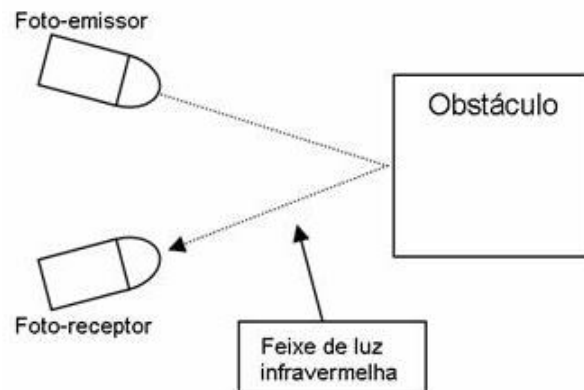
Figura 2.3 – Faixa do Espectro Infravermelho



Fonte: Adaptada de (BRAGA, 2012)

Uma característica importante dos sensores infravermelhos é a imunidade a interferências, sendo por essa razão muito utilizados na indústria. O sensoriamento deste sensor é feito utilizando um LED (*Light Emitting Diode*) emissor infravermelho como fonte de luz, e um receptor fototransistor. Uma das formas de detecção de objetos por meio deste sensor, é a detecção por reflexão, onde um emissor infravermelho emite um feixe de luz que ao ser refletido em um objeto reflexivo é detectado por um fototransistor, levando a saída do sensor para nível lógico baixo (Figura 2.4).

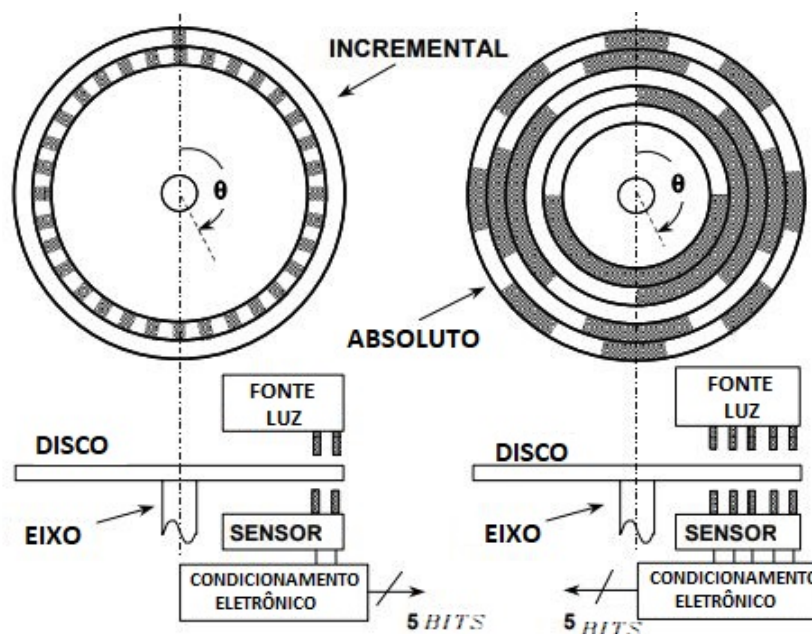
Figura 2.4 – Forma de Detecção de um Objeto por Meio do Sensor IR



Fonte: (MIGUEL, 2005)

Na indústria, é indispensável o controle preciso de posição, velocidade, aceleração e direção. Uma das soluções mais utilizadas são os *encoders*, que são sensores capazes de converter sinais angulares e lineares em sinais digitais, tendo ampla aplicação em robôs, *plotters*, mesas rotativas, radares, dentre outros. Existem dois tipos de *encoders*, o absoluto e o incremental, os quais se distinguem por suas funcionalidades, conforme ilustrado na Figura 2.5 (KESTER, 2004).

Figura 2.5 – Princípio do *Encoder* Incremental e *Encoder* Absoluto



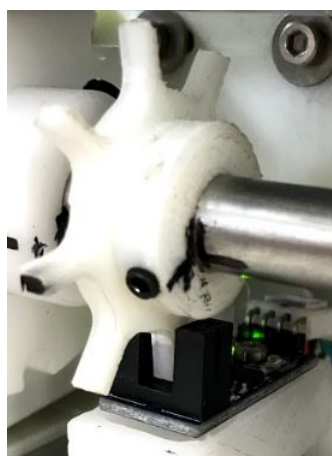
Fonte: Adaptada de (KESTER, 2004)

O *encoder* absoluto nunca perde sua referência de posição, mesmo com uma queda da tensão de alimentação, pois a determinação da posição se dá por meio da leitura da palavra digi-

tal formada em sua parte móvel (disco ou régua) (KESTER, 2004). Os *encoders* incrementais, por outro lado, podem ser compostos por réguas (ou discos) com partes translúcidas e opacas (ou reflexivas e não reflexivas). Esses sensores contêm uma fonte emissora de luz, podendo ser um LED, e um dispositivo receptor de luz, podendo ser um fototransistor, fotocélula, fotodetector ou um fotodiodo. Ao se utilizar um elemento móvel translúcido ou opaco, o mesmo deve ser posicionado entre o emissor e receptor de modo que a luminosidade resulte em um máximo e um mínimo de tensão em função do seu deslocamento (WOOLVET, 1997).

A determinação de posicionamento rotativo via *encoders* incrementais se dá pela contagem dos pulsos de acordo com o bloqueio dos feixes de luz entre o receptor e o emissor, de modo que quando um feixe de luz é interrompido, a saída do circuito fica em nível lógico alto, e caso contrário, permanece em nível lógico baixo. Isso é possível graças à utilização de circuitos com *chip* comparadores de sinais de tensão, como visto na Figura 2.6.

Figura 2.6 – *Encoder* de Contagem de Pulsos para Controle de Posicionamento Rotativo



Fonte: Do Autor (2019)

2.1.3 Atuadores

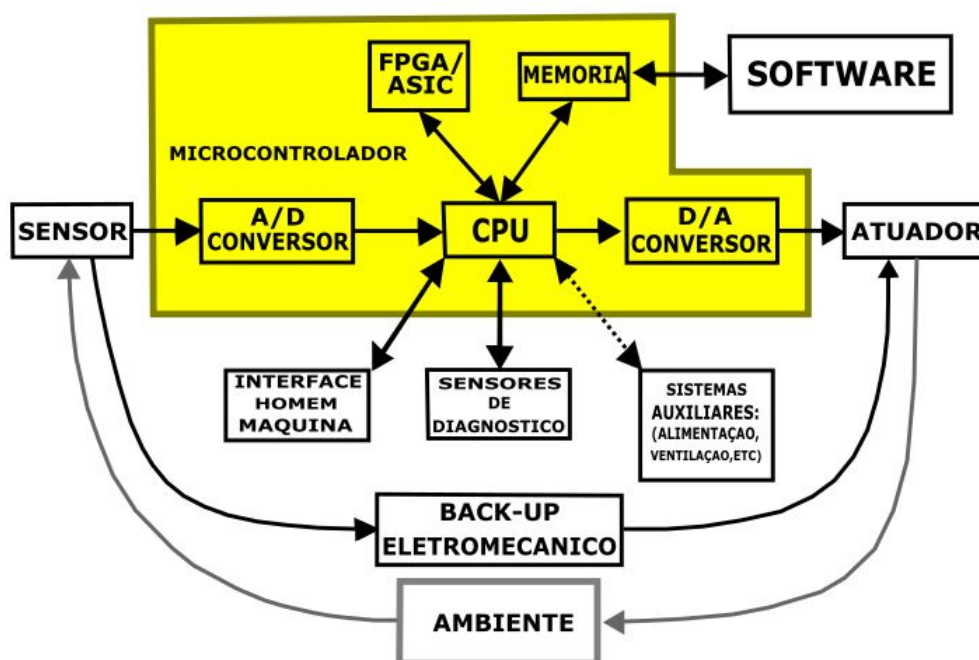
Atuadores são dispositivos eletrônicos que atuam fisicamente para manipular uma variável de processo, em geral, a saída do sistema (OGATA, 2010). Estes dispositivos podem atuar movimentando objetos, regulando a passagem ou fluxo de um fluido, intensificando alguma ação, dentre outros (ROGGIA; FUENTES, 2016).

2.1.4 Sistema Embarcado

Sistemas embarcados são sistemas que possuem capacidades computacionais microprocessadas, ou seja, possuem unidades de comunicação com o meio externo, memória, unidades

lógicas aritméticas, sensores de diagnóstico, conversores analógicos/digitais, interfaces homem-máquina, etc, a quais interagem entre si em tempo real (CUNHA, 2006). Eles têm como propósito executar tarefas específicas, em geral, pré-programáveis, sendo de extrema importância a existência de comunicação entre o usuário e o embarcado, a qual pode-se dar por meio interfaces ou monitores. Geralmente, os usuários não possuem acesso à programação e ao código fonte do processo, mas podem interagir por meio das interfaces de comunicação. Os componentes fundamentais de um sistema embarcado podem ser vistos na Figura 2.7.

Figura 2.7 – Componentes Fundamentais de um Sistema Embarcado



Fonte: Adaptada de (CUNHA, 2006)

2.1.5 Interface Homem-Máquina (IHM)

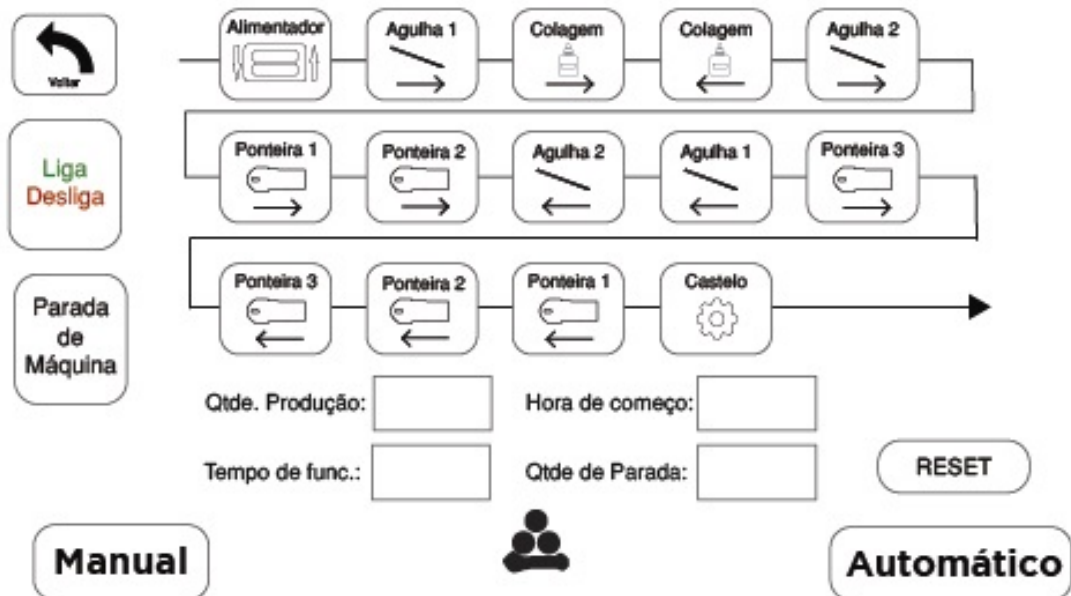
A Interface Homem-Máquina é uma das partes de *software* mais importantes na automação industrial de um processo, pois é por meio desta que o intercâmbio de dados é feito. Nas IHMs, as informações são, em geral, apresentadas em unidades de engenharia, permitindo ao usuário se comunicar com a máquina, realizar configurações, alterações e acompanhar as variáveis do processo como ilustrado nas Figuras 2.8 e 2.9.

Figura 2.8 – IHM de Opções



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 2.9 – IHM de Supervisão



Fonte: Do Autor (2019)

Através das IHMs, é possível, ao operador, monitorar variáveis do processo tais como temperatura, tempo de fabricação, contagem de componentes, acompanhamento do *status* da máquina, além de realizar possíveis intervenções para o controle e configuração da máquina, garantindo sua segurança e bom funcionamento. Uma das importantes capacidades das IHMs é a possibilidade de visualização de falhas e alarmes ocorridos no sistema, permitindo, ao operador, atuar, quando necessário, na verificação do processo, bem como visualizar as variáveis de interesse para correção de possíveis problemas.

Os dispositivos IHMs se dividem em duas categorias:

- IHMs ativas - São aquelas que possuem um processador interno, possuindo parte do *software* para controle do processo. Essas podem interferir e atuar no sistema;

- IHMs passivas - São aquelas que não interferem no processo (nao possuem processador interno), sendo usadas para monitoramento de *status* e eventos da máquina (CENTRO PAULA SOUZA, 2011).

Para uma aplicação IHM, deve-se levar em conta um conjunto de fatores, tais como o operador, máquina e o processo a ser automatizado (CENTRO PAULA SOUZA, 2011). No que tange ao operador, é interessante pensar em aspectos tais como o grau de intervenção, ergonomia, proteção das informações e nível de segurança. A análise do processo também é de enorme importância, influenciando itens como a listagem de possíveis falhas do processo, estratégias de recuperação do sistema por falhas, manutenção preventiva e a operação. No que concerne ao *software*, é interessante considerar a forma de tratamentos dos dados, a estrutura do programa, a colocação em funcionamento da máquina, dentre outros.

Atualmente, o tipo mais comum de IHM em máquinas industriais robustas são sistemas de vídeo com tela *touch screen* visando: facilitar a comunicação entre o operador e a máquina, favorecer a manutenção, e compactar o sistema utilizado. Este tipo de IHM, porém é mais oneroso do que as interfaces com *displays* e teclados de funções frontais.

2.2 Bainhas de Inseminação Artificial

A Inseminação Artificial (IA), bem como a Inseminação Artificial em Tempo Fixo (IATF), a Fertilização in Vitro (FIV) e a Transferência de Embrião (TE), são técnicas de reprodução assistida. Diferentemente das outras técnicas, a IA não necessita de mão-de-obra e equipamentos super especializados e de alto custo, sendo na maioria das vezes a técnica de escolha entre os produtores. Essa técnica consiste na deposição mecânica do sêmen (fresco, resfriado ou congelado) dentro do corpo ou do corno uterino do animal. Ela é hoje empregada na grande maioria das espécies, inclusive a humana, e é a técnica reprodutiva que mais se aproxima da monta natural, ilustrada na Figura 2.10).

Figura 2.10 – Técnica Reprodutiva de IA é Empregada na Maioria das Espécies



Fonte: Do Autor (2019)

Dentre as inúmeras vantagens da IA, podem-se citar:

- melhoramento genético e a padronização dos rebanhos, que viabilizam a utilização de reprodutores alojados muito longe das fêmeas, reprodutores incapacitados para cobertura da fêmea e até mesmo que já morreram;
- controle de doenças sexualmente transmissíveis, um grande problema na monta natural, responsável pela infertilidade e abortamento;
- Redução de acidentes com trabalhadores e com vacas, principalmente quando se trata de reprodutores agressivos ou muito jovens;
- custo relativamente baixo, que é para muitos a principal vantagem da IA, onde é possível obter uma genética de acordo com as qualidades desejadas sem a necessidade de investir na criação, manutenção e manejo do reprodutor.

As vantagens da IA superam as suas desvantagens, tais como:

- controle do cio;
- manutenção do sêmen;
- perda de variação genética.

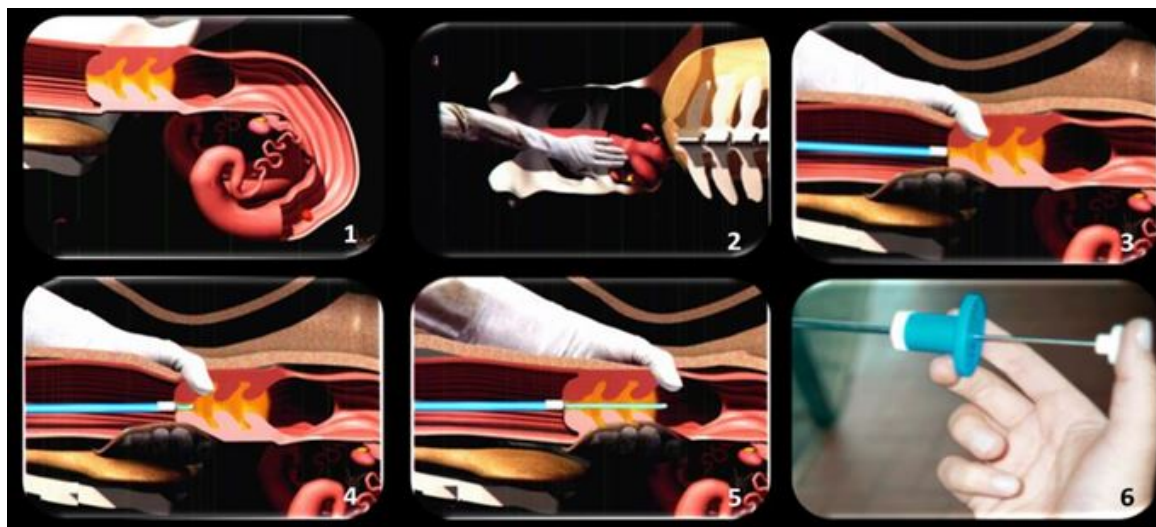
Fatores técnicos, operacionais e a qualidade dos materiais empregados no processo são responsáveis pelo sucesso da IA. Luvas descartáveis [1], aplicador [2], bainha descartável [3], botijão de nitrogênio líquido [4], termômetro [5], tesoura [6] e recipiente para descongelação do sêmen [7] são exemplos de equipamentos necessários para a IA e para a IATF, ilustrados na Figura 2.11. Palhetas, aplicadores e bainhas são responsáveis pela proteção e conservação do sêmen durante seu trajeto do meio externo ao útero, funcionando da seguinte maneira: o sêmen é estocado dentro de palheta; na hora da inseminação, a palheta é colocada dentro da bainha descartável, e em sequência, o aplicador. Estes são guiados pelo sistema retrovaginal até o útero, onde o material genético é depositado pelo aplicador. Na sequência, o conjunto de equipamentos é removido (Figura 2.12) (JIMENEZ et al., 2013).

Figura 2.11 – Equipamentos para IA e IATF



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 2.12 – Esquema para a Inseminação Artificial em Bovinas



Fonte: (JIMENEZ et al., 2013)

Existem diversos tipos de bainha no mercado, a bainha em questão nesse estudo é a bainha de saída 3W da Watanabe Tecnologia Aplicada (WTA). O diferencial da bainha da WTA, em relação as demais, é a sua ponteira 3W. Esta possui três orifícios com angulação de saída para o sêmen, de quarenta e cinco graus cada e com uma distribuição angular entre si de cento e vinte graus (Figura 2.13), garantindo que o sêmen seja injetado nos dois cornos uterinos e diminuindo o refluxo e perda de material, independentemente da posição que a bainha é colocada no útero. Desta forma, aumenta-se a taxa de prenhez (WATANABE et al., 2018). Existem dois tipos de ponteira 3W, a saber, sem e com chanfro (Figura 2.14), sendo a última utilizada neste estudo exclusivamente para a máquina 3W. O chanfro facilita o encaixe da ponteira na bainha, mesmo não estando totalmente nivelados, otimizando a produção, com consequente aumento da produtividade e lucratividade.

Figura 2.13 – Bainhas 3W WTA



Fonte: (WATANABE et al., 2018)

Figura 2.14 – Ponteiros 3W com Chanfro e sem Chanfro



Fonte: Do Autor (2019)

3 DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

O sistema de colagem de ponteira 3W em bainhas de inseminação artificial animal foi implementado na empresa Watanabe Tecnologia Aplicada(WTA), em sua sede em Cravinhos, SP. A empresa já contava com a produção de bainhas 3W utilizando a tradicional linha de montagem manual, um trabalho repetitivo, cansativo e que exigia muita atenção na verificação da qualidade dos produtos (um simples deslocamento da ponteira da bainha dentro do colo uterino de um animal pode comprometer a reputação e história construída pela empresa com o passar dos anos). O processo de fabricação manual envolve um conjunto pré-determinado de atividades, tais como o processo de preparação, limpeza, colagem, averiguação da qualidade e da quantidade de cola pós colagem, além do empacotamento manual das bainhas 3W em plásticos cirúrgicos. O sistema de colagem das ponteiras 3W nas bainhas, utilizando-se a tecnologia da automação industrial, foi implementado baseado na utilização de lógicas de controle sequenciais das tarefas pelo microprocessador para melhor eficiência do controle do processo. Priorizou-se também, a troca de informações e monitoramento por meio de uma interface IHM, e o uso de atuadores e sensores para medir as alterações das variáveis do processo e do meio em que estavam inseridas.

Para fins da solução proposta, foi usinado, montado e instalado um primeiro protótipo no pátio da empresa, cujo projeto mecânico foi desenvolvido por um desenhista técnico especializado em desenvolvimento de dispositivos e máquinas. Para início dos testes nesta máquina, foram realizados ensaios individuais, em bancada, para cada dispositivo eletrônico existente na mesma, a saber:

- controle dos cursos e posicionamento dos motores de passo em um sistema de fuso rolamentado com mancais;
- teste de *encoders* para posicionamento de motores;
- tubo de venturi para geração de vácuo e do *dispenser* de cola;
- verificação do funcionamento das chaves de fim de curso para cada motor;
- verificação do funcionamento de sensores infravermelhos para detecção de objetos ou obstáculos;
- funcionamento de sensores ultrassônicos para detecção de objetos e para medição do nível das bainhas disponíveis no tanque para o processo;

- acionamento *on/off* de motores DC;
- configuração de uma interface IHM para comandos de configurações de parâmetros e variáveis do processo.

Em seguida, após validação dos teste individuais, foi feita a integração dos dispositivos do sistema para o modo manual e automático com a IHM, possibilitando o monitoramento, visualização do *status* e das variáveis do processo. Após validação do funcionamento e controle dos dispositivos conforme o desejado, foi projetado e desenvolvido um sistema embarcado para facilitar o comando de controle e de potência do sistema, além de facilitar e diminuir as quantidades de conexões.

Ao se analisar as tensões e correntes do sistema, com vistas ao cálculo do consumo total de energia, foi elaborada uma fonte de alimentação "*plug and play*" para facilitar a manutenção e funcionamento do sistema, separando as fontes alimentação do painel elétrico de comando e de controle.

A instalação elétrica da máquina foi realizada utilizando cabos com blindagem espiral para todos os sensores, a fim de evitar interferências no sistema, e cabos elétricos de 1,5 mm para os motores, atuadores, e alimentação do sistema. Uma etapa importante consistiu na equipotencialização da máquina, de modo a garantir que os corpos condutores de eletricidade possuíssem a menor diferença de potencial elétrico entre si. Em seguida, foi realizado o aterramento dos mesmos.

Várias adaptações, elétricas e mecânicas, foram necessárias durante a execução do projeto, tais como alterar os sinais de alarmes e eventos na IHM, adicionar mais sensores de detecção de obstáculo, substituir o gerador de vácuo por outro de maior potência, implementar e substituir algumas válvulas pneumáticas e substituir um dos motores de passo por um motor DC com caixa de redução. Este último se deveu a necessidade de um torque maior, a despeito do controle preciso da posição deste motor. Foi implementado apenas um controle *on/off*, cuja direção do movimento podia ser alternada por um sistema de biela ao invés de fuso.

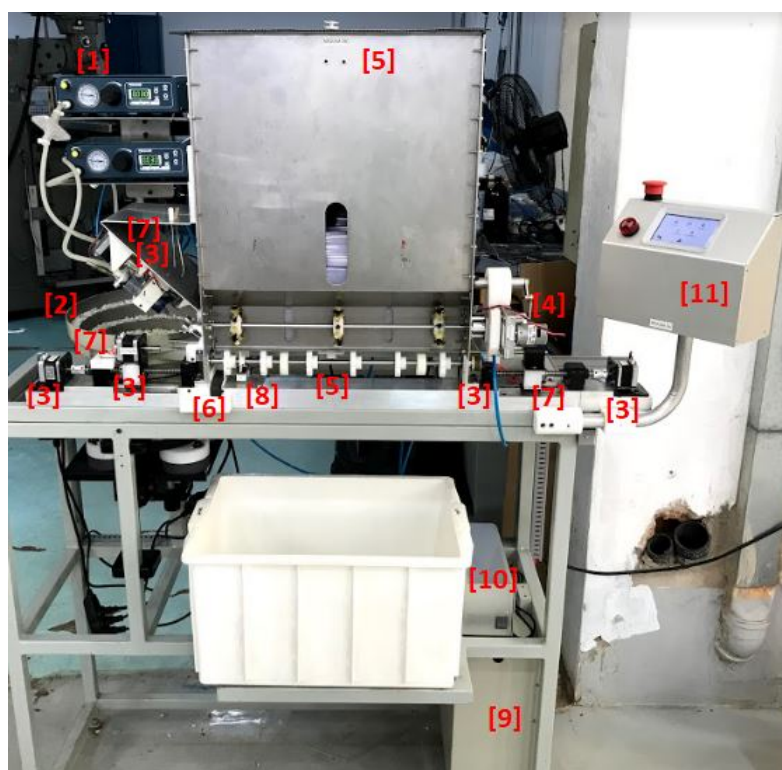
Foram instalados também dois dispositivos para o controle da quantidade de cola (com as mesmas características e lógicas de programação) idênticos ao que já era utilizado na produção manual, com a diferença de uma regulagem para dispensar uma quantidade de cola reduzida em cada um deles. O objetivo inicial era garantir o despejamento de cola na bainha antes da colagem, caso um dos acionamentos ou dispositivo viesse a apresentar falhas. O acionamento

na produção manual era feito por um pedal, e nas condições atuais, com a automação industrial, ele passou a ser feito por meio de comando relés.

3.1 Detalhes da Instalação

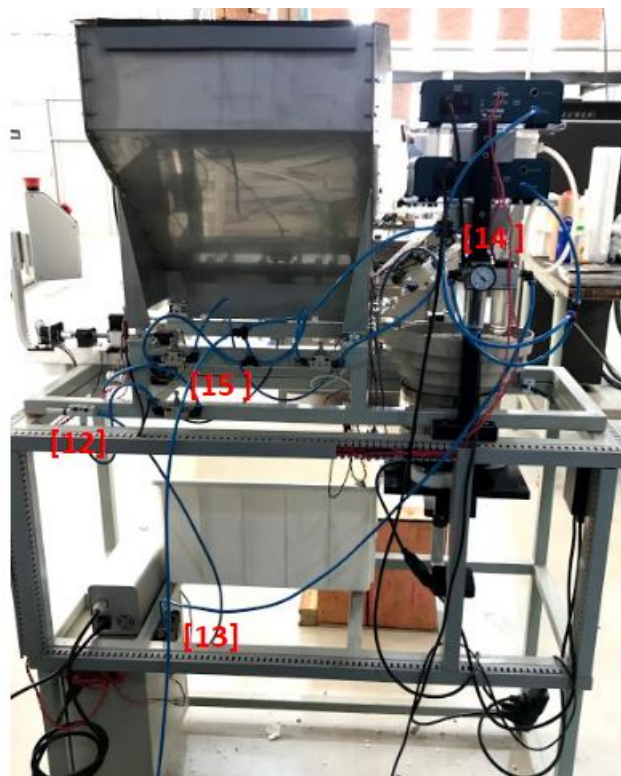
A planta utilizada neste projeto, sua estrutura, instrumentos e principais componentes podem ser vistos na Figura 3.1 e Figura 3.2. A máquina é sincronizada por um sistema embarcado que fornece os sinais de controle ao processo de acordo com os comandos da IHM.

Figura 3.1 – Perspectiva Frontal da Planta do Processo de Colagem de Ponteiras 3W em Bainhas de Inseminação Artificial



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 3.2 – Perspectiva Traseira da Planta do Processo de Colagem de Ponteiras 3W em Bainhas de Inseminação Artificial



Fonte: Do Autor (2019)

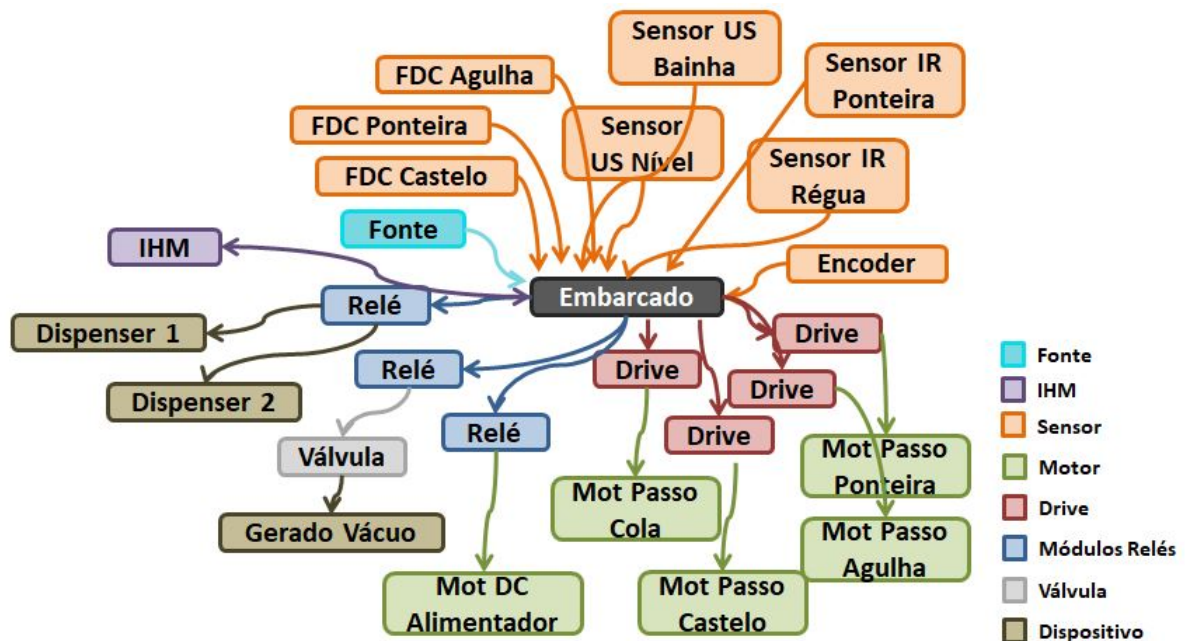
Dessa maneira o controle automático do processo do sistema de colagem de ponteiras 3W nas bainhas passou a apresentar os seguintes dispositivos eletrônicos:

- 2 *dispensers* de cola [1];
- 1 alimentador vibratório de peças [2];
- 5 motores de passos [3];
- 1 motor DC com caixa de redução [4];
- 2 sensores ultrassônicos [5];
- 2 sensores IR [6];
- 3 sensores de fim de curso [7];
- 1 *encoder* [8];
- 1 painel de comando [9];

- 1 fonte de alimentação [10];
- 1 Interface Homem Máquina [11];
- 1 micro gerador de vácuo [12];
- 1 válvula pneumática 5/2 vias para acionamento do vácuo [13];
- 1 válvula pneumática reguladora de pressão [14];
- 3 válvulas reguladoras de fluxo de ar [15].

Os dispositivos foram instalados próximos ao painel de controle, visando utilizar a menor quantidade possível de cabos elétricos, evitar quedas de tensão nos cabos e reduzir possíveis interferências eletromagnéticas. A Figura 3.3 ilustra com mais detalhes o esquemático de conexões entre os dispositivos. É importante ressaltar que o sistema conta com apenas sinais digitais no controle do processo.

Figura 3.3 – Visão Geral das Conexões dos Dispositivos Eletrônicos do Sistema



Fonte: Do Autor (2019)

A Interface Homem-Máquina foi instalada em um painel rotativo juntamente com um botão de emergência e um sinalizador sonoro pulsante para serem utilizados em momentos de emergências e alerta de eventos da máquina, conforme ilustrados na Figura 3.4.

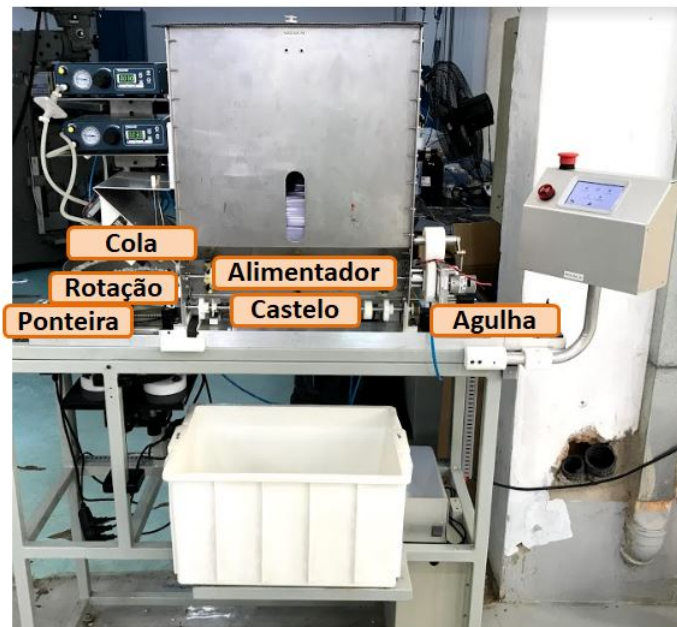
Figura 3.4 – Painel IHM com o Botão de Emergência e Sinalizador Sonoro Pulsante



Fonte: Do Autor (2019)

Para melhor compreensão do processo e das características do sistema (detalhadas na seção subsequente), os conjuntos dos dispositivos foram nomeados de acordo com a Figura 3.5. Cada conjunto consiste em um processo diferente, e nomeado da mesma forma para o controle IHM.

Figura 3.5 – Nomes dos Conjuntos de Dispositivos Utilizados no Processo



Fonte: Do Autor (2019)

3.2 Características dos Equipamentos Utilizados

3.2.1 *Dispenser de Cola*

Os *dispensers* utilizados têm a funcionalidade de liberar uma pequena quantidade de uma super cola dentro da bainha de inseminação artificial para posteriormente ser inserida a ponteira 3W. A quantidade de cola despejada é determinada pelo tempo em que o *dispenser* é configurado, com uma faixa de regulagem de 0.01 a 99.99 segundos (extremamente precisa). Os dois *dispensers* são acionados (pulso de ar) em paralelo, por meio de comando relé enviado pelo microcontrolador (ao invés de comando por pedal), cuja resposta se dá com base no conceito de borda de subida. O *dispenser* também tem regulagem de pressão de despejo da cola e de vácuo para estabilidade da gota despejada. Os dispositivos são ilustrados na Figura 3.6.

Figura 3.6 – *Dispensers* de Cola com Regulagem Precisa de Tempo de Despejamento e Quantidade



Fonte: Do Autor (2019)

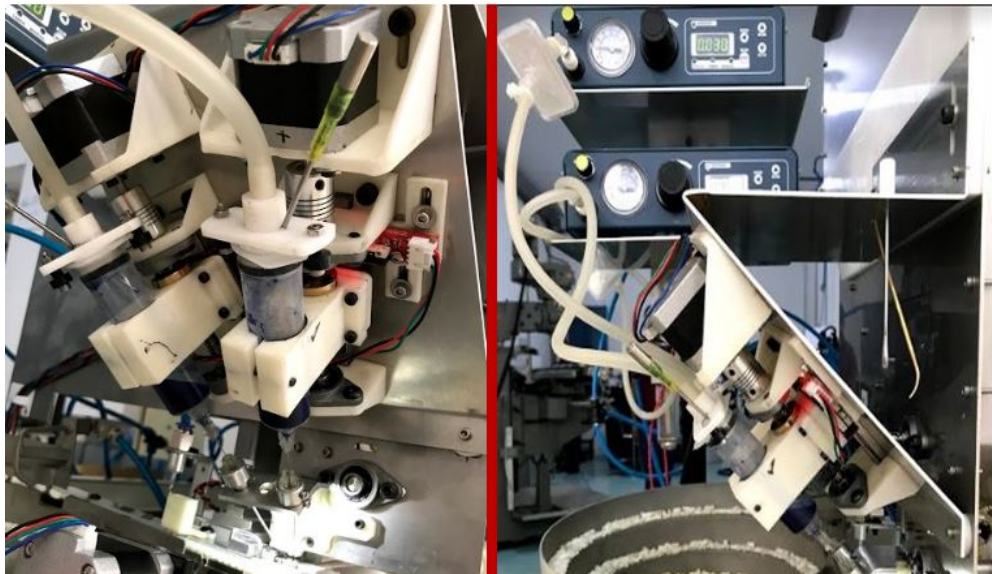
Alguns acessórios são necessários para o funcionamento completo do sistema de cola-gem com precisão, tais como seringas, agulhas finas e filtros com sentido de fluxo único para filtrar o ar e evitar refluxo de cola, que, caso ocorra, pode danificar o dispositivo. O conjunto possui um sistema de regulagem e direcionamento das agulhas, ilustrado na Figura 3.7, cujo esquemático completo é visto na Figura 3.8.

Figura 3.7 – Conjunto de 2 Agulhas com Regulhagem e Direcionamento da Colagem



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 3.8 – Sistema de Colagem com Seringa, Agulha, Filtro e *Dispenser*



Fonte: Do Autor (2019)

3.2.2 Alimentador Vibratório de Peças

O alimentador vibratório tem a funcionalidade de posicionar as ponteiros nas condições de posição ideal para serem inseridas na bainha por um outro processo. O dispositivo possui

regulagem de intensidade de vibração para aumentar ou diminuir a velocidade do processo, conforme ilustrado na Figura 3.9.

Figura 3.9 – Alimentador Vibratório das Ponteiras 3W



Fonte: Do Autor (2019)

3.2.3 Motores de Passo com Sistema de Fuso

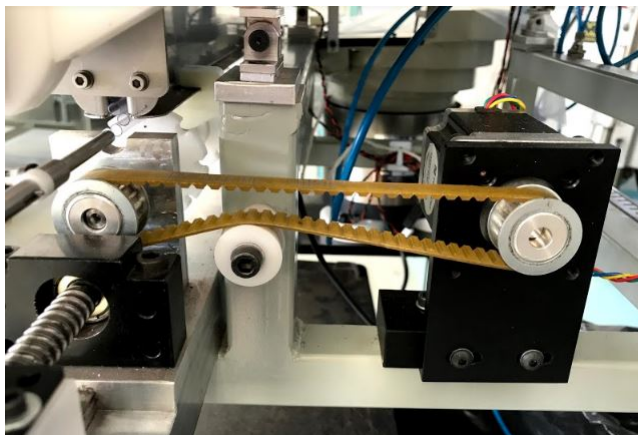
Os motores de passo são responsáveis pela movimentação linear e angular de todo o processo. Três motores são destinados aos deslocamentos lineares (Ponteira, Agulha e Cola) realizados por sistema de fuso, e dois são destinados aos deslocamentos angulares (Castelo e Alimentador) realizados por sistema com correia. Os dispositivos com deslocamento linear e angular são ilustrados na Figura 3.10 e Figura 3.11.

Figura 3.10 – Sistema de Fuso com Motor de Passo para Deslocamento Linear



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 3.11 – Sistema de Correia com Motor de Passo para Deslocamento Angular



Fonte: Do Autor (2019)

3.2.4 Motor DC com Caixa de Redução

O motor com caixa de redução, ilustrado na Figura 3.12, foi utilizado pela necessidade de maior torque no processo, em comparação com o fornecido por um motor de passo. Este motor é utilizado para alimentar a bainhas do reservatório para a primeira etapa do processo. É utilizado um controle *on/off* e sistema de bielas para se limitar angularmente a movimentação em sentido horário e anti-horário.

Figura 3.12 – Motor DC com Caixa de Redução de Alto Torque



Fonte: Do Autor (2019)

3.2.5 Sensor Ultrassônico

Os sensores ultrassônicos instalados na máquina possuem a finalidade de detectar obstáculos e medir uma determinada distância. O sensor ilustrado na Figura 3.13 é responsável por medir a distância em que as bainhas se encontram e converter essa unidade para nível do

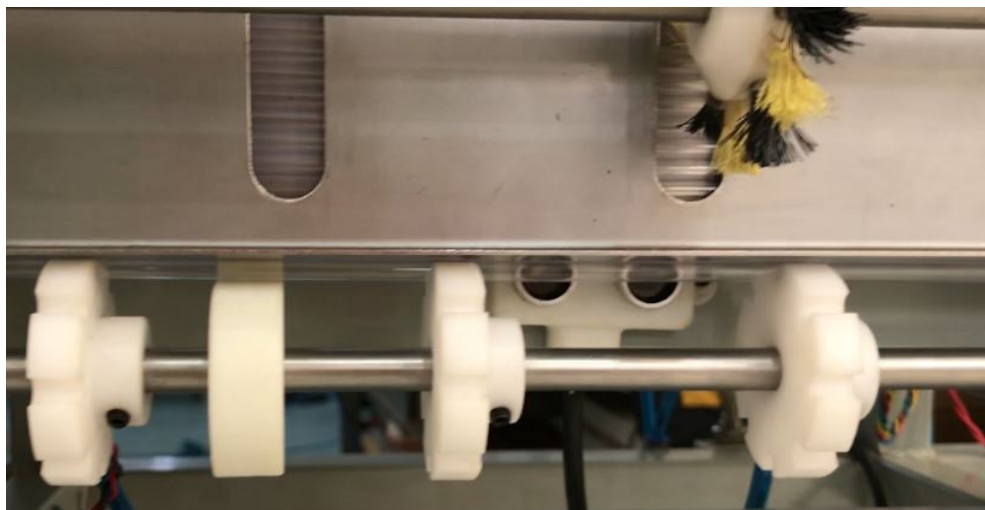
reservatório de bainhas. Já o sensor mostrado na Figura 3.14, é responsável por verificar, a cada ciclo do processo, a existência de bainha no "Castelo".

Figura 3.13 – Sensor para Medição de Nível do Reservatório de Bainhas



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 3.14 – Sensor para Detecção de Bainhas no "Castelo"

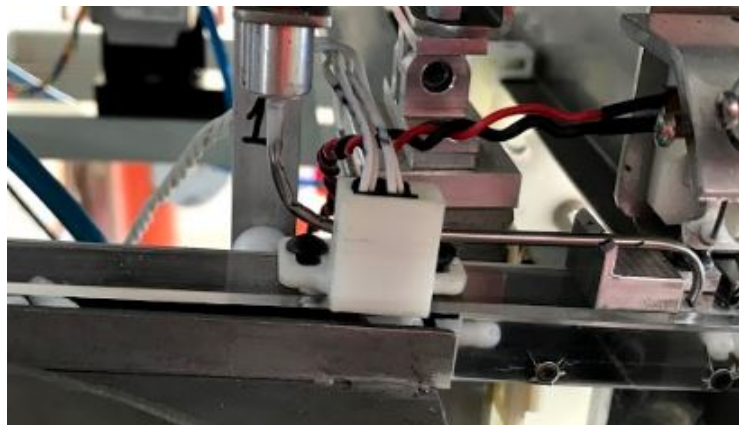


Fonte: Do Autor (2019)

3.2.6 Sensor IR

O sensor IR, ilustrado na Figura 3.15, é responsável por detectar bainhas na régua do alimentador vibratório, e com isso, detectar falhas no posicionamento e continuidade da etapa de alimentação das ponteiros 3W no processo.

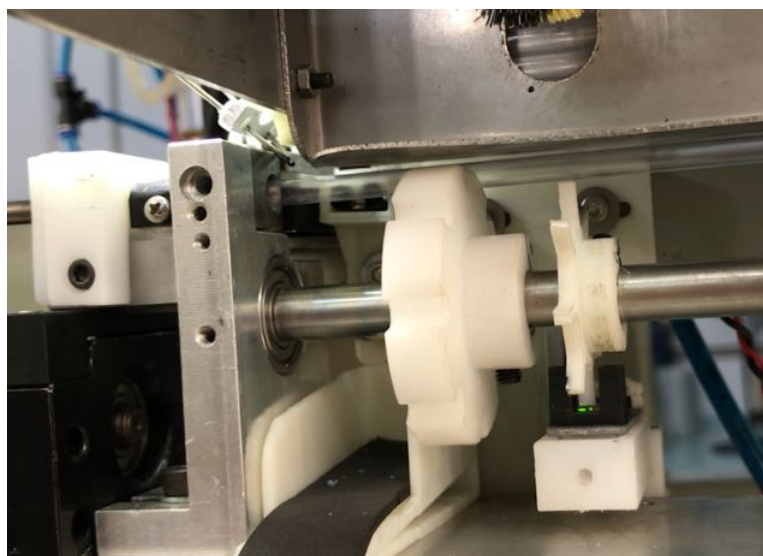
Figura 3.15 – Sensor IR para Detecção de Ponteiras no Alimentador Vibratório



Fonte: Do Autor (2019)

O sensor IR, ilustrado na Figura 3.16, é responsável por detectar a ponteira 3W na finalização do processo, e com isso evitar falhas na etapa de colocação da ponteira na bacia.

Figura 3.16 – Sensor IR para Detecção de Ponteira 3W na Bacia



Fonte: Do Autor (2019)

3.2.7 Sensor Fim de Curso

Os sensores de fim de curso foram utilizados para configuração da posição inicial dos motores de passo quando o processo é ligado. Além disso, eles foram utilizados para verificar, a cada ciclo do processo, se o motor não perdeu passo/referência por algum travamento mecânico. Caso isso tenha ocorrido, a máquina corrige essa perda de referência de forma automática por meio de uma lógica de controle que faz a leitura desses sensores a cada ciclo. O sensor é ilustrado na Figura 3.17.

Figura 3.17 – Sensor Fim de Curso para os Motores de Passo

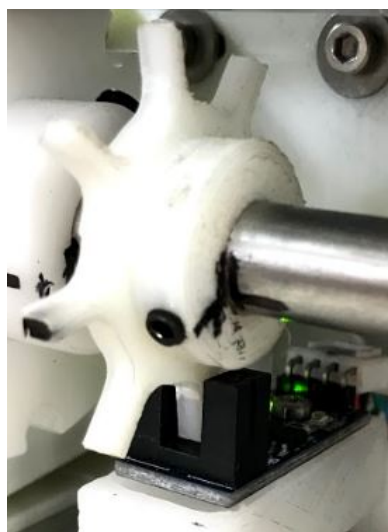


Fonte: Do Autor (2019)

3.2.8 Encoder

O *encoder*, ilustrado na Figura 3.18, é responsável pelo posicionamento angular preciso do castelo. Esse posicionamento é muito importante para alinhar a bainha na etapa de colocação da ponteira na mesma, e principalmente para o preciso alinhamento no despejamento de cola, pois 1 mm fora da referência pode ocasionar falha nas agulhas dos *dispensers*, diminuindo assim a qualidade e segurança do processo.

Figura 3.18 – Encoder Responsável pelo Posicionamento Angular do "Castelo"



Fonte: Do Autor (2019)

3.2.9 Painel de Comando

O painel de comando, ilustrado na Figura 3.19, aloca todos os dispositivos de distribuição de energia e controle do sistema elétrico da máquina. Ele também aloca o embarcado desenvolvido, os módulos relés, os *drives* dos motores e o sistema de proteção por fusível.

Figura 3.19 – Painel de Comando com o Sistema Embarcado Desenvolvido



Fonte: Do Autor (2019)

3.2.10 Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação, ilustrada na Figura 3.20, é responsável pela alimentação (+12V, 15A) da máquina. Ela possui um sistema "*plug and play*" para se conectar no painel de comando, facilitando sua manutenção e funcionalidade. Um importante quesito considerado em sua montagem foi o sistema de aterramento da máquina, o qual contou com a equipotencialização dos dispositivos condutores de eletricidade do sistema.

Figura 3.20 – Fonte de Alimentação da Máquina

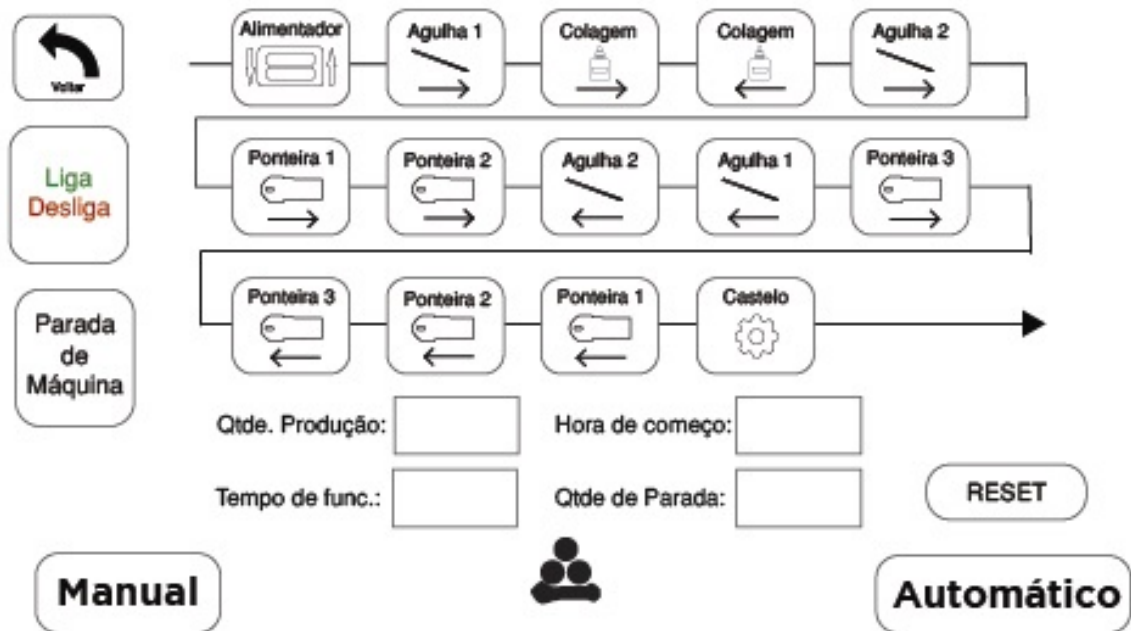


Fonte: Do Autor (2019)

3.2.11 Interface Homem-Máquina

A IHM tem um papel muito importante na automação industrial, e por isso foram elaboradas várias interfaces de comunicação entre o operador e a máquina. A principal interface é o campo de supervisão, ilustrado na Figura 3.21, na qual o operador seleciona o modo de trabalho (manual e automático), acompanha, monitora e atua no sistema quando necessário. Os modos de trabalho, configurações e ajustes são acessados por meio da interface geral das funcionalidades do sistema, também visto na Figura 3.22.

Figura 3.21 – Interface De Supervisão da Máquina



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 3.22 – Opção Geral das Funcionalidades



Fonte: Do Autor (2019)

Uma interface também é usada para monitorar o funcionamento dos sensores da máquina, ilustrada na Figura 3.23. Essa interface foi criada com o intuito de verificar o estado dos fins de curso e do *encoder* em caso de suspeita de defeito ou para verificação da lógica de funcionamento da máquina. Nesta interface também pode se monitorar o nível do reservatório de bainhas, bem como a existência de alguma bainha no “Castelo” por meio da distancia observada.

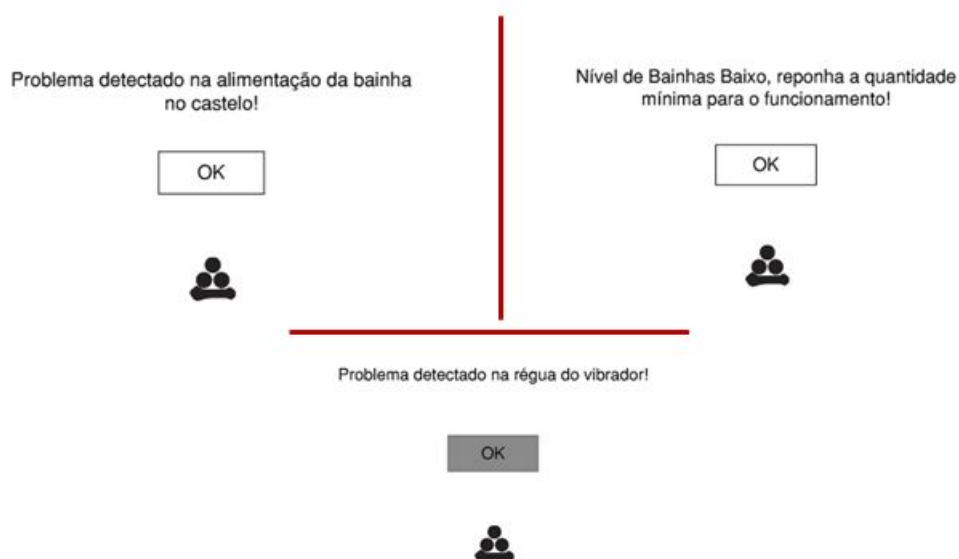
Figura 3.23 – Interface De Monitoramento dos Sensores da Máquina



Fonte: Do Autor (2019)

Uma das grandes vantagens do uso da interface IHM é permitir a visualização de alertas de eventos inesperados ou problemáticos que possam vir a acontecer em um processo. Com isso em mente, foram implementadas também, mensagens de alerta caso algum problema viesse a surgir no processo de colagem das ponteiras 3W (Figura 3.24).

Figura 3.24 – Mensagens de Alertas Exibidas na Interface



Fonte: Do Autor (2019)

3.2.12 Micro Gerador de Vácuo

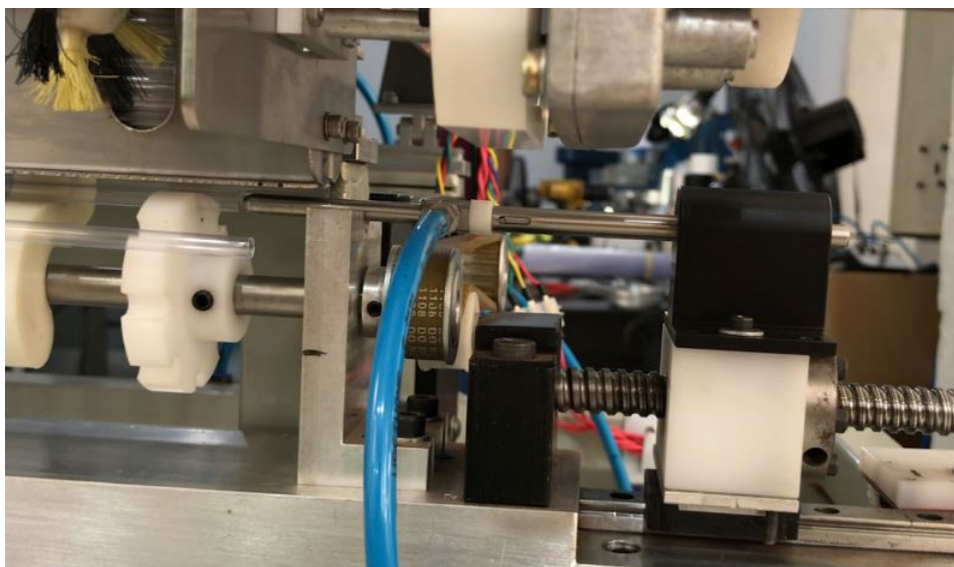
O gerador de vácuo utilizado no sistema, ilustrado na Figura 3.25, tem o objetivo de criar vácuo na parte traseira da bainha, mostrada na Figura 3.26, de modo que, quando o sistema mecânico aproximar a bainha da ponteira 3W, a mesma é sugada forçando seu encaixe, conforme ilustrado na Figura 3.27.

Figura 3.25 – Micro Gerador de Vácuo Utilizado para Sugar a Ponteira na Bainha



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 3.26 – Geração de Vácuo na "Traseira" da Bainha



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 3.27 – Encaixe da Ponteira na Bainha por Meio do Vácuo



Fonte: Do Autor (2019)

3.2.13 Válvula Pneumática 5/2 vias Elétrica

A válvula pneumática elétrica, ilustrada na Figura 3.28, é acionada pelo microcontrolador quando necessário, com a finalidade de permitir o funcionamento do gerador de vácuo no sistema.

Figura 3.28 – Válvula Pneumática para Acionar o Gerador de Vácuo



Fonte: Do Autor (2019)

3.2.14 Válvula Pneumática Reguladora de Pressão

A válvula reguladora de pressão é utilizada para regular a pressão do ar que aciona o gerador de vácuo, bem como os reguladores de fluxo de ar utilizados no alimentador vibratório, sendo ilustrada na Figura 3.29. Foi necessário utilizar este regulador para diminuir a pressão do ar que é fornecido pela rede de distribuição para um máximo de 6 bar, de forma a não afetar os componentes utilizados em sua dependência.

Figura 3.29 – Válvula Reguladora de Pressão do Ar Utilizado na Máquina



Fonte: Do Autor (2019)

3.2.15 Valvula Reguladora de Fluxo de Ar

O reguladores de fluxo de ar do sistema desempenham um importante papel no conjunto do Alimentador Vibratório, pois é desta forma que as ponteiras 3W são forçadas a se posicionarem adequadamente na régua do vibrador. Adicionalmente, os reguladores de fluxo de ar também são usados para regular o fluxo de ar no gerador de vácuo. É por meio destes reguladores que é feito os ajustes finos para se obter máxima eficiência nos processos citados anteriormente.

Figura 3.30 – Regulador de Fluxo de Ar dos Dispositivos do Sistema

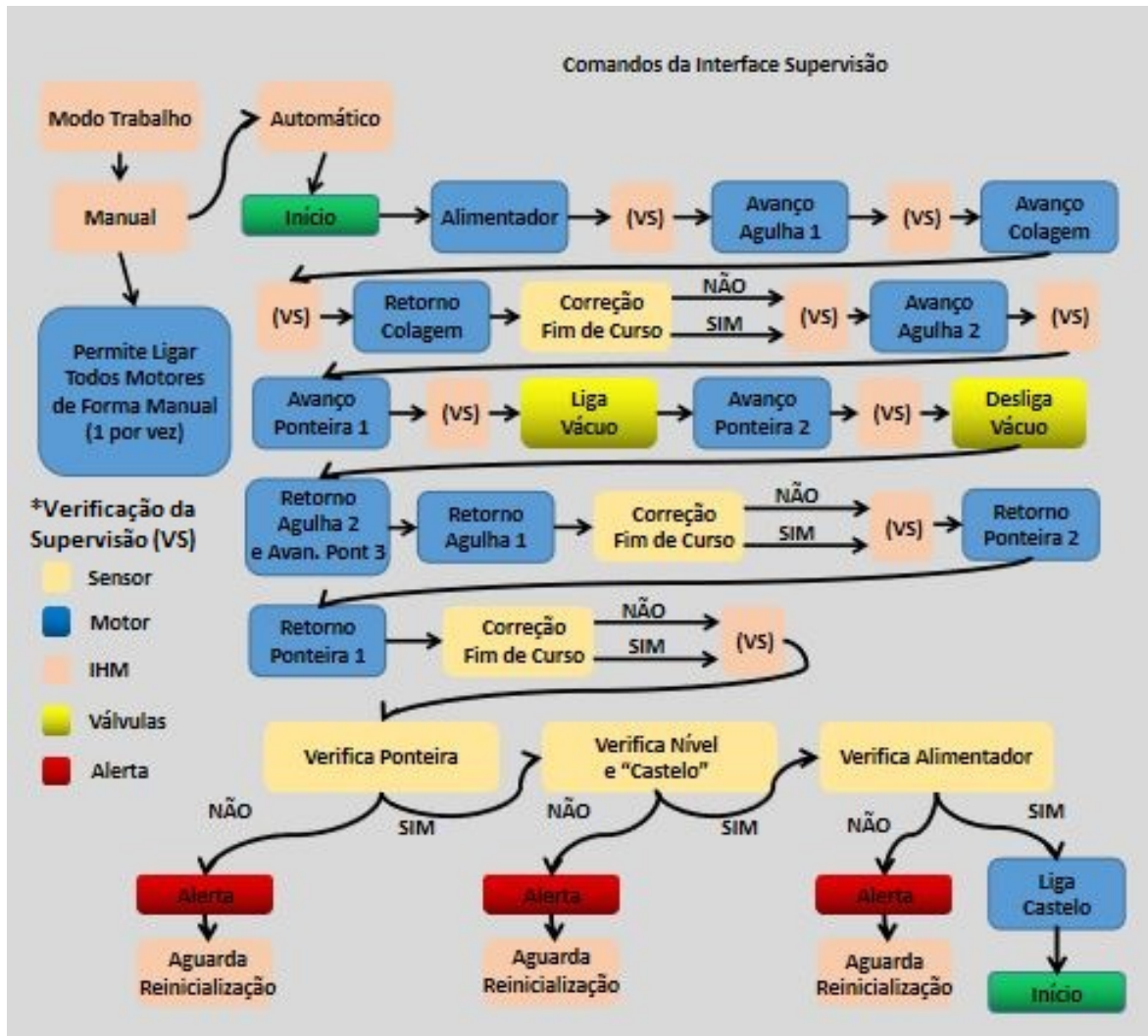


Fonte: Do Autor (2019)

3.3 Detalhes do Funcionamento

O diagrama ilustrado na Figura 3.31, detalha o funcionamento global do sistema desenvolvido, tais como acionamento via IHM, sequência de atuação dos motores, sensores, atuação das válvulas, e mensagens de alertas.

Figura 3.31 – Diagrama de Comando da Interface de Supervisão



Fonte: Do Autor (2019)

4 RESULTADOS OBTIDOS

O sistema de colagem de ponteiras 3W em bainhas de inseminação artificial, utilizando a tecnologia de Automação Industrial na sede da WTA em Cravinhos-SP, permaneceu em testes de funcionamento desde agosto de 2019, tendo passado por várias mudanças no conceito e sequência de funcionamento até se chegar a montagem final com condições ideais. Os testes e atuações após a montagem final forneceram dados suficientes para avaliação qualitativa da utilização tecnologia Automação Industrial neste processo.

Neste capítulo são analisados o desempenho e comportamento da máquina 3W usando a tecnologia de Automação Industrial, baseados em dados denominados teste Alpha, coletados durante o período de validação (após a montagem final). São apresentados também, alguns aspectos importantes durante o período de instalação, teste de rotação da ponteira, funcionamento dos dispositivos e resultados da operação do sistema.

4.1 Atuação do Sistema de Colagem

A avaliação da atuação do sistema de colagem se baseou nas seguintes informações: tempo de atuação, quantidade de bainhas aprovadas, quantidade de bainhas reprovadas por cola escorrida, reprovadas por falhas no processo, reprovadas devido à falta de cola, aprovadas após uma nova análise, aprovadas em uma reavaliação e reprovadas na reavaliação.

Essa avaliação foi feita para três eventos de atuação distintos em função da quantidade de cola e da rotação da ponteira 3W após entrar na bainha. O primeiro teste de atuação foi feito usando um *Setpoint* de 0.040 segundos para cada *dispenser* e sem a etapa de rotação da ponteira após entrar na bainha, e os resultados podem ser vistos na Tabela 4.1 e Figura 4.1

Fazendo a avaliação entre as três etapas distintas, percebeu-se que o processo mais rápido, por tempo de produção unitária, foi o teste Alpha 1.0. Isso se deveu ao fato do mesmo não possuir a etapa de rotação da ponteira no processo. Contudo, verificou-se baixa eficiência ao se analisar os dados do "Teste Alpha 1.0 c/ Restrição de Cola Escorrida", uma vez que se obteve uma reprovação por cola escorrida de 77% no total de 590 ponteiras avaliadas (Aprovadas, Reprovadas por Cola Escorrida, Reprovadas por Falhas no Processo e Reprovadas devido à falta de Cola). Essa reprovação se deu pelo fato da bainha 3W não estar esteticamente aceitável para comercialização ao se comparar com o processo realizado manualmente. Por outro lado verificou-se que as bainhas reprovadas por falhas no processo e pela falta de cola, totaliza-

ram em 5,59%. Tal porcentagem, a princípio, pareceu ser relativamente baixa, porém quando avaliada em grande escala foi considerada inaceitável no processo, pelas grandes perdas.

Como a cola escorrida na bainha 3W não interfere no processo da inseminação artificial, alguns responsáveis pela liberação das vendas da mesma, consideraram aprovada tal reprovação feita anteriormente. Com isso, na nova análise feita, "Teste Alpha 1.0 s/ Restrição de Cola Escorrida" considerou aprovada todas as bainhas com cola escorrida, além das que já tinham sido aprovadas, gerando um total de 94%. Apesar disso, o total de 6% de reprovação pela falta de cola e falhas no processo ainda mostrou-se expressivo.

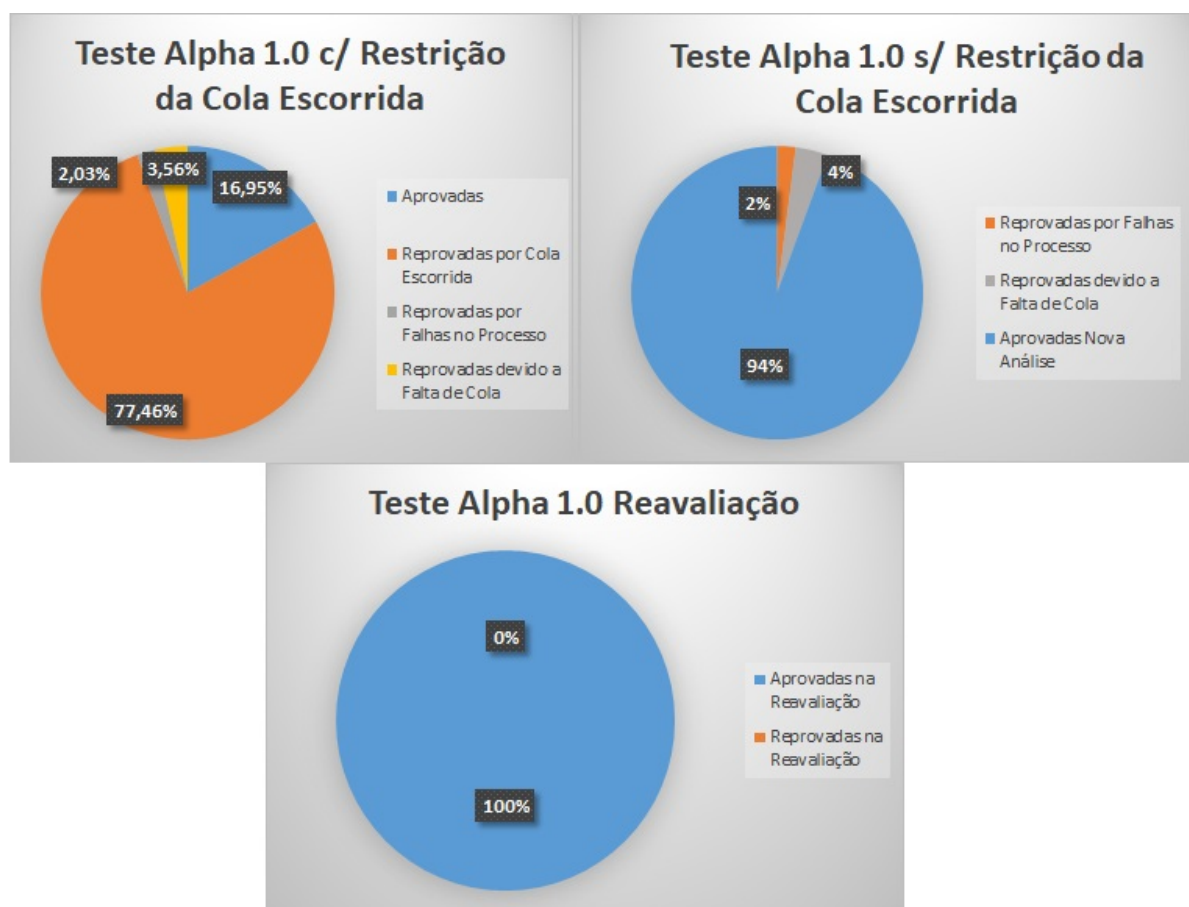
A super cola utilizada na colagem da ponteira 3W na bainha tem efeito por meio de uma reação química que funde os dois materiais. Dessa forma, e assumindo-se que a ponteira 3W não solta da bainha, realizou-se, com todas as bainhas reprovadas por falta de cola, um teste de tração com o aplicador universal da WTA, ilustrado na Figura 4.2, simulando a força necessária para realizar o procedimento de inseminação artificial. Ao final do teste, a quantidade reprovada dessas bainhas foi de 0%, ou seja, nenhuma ponteira se soltou. Isso demonstra que mesmo em pequenas quantidades de cola o processo ainda mostrou-se eficiente.

Tabela 4.1 – Tempo de Produção Unitária e Quantidade de Bainhas por Avaliação para o Teste Alpha 1.0

Tempo de Produção Unitária	Aprovadas	Reprovadas por Cola Escorrida	Reprovadas por Falhas no Processo	Reprovadas devido a Falta de Cola	Aprovadas Nova Análise	Aprovadas na Reavaliação	Reprovadas na Reavaliação
5 segundos	100	457	12	21	557	21	0
Obs.: Este teste foi feito usando um Setpoint para a quantidade de cola de 0,040 segundos, sem o sistema de rotação.							

Fonte: Do Autor (2019)

Figura 4.1 – Resultados Obtido pelo Teste Alpha 1.0 com *Setpoint* de 0.040 Segundos e sem o Sistema de Rotação



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 4.2 – Aplicador Universal para Bainhas de Inseminação Artificial



Fonte: Do Autor (2019)

Os resultados do segundo teste, denominado "Alpha 2.0", e mostrados na Tabela 4.2 e Figura 4.3, se basearam em um conceito de funcionamento diferente. Visto que as bainhas reprovadas por falta de cola no teste anterior possuíam pontos de cola isolados ao longo da ponteira, utilizou-se uma etapa de rotação de 180 graus da ponteira 3W após esta entrar na bainha, com o objetivo de espalhar a cola, e um *Setpoint* de 0.010 segundos para cada *dispenser*,

a fim de amenizar a quantidade de reprovação por cola escorrida. Essa cola escorrida se deveu à atuação do vácuo, uma vez que quanto maior o volume da gota de cola, mais ela escorre na parede da bainha quando o mesmo é acionado.

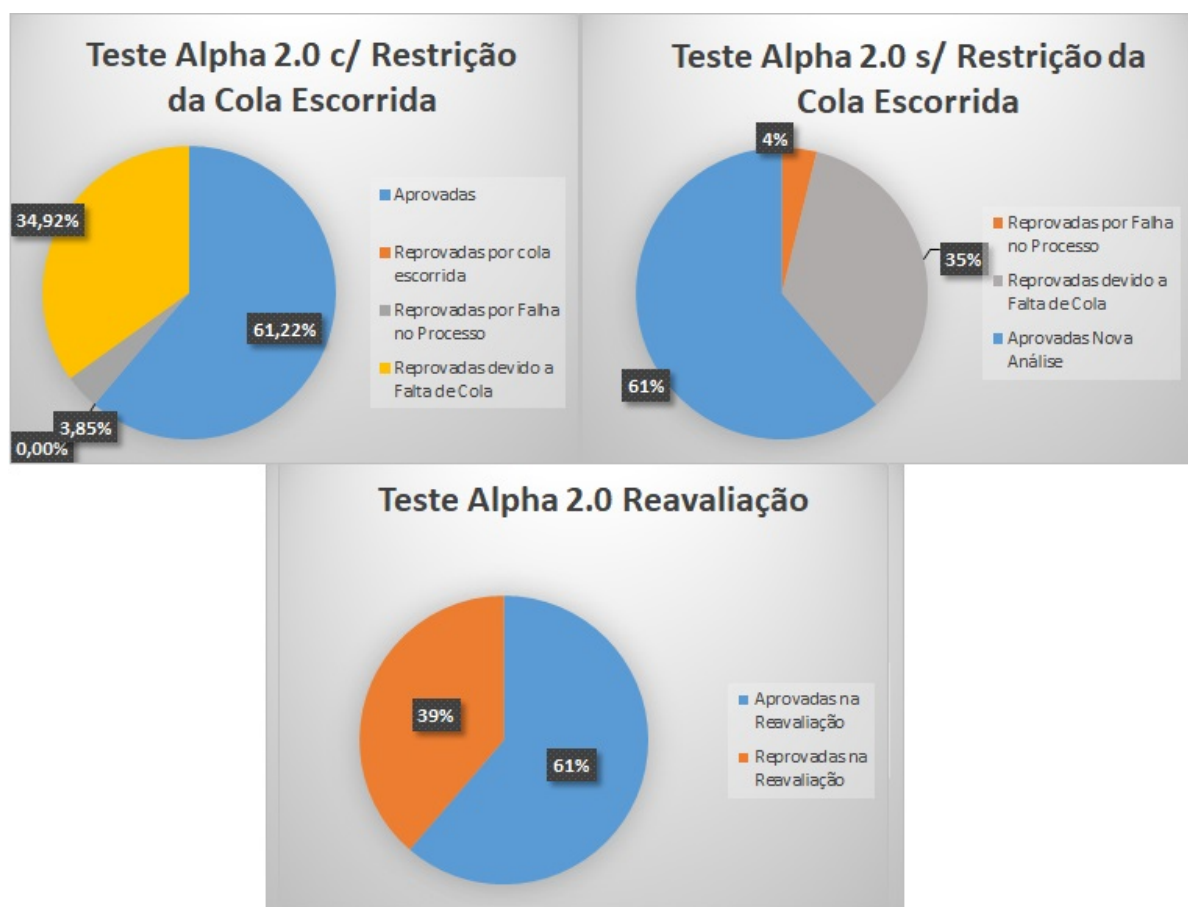
As mesmas avaliações do teste anterior foram repetidas, culminando em uma quantidade de reprovação por cola escorrida de 0%. Por outro lado, a reprovação por falta de cola se tornou expressiva (pelo fato de se ter diminuído o *Setpoint* dos *dispensers*) atingindo o valor de 34,92% no total de 441 bainhas analisadas. Observou-se também, que o pequeno valor de *Setpoint* dos *dispensers* ocasionou, nos dados do "Teste Alpha 2.0 Reavaliação", uma reprovação expressiva após a simulação da aplicação. Com esse teste ainda não foi possível identificar se a etapa de rotação da ponteira 3W pode proporcionar alguma melhora do processo.

Tabela 4.2 – Tempo de Produção Unitária e Quantidade de Bainhas por Avaliação para Teste Alpha 2.0

Tempo de Produção Unitária	Aprovadas	Reprovadas por cola escorrida	Reprovadas por Falha no Processo	Reprovadas devido a Falta de Cola	Aprovadas Nova Análise	Aprovadas na Reavaliação	Reprovadas na Reavaliação
5,4 segundos	270	0	17	154	270	84	53
Obs.: Este teste foi feito com a ponteira girando após entrar na bainha. Usando um Setpoint para a quantidade de cola de 0,010 segundos, e giro de rotação de 180°.							

Fonte: Do Autor (2019)

Figura 4.3 – Resultados Obtidos pelo Teste Alpha 2.0 com *Setpoint* de 0.010 Segundos e com o Sistema de Rotação de 180 graus



Fonte: Do Autor (2019)

Os resultados do terceiro teste, denominado "Alpha 2.1", e ilustrado na Tabela 4.3 e Figura 4.4, se basearam no mesmo conceito de funcionamento do teste "Alpha 2.0", porém com um giro de rotação de 360 graus da ponteira 3W após entrar na bainha, e um *Setpoint* de 0.030 segundos para os dois *dispensers*.

Os resultados se mostraram muito mais satisfatórios do que os anteriormente realizados. Na avaliação do "Teste Alpha 2.1 c/ Restrição da Cola Escorrida", apenas 1,7% das bainhas foram reprovadas por cola escorrida, um valor muito menor que no teste "Alpha 1.0". Adicionalmente, apenas 1,99% foram devido à falta de cola. Após a avaliação do "Teste Alpha 2.1 s/ Restrição da Cola Escorrida", perceberam-se resultados ainda melhores no processo, com um total de 97% aprovadas, 2% reprovadas por falha no processo e 1% reprovado devido à falta de cola. Uma vez que o resultado da avaliação "Teste Alpha 2.1 Reavaliação", na qual se realizou uma simulação da aplicação das bainhas reprovadas por cola, veio apresentar 100% de aprovação, a mesma tornou-se importantíssima para verificação da eficiência do processo.

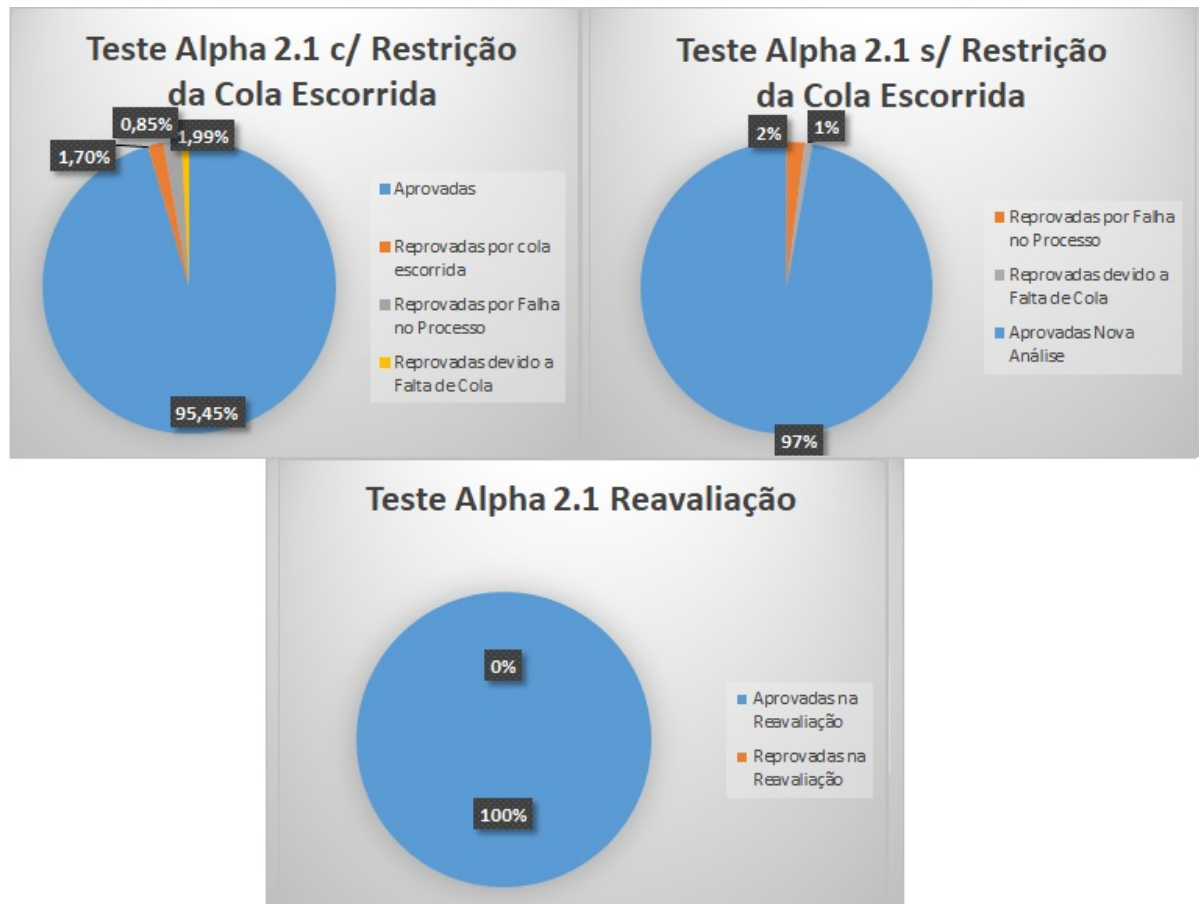
Tabela 4.3 – Tempo de Produção Unitária e Quantidade de Bainhas por Avaliação para Teste Alpha 2.1

Tempo de Produção Unitária	Aprovadas	Reprovadas por cola escorrida	Reprovadas por Falha no Processo	Reprovadas devido a Falta de Cola	Aprovadas Nova Análise	Aprovadas na Reavaliação	Reprovadas na Reavaliação
5,8 segundos	336	6	7	3	342	3	0

Obs.: Este teste foi feito com a ponteira girando após entrar na bainha. Usando um Setpoint para a quantidade de cola de 0,030 segundos e giro de rotação de 360°.

Fonte: Do Autor (2019)

Figura 4.4 – Resultados Obtidos pelo Teste Alpha 2.1 com *Setpoint* de 0.030 Segundos e com o Sistema de Rotação de 360 graus



Fonte: Do Autor (2019)

Adicionalmente, com os resultados do Teste "Alpha 2.1", foi definido a utilização de uma super cola com coloração azul para fácil identificação da eficiência do processo de cola-gem. A aparência pós-processo das bainhas 3W, ilustrada na Figura 4.5, ilustra a facilidade da identificação das ponteiras a serem reprovadas.

Figura 4.5 – Comparação das Ponteiras Com Cola de Coloração Azul Com Cola Incolor para Identificação de Falha no Processo



Fonte: Do Autor (2019)

Para validação do processo de colagem da máquina 3W, foi feito um levantamento dos dados da produção da bainha 3W por um único colaborador em comparação com a produção da máquina 3W. A Figura 4.6 ilustra a carga horária de mão de obra gasta com cada etapa do processo. O processo isolado de colagem da ponteira é eliminado com a utilização da máquina 3W, permitindo uma redução de mais de 30% no tempo total gasto com a mão de obra da produção.

Figura 4.6 – Tempo de Produção em Cada Etapa do Processo em um Lote de 30.000 bainhas 3W

Lote de 30.000 bainhas 3W Prod. Manualmente		Lote de 30.000 bainhas 3W Prod. Máquina 3W	
Etapa	Tempo Gasto (min)	Etapa	Tempo Gasto (min)
Colar	2796	Colar	-
Vistoria de Qualidade/ Limpeza e Embalagem de de 50 em 50	1045	Vistoria de Qualidade/ Limpeza e Embalagem de de 50 em 50	1045
Colocar Etiqueta	143	Colocar Etiqueta	143
Contar	45	Contar	45
Total de Tempo Gasto (min)	4029	Total de Tempo Gasto (min)	1233

Fonte: Do Autor (2019)

Devido ao fato da máquina substituir somente a etapa de colagem, pode-se observar que os tempos gastos com a mão de obra nas etapas de vistoria da qualidade, etiquetagem e contagem da bainha se mantêm os mesmos. O fato da colagem ser a etapa que mais demanda tempo, justifica o benefício da utilização da máquina 3W. A Figura 4.7 ilustra o tempo gasto com mão de obra da produção manual do processo em comparação com a utilização da máquina 3W para substituição ao processo de colagem. Como pode-se verificar, há redução de 9 dias para 3 dias do tempo gasto com a mão de obra, o que indica que a máquina 3W traz significativos benefícios à empresa ao substituir a etapa de colagem.

Figura 4.7 – Tempo de Produção de um Lote de 30.000 Bainhas 3W

Lote de 30.000 bainhas 3W Prod. Manualmente		Lote de 30.000 bainhas 3W Prod. Máquina 3W	
Avaliação da Produção Manual s/ Máq.	Tempo Gasto	Avaliação da Produção Manual c/ Máq.	Tempo Gasto
Carga Laboral(h)	8 horas	Carga Laboral(h)	8 horas
Tempo de Produção lote(dias)	8,4	Tempo de Produção lote(dias)	2,6
Qtde Prod. do Processo Completo/dia	3574	Qtde Prod. do Processo Completo/dia	11679

Fonte: Do Autor (2019)

A Figura 4.8, por fim, traz uma comparação isolada do tempo gasto com mão de obra nos processos de colagem manual e automatizado, com a máquina 3W. A carga laboral da máquina é acrescida em 1 hora pelo fato da possibilidade da mesma ser executada durante o horário de almoço, sem monitoramento. O tempo de produção do lote de 30.000 bainhas também é outra vantagem, possibilitando ao processo de colagem por máquina, um dia a menos de produção.

Figura 4.8 – Comparação Isolada da Produção Manual com a Máquina 3W

Lote de 30.000 bainhas 3W Prod. Manualmente		Lote de 30.000 bainhas 3W Prod. Máquina 3W	
Avaliação Isolada do Processo Colagem Manual	Tempo Gasto	Avaliação Isolada do Processo Colagem pela Máq. 3W	Tempo Gasto
Carga Laboral(h)	8 horas	Carga Laboral(h)	9 horas
Tempo de Produção lote(dias)	6	Tempo de Produção lote(dias)	5
Produção/dia(qtde)	5143	Produção/dia(qtde)	5586
Produção Unitária(s)	5,6	Produção Unitária(s)	5,8

Fonte: Do Autor (2019)

4.2 Aspectos de instalação, colagem e operação do sistema

4.2.1 Instalação

Desde a montagem da máquina, várias alterações se fizeram necessárias, como por exemplo, a sequência de funcionamento dos motores, substituição dos motores, substituição de válvulas, utilização de novos sinais digitais como acionamento de LEDs para iluminação da máquina, e troca de cabos de blindagem dos sensores ultrassônicos devido a interferências eletromagnéticas. Isso resultou em pequenas mudanças nas condições mecânicas e na instalação elétrica do sistema. Com o desenvolvimento do embarcado, as novas conexões elétricas se tornaram muito mais fáceis e rápidas, uma vez que foi previsto em seu desenvolvimento portas I/O para ampliação do sistema em caso de necessidade.

4.2.2 Colagem

O processo de ajuste do conjunto da cola da máquina foi uma das grandes preocupações do sistema, uma vez que se trata de um ajuste muito fino. Assim, durante o desenvolvimento da

máquina, o conjunto passou por vários testes e mudanças até se chegar às condições finais apresentadas nesse trabalho. Dentre os ajustes necessários, destacam-se: regulagem da quantidade de cola despejada pelo *Setpoint* dos *dispensers*, sistema de ajuste do posicionamento angular e linear das agulhas, e o alinhamento com a bainha no momento em que o *dispenser* atua.

Outro fator de grande relevância, foi a montagem da ponteira na bainha, uma vez que o chanfro tem papel fundamental para facilitar seu encaixe. Devido a isso, as condições físicas das ponteiras 3W utilizadas nesta máquina são diferentes das utilizadas no processo manual.

4.2.3 Operação do Sistema

Durante a operação do sistema, pequenas falhas, tais como a leitura e gravação da memória EEPROM foram identificadas. Isso só foi possível devido à facilidade de comunicação entre o operador e a máquina. Um aspecto importante, foi que todas alterações das configurações feitas pelo operador foram salvas na memória do sistema, permitindo uma maior facilidade e segurança do processo. Outro aspecto importante, foi a identificação de falhas no processo por meio de sensores durante a operação, o que permitiu a idealização de melhoras no *firmware* desenvolvido.

Adicionalmente, nem todas configurações do sistema puderam ser acessadas durante a operação. Configurações como velocidade, cursos dos motores, alterações das informações da máquina e alteração do horário só podem ser acessadas com uma senha de acesso, de forma a evitar alterações e resultados inesperados.

A facilidade de operação oferecida pela IHM desenvolvida resultou em menor tempo de realização dos ajustes necessários para se chegar às condições ideais da máquina, além de facilitar o entendimento dos comandos principais por parte do colaborador.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Confiabilidade, precisão, estabilidade e controle são elementos-chaves na discussão sobre a automação do processo de colagem de ponteira 3W em bainhas de inseminação artificial. Para reduzir os riscos e gastos, é fundamental uma avaliação profunda e detalhada antes da implementação de uma nova tecnologia. O processo automático de colagem da ponteira 3W deve mudar drasticamente a arquitetura de fabricação da mesma em curto prazo, portanto, uma avaliação detalhada é necessária para garantir a confiabilidade dessa nova tecnologia.

Neste trabalho, foi implementada e validada uma solução segura e barata para realizar essa avaliação, recorrendo-se a motores de passo, sensores e um embarcado para integração e controle de todo sistema. Avaliando os resultados obtidos nesse trabalho, foi possível constatar que os motores de passo atuaram conforme a expectativa, oferecendo precisão, confiança e simplicidade ao sistema. Na comparação com o sistema de produção manual, verificou-se que os resultados obtidos nas etapas que não envolve o processo de colagem na produção, possuíram resultados similares em termo de tempo. Por outro lado, houve uma significativa redução no tempo de produção do processo isolado de colagem das ponteiras 3W. Tais diferenças são frutos do uso da automação industrial para controle de um processos, a qual viabiliza: alto desempenho, controle, precisão e velocidade.

Foi possível verificar que a tecnologia de automação industrial pode trazer diversos benefícios processos produtivos, conforme verificado nos resultados deste trabalho, a saber:

- economia de tempo no processo;
- maior segurança operacional, uma vez que o colaborador somente coloca a máquina para funcionamento e monitora a mesma, não sendo necessário manusear substância química (super cola);
- aumento da produção;
- amenização de custo;
- aumento da concorrência;
- facilidade de identificação de erros no processo;
- aumento da qualidade do processo.

Através deste estudo, observou-se que existem alguns aspectos que devem ser levados em consideração quando se pretende usar a tecnologia de Automação Industrial, tais como o treinamento dos colaboradores que irão operar a máquina, identificando alertas e atuando no sistema quando necessário, análise de possíveis interferências eletromagnéticas, análise de necessidade de torque no sistema, e análise de uma interface intuitiva e de fácil operação para controle do processo.

Adicionalmente, ressalta-se, que, embora a tecnologia de Automação Industrial tenha se desenvolvido bastante no cenário de pequenas, médias e grandes empresas, a análise inadequada do sistema a ser implementado pode impedir, por hora, a utilização dessa tecnologia. Dentre possíveis motivos, destacam-se: limitação de velocidade, limitação de torque e robustez do sistema.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, N. C. **Sensoriamento Infravermelho (ART639)**. [S.l.], 2012. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/52-artigos-tecnicos/artigos-diversos/4577-art639>>. Acesso em: 10 Out. 2019.
- CENTRO PAULA SOUZA. **Eletrônica: automação industrial**. 6. ed. São Paulo, 2011. 227 p. Disponível em: <<http://eletro.g12.br/arquivos/materiais/eletronica6.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2019.
- COSTA, M. R. **Medição de Tensão e Correntes - Classe 15KV por Sistemas Elétro-Ópticos e Magnético-Ópticos**. São Carlos, 1996. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18133/tde-25012018-111911/publico/Dissert_Costa_MarcosR.pdf>. Acesso em: 14 Ago. 2019.
- CUNHA, A. F. **O que são Sistemas Embarcados?** [S.l.], 2006. Disponível em: <https://files.comunidades.net/mutcom/ARTIGO_SIST_EMB.pdf>. Acesso em: 20 Out. 2019.
- FROHM, J. et al. The Industry's View on Automation in Manufacturing. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 39, n. 4, p. 453–458, maio 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667015330925>>. Acesso em: 14 Ago. 2019.
- JIMENEZ, C. et al. Biotecnicas reprodutivas na fêmea bovina. **Conference: 84 Semana do Fazendeiro**, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266141405_BIOTECNICAS_REPRODUTIVAS_NA_FEMEA_BOVINA>. Acesso em: 08 Nov. 2019.
- KESTER, W. **Analog-Digital Conversion**. 1. ed. United States of America: Analog Devices, 2004.
- MAZZAROPPI, M. **Sensores de Movimento e Presença**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001369.pdf>>. Acesso em: 28 Ago. 2019.
- MIGUEL, A. F. **Sensor IR**. [S.l.], 2005. Disponível em: <<http://legacy.afonsomiguel.com/Graduacao/LabEngComp/ModulosAquisicao/IR/Ir.htm>>. Acesso em: 25 Ago. 2019.
- ROGGIA, L.; FUENTES, R. C. **Automação Industrial**. 2. ed. Santa Maria: Rede e-Tec Brasil, 2016.
- SILVEIRA, P. R.; SANTOS, W. E. **Automação e Controle Discreto**. 1. ed. São Paulo: Érica, 1999.
- VIDAL, V. **Sensor Ultrassônico HC-SR04 com Arduino**. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/sensor-ultrassonico-hc-sr04-com-arduino/>>. Acesso em: 20 Ago. 2019.
- WATANABE, O. Y. et al. Bainha de inseminação artificial com três saídas para o sêmen na taxa de prenhez de vacas *Bos indicus* submetidas à IATF. **Watanabe Tecnologia Aplicada**, 2018. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1K-7ka2ccbSJ5KxmER0S316mtxtO30fXK/view>>. Acesso em: 08 Nov. 2019.
- WENDLING, M. **Sensores**. [S.l.], 2010. Disponível em: <<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>>. Acesso em: 10 Set. 2019.

WOOLVET, G. A. **Transducers in Digital Systems**. London: Peter Peregrinus Ltd., 1997.
193 p.