

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO - MESTRADO PROFISSIONAL

Joan Michel Levandoski

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DIGITAL EM UM
EQUIPAMENTO PARA TRATAMENTO DE SEMENTES

Passo Fundo
2017

Joan Michel Levandoski

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DIGITAL EM UM
EQUIPAMENTO PARA TRATAMENTO DE SEMENTES**

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber

Coorientador: Prof. Dr. Jocarly Patrocínio de Souza

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo

2017

Joan Michel Levandoski

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DIGITAL EM UM EQUIPAMENTO PARA TRATAMENTO DE SEMENTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 28 de julho de 2017.

Os componentes da Banca Examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Márcio Walber

Orientador

Professor Doutor Jocarly Patrocínio de Souza

Coorientador

Professor Doutor Adriano Luís Toazza

Universidade de Passo Fundo

Professor Doutor José Antônio Portella

Universidade de Passo Fundo / PPGPPF

Professor Doutor Charles Leonardo Israel

Universidade de Passo Fundo / PPGPPF

Dedico este trabalho a meus pais João e Liamara, à minha esposa Aline, à minha irmã Katarine, a meu avô Fermino e a todos os amigos que me auxiliaram, especialmente ao Rodrigo, ao Amauri, ao Adriano, ao Jocarly e ao Márcio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo o que me concedeu, as oportunidades, as amizades, e tantas outras coisas tão importantes em minha vida. Agradeço, ainda, a todos os familiares que contribuíram de alguma forma com este trabalho. Agradeço, também, a todos os meus colegas professores, aos alunos do curso de Engenharia Elétrica e aos professores do Mestrado, principalmente ao Márcio Walber e ao Jocarly P. de Souza. Muito obrigado a todos.

*“Se a gente quiser modificar alguma coisa, é
pelas crianças que devemos começar.
Devemos respeitar e educar nossas crianças
para que o futuro das nações e do planeta seja
digno”.*

Ayrton Senna

RESUMO

O tratamento de sementes é uma prática utilizada para permitir que essas possam germinar e crescer de forma saudável. A busca crescente de sementes tratadas, vendidas por comercializadoras, fez surgir uma demanda mercadológica de máquinas para esse tipo de produção. Tendo em vista essa necessidade, este trabalho teve por objetivo aplicar metodologias e técnicas para o desenvolvimento de um equipamento capaz de realizar o controle automático de insumos aplicados no tratamento industrial de sementes, desenvolvendo-se uma interface amigável entre homem e máquina para a aplicação e retirada de informações do processo. Propôs, ainda, a construção de um protótipo que, ao ser finalizado, possibilitou a realização de testes com a semente e avaliações do processo. Com a construção do protótipo, iniciou-se a fase dos testes e ensaios do equipamento. Este foi submetido a quatro tipos de ensaios. Iniciou-se pelo ensaio de conformidade de insumos, que teve por objetivo avaliar se os insumos aplicados pelas bombas peristálticas condiziam com os valores configurados pelo operador. Após isto, realizou-se o segundo ensaio, visando provar a estanqueidade do sistema de bombas. Este ensaio mostrou que o sistema de bombeamento não proporciona retorno de calda. O terceiro teste visou a conformidade no volume de sementes controlado pelo equipamento, onde o mesmo executou o controle de entrada de grãos de forma precisa, obtendo pouca variabilidade. Por último, um teste visando comprovar a homogeneidade da aplicação dos insumos. Este teste utilizou de duas cultivares com tratamentos distintos. Realizada a análise obteve-se resultados distintos a cada cultivar. Ressalta-se também, a aprovação do tratamento realizado pelo equipamento em quatro análises realizadas pelo laboratório *The Seedcare Institute*. A partir dos testes realizados foi possível afirmar que o equipamento está apto a entrar em produção e ser comercializado.

Palavras-chave: Controle de grãos. Automação industrial. Controle de insumos. Homogeneidade.

ABSTRACT

Seed treatment is a practice used to allow it to germinate and grow in a healthy way. The increasing search for treated seeds, sold by traders, has caused a market demand arise for machines for this type of production. In view of this need, this research had as objective to apply methodologies and techniques for the development of an equipment capable of performing the automatic control of inputs applied in the industrial treatment of seeds, developing a friendly interface between man and machine for the application and withdrawal of information from the process. It also proposed the construction of a prototype that, when finished, made possible the execution of tests with the seed and evaluations of the process. With the construction of the prototype, the testing and assay of the equipment began. This was submitted to four types of assays. It was initiated by the input conformity assay, that had as goal to evaluate whether the inputs applied by the peristaltic pumps were consistent with the values set by the operator. After this, the second assay was carried out, in order to prove the leakage of the pump system. This assay showed that the pumping system does not provide syrup return. The third test aimed the compliance in the volume of seeds controlled by the equipment, where it performed the control of grain intake accurately, obtaining little variability. Finally, a test aiming to verify the homogeneity of the application of the inputs. This test used two cultivars with different treatments. Performed the analysis, the results obtained were different for each cultivar. It is also worth noting the approval of the treatment performed by the equipment in four analyzes carried out by the laboratory The Seedcare Institute. Based on the tests carried out, it was possible to state that the equipment is ready to be produced and marketed.

Key words: Grain control. Industrial automation. Inputs Control. Homogeneity.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| CC | Corrente Contínua |
| CLPs | Controladores Lógicos Programáveis |
| CPU | Unidade Central de Processamento |
| CSM | Coordenação de Sementes e Mudas |
| CSV | Comma-separated values |
| DFIA | Departamento de Fiscalização de Insumos Agrícolas |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| GPS | Sistema de Posicionamento Global |
| IHM | Interface Homem Máquina |
| In | Corrente nominal |
| Ip | Corrente de Partida |
| Ip/In | Razão de corrente de partida por corrente nominal |
| ISTA | International Seed Testing Association |
| LCD | <i>Liquid Crystal Display</i> |
| MAPA | Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento |
| NPN | camada NP-PN |
| NT | Nota Técnica |
| NBR | Norma Técnica Brasileira aprovada pela ABNT |
| on/off | Ligado/desligado |
| PI | Controle Proporcional Integral |
| PID | Controle Proporcional Integral Derivativo |
| PWM | Modulação por Largura de Pulso |
| RAM | Memória volátil |
| SDA | Secretaria de Defesa Agropecuária |
| SPD | Função <i>speed</i> do controlador |
| UBS | Unidades de Beneficiamento de Sementes |
| USB | Universal Serial Bus |
| VDI | Normas da Associação de Engenheiros Alemães |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|--------|-----------------------------------|
| A | Ampér |
| cv | Cavalo Vapor |
| V | Volt |
| Vcc | Volts em corrente continua |
| Vca | Volts em corrente alternada |
| ml/kg | mililitros por quilograma |
| kg/min | quilograma de sementes por minuto |
| pH | potencial hidrogeniônico |
| s | segundo |
| m | metro |
| ml | mililitros |
| min | minuto |
| g | grama |
| % | porcento |
| mm | milímetro |
| W | watt |
| Hz | Hertz |
| kHz | quilohertz |
| kB | <i>quilobytes</i> |
| mA | mili Ampére |
| MB | <i>Megabytes</i> |
| ms | milisegundo |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1: Quatro fases do desenvolvimento de um produto segundo Pahl et al. (2013). | 23 |
| Figura 2: Etapas da concepção do projeto | 25 |
| Figura 3: Função global e estrutura de funções de um projeto conceitual | 26 |
| Figura 4: Exemplo de uma matriz morfológica para um projeto de embalagens | 26 |
| Figura 5: Etapas de trabalho do anteprojeto | 28 |
| Figura 6: Testes realizados com o tratamento de sementes de soja..... | 33 |
| Figura 7: Tambores para tratamento de pequenas quantidades de sementes onde (a) manual e (b) motorizado | 35 |
| Figura 8: Sistema de tratamento direto na semeadora com helicoidal onde: a) direto na semeadora e b) em um recipiente em separado | 36 |
| Figura 9: Tratador de sementes <i>Spray System</i> com caracol homogeneizador | 36 |
| Figura 10: Fluxograma Simplificado do sistema de tratamento de sementes | 38 |
| Figura 11: Exemplo de sementes tratadas com coloração diferenciada da natural | 39 |
| Figura 12: Tratadora de sementes industrial GV500i manual | 40 |
| Figura 13: Disposição de um sistema de controle com realimentação (malha fechada). | 42 |
| Figura 14: Sistema em malha aberta | 42 |
| Figura 15: Exemplo de interface homem máquina..... | 45 |
| Figura 16: Linha Mestra do projeto desenvolvido | 47 |
| Figura 17: Função global do projeto proposto..... | 50 |
| Figura 18: Subfunções relacionadas ao projeto | 51 |
| Figura 19: Subfunção dosar as sementes (a) e subfunção dosar insumos (b) com suas respectivas características..... | 52 |
| Figura 20: Organograma de objetivos do sistema de controle | 58 |
| Figura 21: Curva característica de fusíveis D e NH | 63 |
| Figura 22: Diagrama de potência de potência dos mexedores | 63 |
| Figura 23: CLP e Expansão utilizadas no projeto | 66 |
| Figura 24: IHM escolhida para uso no projeto | 67 |
| Figura 25: Sistema de eclusa projetada para o projeto | 68 |
| Figura 26: Sistema de eclusas em corte..... | 69 |
| Figura 27: Diagrama de potência de acionamento e proteção do sistema de eclusa..... | 70 |
| Figura 28: Diagrama de potência de acionamento e proteção do pó secante | 71 |

| | |
|--|----|
| Figura 29: Bomba peristáltica projetada..... | 72 |
| Figura 30: Filtro passa baixa passivo | 74 |
| Figura 31: Placa projetada para o sistema de linearização do PWM e recebimento de sinal do sensor HALL..... | 75 |
| Figura 32: Digrama de blocos do <i>firmware</i> da IHM | 76 |
| Figura 33: Configuração dos valores gravados em USB..... | 78 |
| Figura 34: <i>Firmware</i> do CLP | 83 |
| Figura 35: Tela de operação com a configuração de vazão e volume dos tanques | 86 |
| Figura 36: Tara e medições de peso da soja no medidor padrão criado pela empresa.... | 88 |
| Figura 37: (a) Amostra dos corpos de prova, (b) semente de tipo 1 e (c) sementes de tipo 2..... | 91 |
| Figura 38: Corpos de prova prontos para serem analisados | 91 |
| Figura 39: Amostra de medição de espessura realizada | 92 |
| Figura 40: Histograma referente a semente de tipo 1 | 93 |
| Figura 41: Histograma referente a semente de tipo 2..... | 95 |
| Figura 42: Amostras comparadas em termos de tamanho e formato | 96 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1: Avaliação quantitativa das variantes de solução | 62 |
| Tabela 2: Dados do motor utilizado para o misturador dos tanques | 63 |
| Tabela 3: Dados do motor projetado para o sistema de aspersão (Spray System) | 66 |
| Tabela 4: Placa de dados do motor do sistema de homogeneização | 67 |
| Tabela 5: Valores das amostras analisadas..... | 96 |
| Tabela 6: Resultado da análise da semente de tipo 1 | 97 |
| Tabela 7: Resultado da análise da semente de tipo 2 | 99 |
| Tabela 8: Dados da análise de soja no Seedcare Institute | 101 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1: Tipos de sensores e categorias de estímulos..... | 44 |
| Quadro 2: Lista de requisitos propostos para o projeto..... | 49 |
| Quadro 3: Matriz morfológica do projeto..... | 55 |
| Quadro 4: Avaliação qualitativa dos componentes da matriz morfológica..... | 57 |
| Quadro 5: Variantes de solução para o projeto..... | 58 |
| Quadro 6: Atribuição dos valores para a avaliação..... | 61 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1 | Contexto | 16 |
| 1.2 | Justificativa..... | 17 |
| 1.3 | Objetivos..... | 17 |
| 1.3.1 | Objetivo geral | 17 |
| 1.3.2 | Objetivos específicos..... | 18 |
| 1.4 | Metodologia da pesquisa | 18 |
| 1.5 | Estrutura do documento..... | 19 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 21 |
| 2.1 | Projeto e desenvolvimento de produtos..... | 21 |
| 2.1.1 | O processo de desenvolvimento de um produto..... | 22 |
| 2.1.1.1 | Planejamento, especificação e esclarecimento metódico | 23 |
| 2.1.1.2 | Concepção | 24 |
| 2.1.1.3 | Anteprojeto | 26 |
| 2.1.1.4 | Detalhamento..... | 29 |
| 2.2 | Agricultura de precisão..... | 29 |
| 2.2.1 | Sistemas de automação na agricultura de precisão..... | 31 |
| 2.3 | Tratamento de sementes | 31 |
| 2.3.1 | Equipamentos utilizados para o tratamento de sementes | 34 |
| 2.3.1.1 | Sistema de tratamento por tambor giratório ou betoneira | 34 |
| 2.3.1.2 | Tratamento por roscas helicoidais e espirais misturadoras | 35 |
| 2.3.2 | Máquinas de tratamento de sementes industriais | 37 |
| 2.3.2.1 | Máquina de tratamento de sementes GV500i..... | 39 |
| 2.4 | Automação de sistemas | 40 |
| 2.4.1 | Sensores e atuadores..... | 43 |
| 2.4.2 | IHMs e CLPs | 44 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 46 |
| 3.1 | Fase 1: Planejamento e esclarecimento da tarefa | 46 |
| 3.2 | Fase 2: Concepção | 49 |
| 3.2.1 | Abstração | 49 |
| 3.2.2 | Elaboração da estrutura de funções | 50 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.2.3 | Matriz morfológica e princípios de funcionamento | 53 |
| 3.2.4 | Análise quantitativa das variantes de solução | 57 |
| 3.3 | Fase 3: Anteprojeto..... | 60 |
| 3.3.1 | Dimensionamento do acionamento e proteção dos motores dos agitadores, <i>Spray System</i> e rolo homogeneizador | 61 |
| 3.3.2 | Dimensionamento do sistema de controle por CLP e IHM..... | 65 |
| 3.3.3 | Dimensionamento do acionamento e proteção para o sistema de eclusa | 67 |
| 3.3.4 | Sistema de proteção e acionamento do sistema de pó secante | 70 |
| 3.3.5 | Sistema de acionamento das bombas de insumos | 71 |
| 3.3.6 | Dimensionamento da placa de controle para acionamento dos motores das bombas, inversores e sinais de controle | 73 |
| 3.3.7 | <i>Firmware</i> do sistema de IHM..... | 75 |
| 3.3.8 | <i>Firmware</i> do CLP | 78 |
| 3.3.8.1 | Entradas digitais | 79 |
| 3.3.8.2 | Saídas digitais transistorizadas | 79 |
| 3.3.8.3 | Saídas digitais a relé | 81 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 84 |
| 4.1 | Utilização da metodologia de projetos no trabalho | 84 |
| 4.2 | Resultados obtidos através dos testes de funcionamento executados | 85 |
| 4.3 | Análise das sementes tratadas pelo equipamento | 90 |
| 4.3.1 | Análise da semente de tipo 1 | 93 |
| 4.3.2 | Análise da semente de tipo 2 | 95 |
| 4.3.3 | Conclusão da análise | 96 |
| 4.4 | Análise da semente por terceiros | 97 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 99 |
| 5.1 | Análise dos objetivos..... | 99 |
| 5.2 | Contribuição científica | 100 |
| 5.3 | Trabalhos futuros | 100 |
| | REFERÊNCIAS | 102 |
| | Apêndice A - Esquema elétrico do sistema de acionamento de motores | 106 |
| | Apêndice B - Telas do firmware da IHM | 107 |
| | Anexo A - Teste realizado por terceiros (<i>Seedcare</i>)..... | 110 |

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os aspectos que introduzem o tema abordado neste trabalho, através da descrição contextual, dos objetivos, justificativas e metodologia utilizada para a execução da pesquisa.

1.1 Contexto

A constante melhora de produtos é importante para as empresas se manterem competitivas em um mercado que está cada vez mais disputado e que se modifica constantemente. Assim também o é a procura por equipamentos mais eficientes que maximizem o uso de tais produtos, sem onerar em maiores custos. Na agricultura, em termos de melhora de produtos pode-se citar, especialmente, o grande salto tecnológico da agricultura de precisão, um dos setores mais lembrados quando se fala em tecnologia e inovação em produtos.

Segundo o Portal Embrapa (EMBRAPA, 2015), a agricultura de precisão é um tema abrangente, sistêmico e multidisciplinar. Não se limita a algumas culturas ou algumas regiões. Trata-se de um sistema de manejo integrado de informações e tecnologias, fundamentado na concepção de que as variabilidades de espaço e tempo influenciam nos rendimentos dos cultivos. Assim sendo, a agricultura de precisão visa o gerenciamento mais detalhado do sistema de produção agrícola como um todo, não somente das aplicações de insumos ou de mapeamentos diversos, mas da totalidade dos processos envolvidos na produção.

Dentre os muitos temas abordados pela agricultura de precisão, um se dedica ao tratamento de sementes. Segundo o Portal Biogene (BIOGENE, 2015), o uso de tratamento de sementes feito de modo industrial tem levado comodidade, segurança e eficiência aos produtores. Isso, pois essa é uma das formas mais eficientes de proteger as culturas do ataque de pragas e doenças nas fases de germinação e início de desenvolvimento da planta. Também protege o investimento do agricultor, pois melhora as chances de que a semente venha a germinar e crescer, tornando-se planta. Assim compreendido, pode-se afirmar que o tratamento industrial de sementes, normalmente, se destaca dos demais meios, pois tem um custo benefício elevado comparando-se com a tratada de outras formas.

É diante do contexto de um mercado com potencialidade para a produção e consumo de sementes tratadas industrialmente que se apresenta, na sequência, a justificativa, os objetivos e a metodologia definidos para este trabalho de pesquisa.

1.2 Justificativa

A utilização de sementes tratadas já vem ocorrendo na agricultura há algum tempo, independentemente do tipo de cultivo. Elas proporcionam um rendimento diferenciado quando se trata de proteção e nutrição de plantas no estado de germinação. Oferecer um equipamento que permita ao agricultor uma rentabilidade maior em sua lavoura, justifica investimentos em tecnologias que executam funções ligadas a esse processo. Por consequência, a empresa que disponibilizar tais equipamentos terá maior visibilidade e possibilidade de crescimento comercial.

Nesse intuito, o presente trabalho de pesquisa se justifica no fato de uma empresa da região ter percebido a necessidade de atualização e reposicionamento mercadológico de um sistema de tratamento de sementes, visando atender de forma mais eficiente e rentável seus clientes. Isso implicaria em um investimento voltado à automação e ao controle do processo executado pelo referido equipamento, que até então trabalhava de forma manual. Desse modo, a semente passaria a ter uma deposição e cobertura de insumos melhorada e o operador não necessitaria ajustar de forma manual o equipamento sempre que o utilizar. O novo modo de manejo do equipamento implicaria num menor, ou nenhum, contato com produtos nocivos ao ser humano, proporcionando, assim, tanto ao agricultor quanto aos operadores, melhores resultados, redução de custos operacionais, maior eficiência, ergonomia, segurança e rendimento.

1.3 Objetivos

A seguir são apresentados os objetivos cumpridos no presente trabalho.

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver o controle de um sistema de tratamento de sementes industrial de forma que o mesmo trabalhe de forma autônoma.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Utilizar conceitos de metodologia de projeto para solucionar de forma simples e eficiente a proposta apresentada;
- b) Projetar e aplicar uma automação para controlar o volume de insumos aplicados à semente;
- c) Desenvolver uma interface que permita a troca de informações entre operador e Máquina;
- d) Construir um protótipo baseado nos princípios de metodologia de projetos;
- e) Realizar testes de homogeneidade para com as sementes e ensaios de controle de volume para com o equipamento.

1.4 Metodologia da pesquisa

Este trabalho foi desempenhado em parceria com a empresa Grazmec Indústria e Comércio Ltda., fabricante de implementos agrícolas, que disponibilizou um protótipo de tratadora de sementes para o desenvolvimento deste trabalho, de modo a serem realizados testes de funcionamento.

O desenvolvimento de um projeto requer um sistema organizacional que conduza o mesmo ao sucesso esperado. Para isso, a utilização de bibliografias específicas se fez necessária, possibilitando decisões e posteriormente a afirmação dos objetivos propostos.

Outra questão de suma importância é a metodologia de trabalho, que proporciona segurança e um caminho simplificado até a solução desejada. Assim, utilizou-se para a execução da presente pesquisa a proposta metodológica descrita por Pahl et al. (2013), composta de quatro fases principais de desenvolvimento de projetos:

Fase 1: Planejamento e esclarecimento da tarefa

Nessa etapa foram realizados encontros com o fabricante, com a definição do tipo de máquina requerida, quais os requisitos imprescindíveis, quais as possibilidades de diferenciação do produto. Além disso, realizou-se visita a produtores para opiniões e análise

das máquinas existentes. Após esses encontros foi então montada uma estrutura que engloba os desejos e requisitos para o projeto.

Fase 2: Concepção

Nessa fase foram utilizados os resultados da Fase 1 para, então, serem encontradas possíveis maneiras de solucionar tais requisitos e vontades do fabricante. Através de reuniões com os representantes do fabricante foram encontradas matérias primas que pudessem atender a demanda do projeto. Dessa fase encontrou-se as variantes de soluções para o protótipo.

Fase 3: Projeto preliminar

Analisou-se nessa fase, quais os pontos fortes e fracos das soluções encontradas, realizando-se um pequeno esboço do produto. Iniciou-se o processo de dimensionamento de componentes, pequenos ajustes técnicos, orçamentos e compra das peças que iriam fazer parte da montagem do protótipo. Montou-se o mesmo, realizaram-se as primeiras avaliações, procedendo-se a ajustes e modificações. Ao findar dessa fase realizaram-se testes e comprovações técnicas voltadas ao desempenho do protótipo quanto à sua operação.

Fase 4: Projeto detalhado

O presente trabalho não visou a execução dessa fase. Mas, esta é a parte do projeto que define todos os materiais que serão utilizados, os custos, as formas finais, as peças que realmente serão utilizadas. Portanto, aqui define-se os detalhes da operação de fabricação do produto em questão.

Assim, através da execução da referida metodologia montou-se uma estratégia de projeto com a mescla de conhecimento teórico e prático para então chegar-se aos objetivos do trabalho, que se apresenta conforme as etapas indicadas na sequência.

1.5 Estrutura do documento

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos. Esse primeiro que trata das considerações iniciais ao projeto, apresentando o contexto de pesquisa, justificativa, objetivos e a metodologia utilizada. No segundo capítulo encontra-se a revisão bibliográfica, a qual compreende trabalhos e títulos expressivos que foram utilizados na concepção deste.

No capítulo três, descreve-se o desenvolvimento do trabalho de acordo com a metodologia utilizada, iniciando-se com o esclarecimento da tarefa proposta, seguindo-se pela concepção de soluções e, por fim, o anteprojeto onde apresentam-se os orçamentos, montagens e testes. No capítulo quatro expõe-se a discussão dos testes realizados iniciando-se com o resultado obtido no uso de metodologia de projeto, e, na sequência, com os testes realizados no protótipo - vazão dos insumos, sementes e, por fim, um experimento que comprova a boa cobertura da semente utilizada. Encerrando-se, o capítulo 5 mostra as conclusões, considerações finais da pesquisa e apresenta, também, sugestões para futuros trabalhos, além da contribuição que o trabalho representou no contexto científico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas as informações referentes ao estudo teórico. Essas abrangem quais são os pontos cruciais para o desenvolvimento da máquina, iniciando pela fundamentação teórica dos métodos de projeto, conceitos pertinentes da agricultura de precisão, apresentação do modelo a ser estudado para a aplicação dos conceitos metodológicos e a contextualização dos sistemas automáticos. Esses são os pontos principais utilizados no desenvolvimento do trabalho prático, favorecendo o entendimento geral do assunto e a elucidação dos capítulos seguintes.

2.1 Projeto e desenvolvimento de produtos

Analisando-se a evolução humana nota-se que o processo de busca de soluções atende a necessidades anteriores a ela, assim como, as primeiras ferramentas e objetos construídos ou manipulados pelo ser humano buscavam a realização de um objetivo ou atendimento a uma necessidade que antes era dificultosa de alguma maneira. Um exemplo simples é a invenção do arco e a flecha, esses representam uma notável vantagem na caça, que muda a característica de ser indefeso para a supremacia do mesmo em seu ambiente. O resultado é que com melhores instrumentos, melhores são os resultados e conseqüentemente será melhor a qualidade de vida de um modo geral (ROMEIRO FILHO et al., 2010).

Percebe-se, então, ainda de acordo com tais autores, que a arte da produção, da criação e desenvolvimento de produtos não é recente. Mas foi a revolução industrial que trouxe uma evolução grandiosa à produção, com o surgimento de grandes fábricas e o maior cuidado na padronização de seus produtos. Outro marco estabeleceu-se a partir da segunda metade do século XX, quando se deu início a uma nova fase de processos tecnológicos e com esses uma gama de novos produtos e serviços.

Nesse contexto, desenvolver e projetar novos produtos são atividades importantes e arriscadas. Existem fatores que definem se um produto será um fracasso ou um sucesso. Para tal, existem estudos dirigidos a milhares de produtos “exemplos” para então, definir tais

fatores que podem ilustrar o resultado do processo (BAXTER, 2011). Dentre tais fatores encontra-se o projeto de dado produto.

Projetar é uma atividade que produz uma descrição de algo que ainda não foi concebido, mas que a partir da documentação, desenhos e esclarecimento das tarefas, permite viabilizar a construção de um produto (ROMEIRO FILHO et al., 2010). Pode-se dizer, ainda, que um projeto é como um empreendimento com começo, meio e fim bem definidos, seguindo a orientação de um plano estratégico que tem por objetivo criar uma solução, produto ou serviço exclusivo (ROZENFELD et al., 2006).

Na criação de um produto é essencial a organização do trabalho de projeto de forma simples, eficaz e fluente, o que é proporcionado por procedimentos metódicos. E isso acarreta na segurança de que não haja situações em que, ao final do desenvolvimento de um produto, seja necessário retornar às etapas iniciais. Tal condição agregaria custos e modificações ao projeto, de modo a formar uma malha de alterações. Da mesma forma, a utilização de etapas de trabalho e de decisão asseguram que exista subsistência da relação entre objetivos, planejamento, execução e controle (PAHL et al., 2013; BARBOSA et al., 2015) durante todo o processo de desenvolvimento de um produto.

2.1.1 O processo de desenvolvimento de um produto

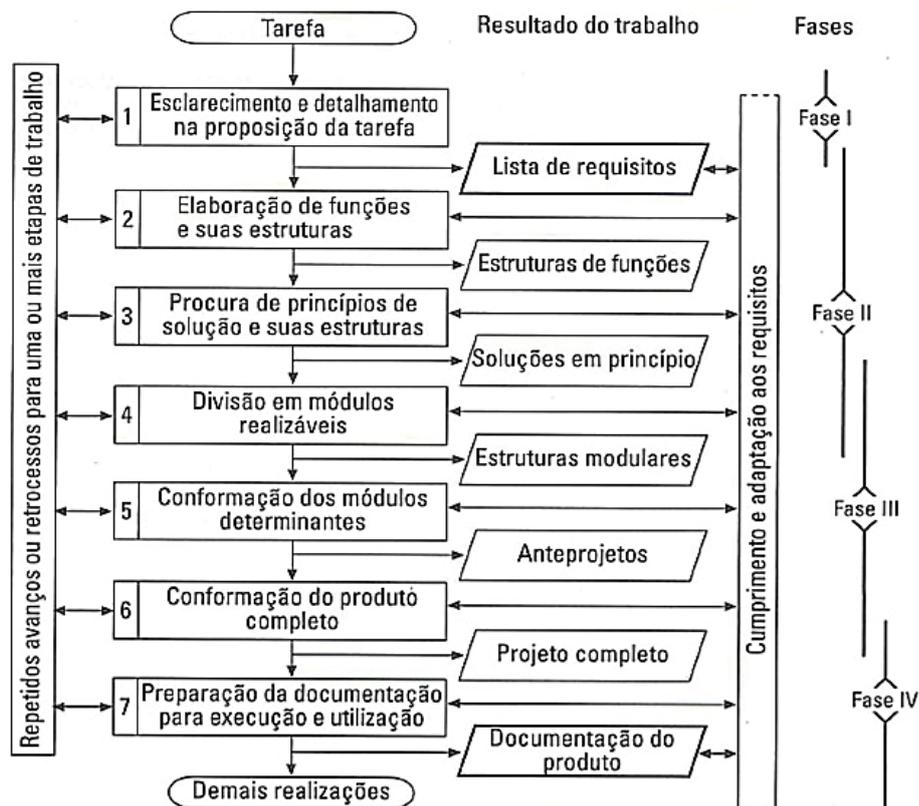
Quando existe a possibilidade de um novo projeto, um novo produto, o sucesso será alcançado quando o mesmo é vendido aos seus consumidores de modo que os custos de projeto, produção e comercialização sejam cobertos e que exista um lucro suficiente para remunerar o capital investido pela empresa. No entanto, esse sucesso não é simples, qualquer falha pode comprometer esses ápices. Marketing bem realizado, especificações que são elaboradas antes do início do desenvolvimento e qualidade no desenvolvimento, impulsionam a meta de sucesso de um produto (BAXTER, 2011).

Do mesmo modo o método de projeto e desenvolvimento de um produto faz-se fundamental à sua qualidade. Nessa direção, os tópicos que seguem fazem referência ao método escolhido para a execução deste trabalho, e são descritos de acordo com Pahl et al. (2013), mostrando-se, à Figura 1, as fases que os autores formataram para o desenvolvimento de um produto.

Em função da importância que assumem neste estudo, será na sequência descrita cada uma das quatro fases, ou seja: fase 1, Planejamento, especificação e esclarecimento metódico;

fase 2, Concepção; fase 3, Anteprojeto; e, por fim, fase 4, Detalhamento.

Figura 1: Quatro fases do desenvolvimento de um produto segundo Pahl et al. (2013)



Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2013).

2.1.1.1 Planejamento, especificação e esclarecimento metódico

Normalmente um projeto é baseado em um estudo anterior feito pelas áreas de marketing, suporte, pesquisa, planejamento estratégico, entre outras. Ele pode se dar em função de pedido de um cliente, ou da necessidade de aperfeiçoamento ou desenvolvimento de produtos. O planejamento, assim, tem início quando um projeto específico é finalmente iniciado, e isso implica em uma previsão no portfólio de produtos, com a apresentação feita, principalmente, a quem irá comandar o projeto e aos projetistas encarregados (ROZENFELD et al., 2006; PAHL et al., 2013).

Para se gerar uma lista de requisitos podem-se seguir etapas. Essas podem ser divididas em dois estágios, um onde se prioriza os requisitos óbvios ao projeto, o outro é um complemento a esses, com o detalhamento ou melhoramento dos mesmos. Segundo Pahl et al. (2013), para se montar uma lista de requisitos deve-se ter alguns cuidados quanto ao conteúdo. Os objetivos e as condicionantes a serem satisfeitas têm de estar claros e destacados. Dessa forma, podem-se separar os requisitos em desejos e necessidades. Onde:

a) Necessidades são os requisitos imprescindíveis, os que precisam ser satisfeitos de alguma forma, se um desses faltar, o produto não fica completo e não pode seguir para a produção;

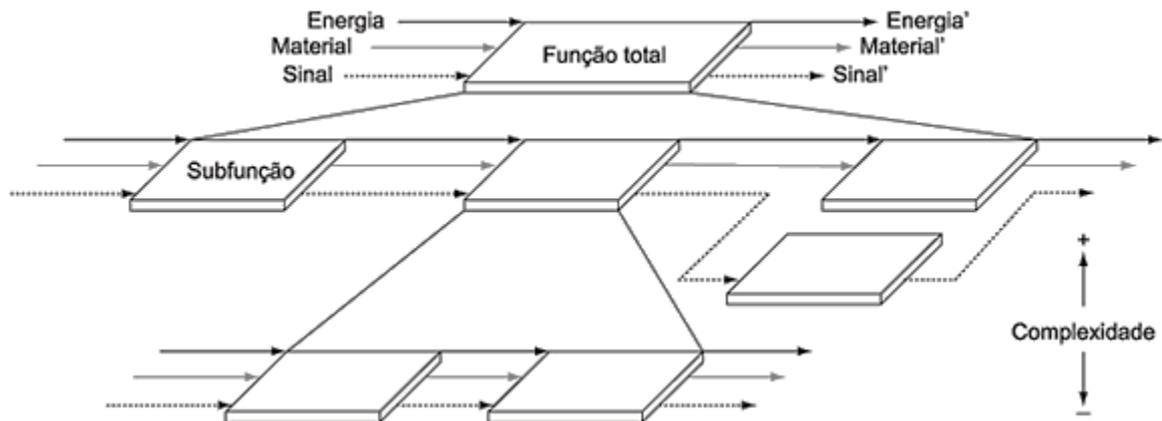
b) Desejos são considerados na medida do possível, mas esses não irão limitar o funcionamento ou uso do produto, a execução dos mesmos acarreta em um trabalho adicional, mas o resultado pode ser satisfatório.

Para complementar e ampliar os requisitos pode-se seguir duas técnicas principais: a linha mestra e a técnica do cenário. Neste trabalho será abordada a técnica da linha mestra somente. O trabalho segundo uma linha mestra é realizado através de uma lista das características principais que o produto deve conter. Parte-se de pontos concretos da presente tarefa e, então, se procuram requisitos a esses pontos. Depois de criada e formalizada a lista de requisitos, pode-se, então, partir para o próximo passo, a concepção (PAHL et al., 2013).

2.1.1.2 Concepção

A concepção é a parte do projeto que, após o esclarecimento da tarefa e a formulação da lista de requisitos, conduz-se a estruturação das funções e procura encontrar uma solução preliminar. É importante e imprescindível que nessa fase a tarefa esteja definitivamente esclarecida. Ela também é responsável pelo sucesso das etapas seguintes, que direta ou indiretamente são dependentes das anteriores. As etapas da fase de concepção são apresentadas na Figura 2.

De acordo com a Figura 2 observa-se que a fase de concepção se inicia com a abstração dos principais problemas, que tem como objetivo conhecer o geral e o principal, desligando-se de vícios e procurando encontrar novas soluções. Elabora-se, então, uma estrutura de funções. Dessa surge a chamada função global que pode ser indicada quando o núcleo da tarefa estiver formulado. Esse, por sua vez, irá apontar, utilizando-se de um



Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2013).

Na Figura 3 estão os tipos de entrada e saída principais, como referência tem-se a conversão de energia, material e sinal. Quando em projetos adaptativos os elementos específicos já são conhecidos, isso implica no fato de que a estrutura de funções pode ser construída a partir do que se pretende continuar ou aprimorar.

Busca-se, nessa etapa, além dos elementos específicos, os princípios de funcionamento, os fenômenos físicos, as características geométricas e, também, os materiais mais adequados à solução, esses serão combinados à estrutura de funcionamento que, se materializando, torna a solução básica identificável.

Nessa etapa devem ser conduzidas, ainda, as diversas variantes da solução. Uma maneira de se encontrar soluções quando existem várias subfunções é a criação de uma tabela classificatória, na qual se associam as funções a possíveis soluções encontradas. A Figura 4 exemplifica esse esquema - mais conhecido como matriz morfológica, onde, neste caso a matriz aborda aspectos específicos a uma das subfunções da criação de um produto.

Figura 4: Exemplo de uma matriz morfológica para um projeto de embalagens

| | | Ergonomia e Estética | | | | | | |
|---|---|----------------------|-----|-----------|-------|---------|----------|------------------|
| | | Forma | Cor | Proporção | Cores | Público | Grafismo | Particularidades |
| S U B F U N Ç Ã O | A | 1 | | | | | | |
| | R | 2 | | | | | | |
| | I | 3 | | | | | | |

Fonte: Adaptado de Stein e Fiod Neto (1997).

A matriz auxilia para que o projeto seja direcionado desde a fase conceitual para o objetivo específico do projeto (STEIN; FIOD NETO, 1997). Ao montar essa matriz

morfológica encontram-se várias soluções que podem ser combinadas com outras e, por fim, cria-se um montante de uma variante de solução (PAHL et al., 2013).

Selecionam-se as melhores soluções através da avaliação das variantes básicas da solução, onde observam-se critérios cuja base é a lista de requisitos. Enfim, uma variante de solução é encontrada ou, ainda, mais de uma, e isso acarreta na liberação para a fase posterior (PAHL et al., 2013), o anteprojeto.

2.1.1.3 Anteprojeto

O anteprojeto é a fase do processo que parte de uma solução básica para se construir, de maneira clara e completa, a estrutura de um produto, segundo critérios técnicos e econômicos. O resultado dessa etapa é a definição da configuração da solução (PAHL et al., 2013).

Nessa fase a solução básica será analisada para a escolha de materiais e dos processos de manufatura, definição de suas dimensões, compatibilidade espacial, entre outros. Nessa etapa, também se montam os protótipos ou representações em escala para que sejam feitas avaliações e testes que poderão definir se o produto está apto a seguir o seu processo. Tais avaliações podem demandar que sejam construídos vários protótipos e vários tipos de testes, para que se tenha o melhor resultado possível (PAHL et al., 2013).

Na fase de anteprojeto podem ocorrer muitas etapas corretivas devido aos testes aplicados à solução. Além disso, existem etapas criativas, da mesma forma que ocorre na etapa de concepção, aprimorando a busca de solução, seleção, avaliação, otimização e identificação de falhas. Nessa fase busca-se, também, a aquisição de informações importantes sobre os materiais, os processos de produção, detalhes, peças e normas, o que exige um esforço considerável dos projetistas. É no momento do anteprojeto que se muda do enfoque qualitativo para o quantitativo, do abstrato para o concreto ou de uma configuração preliminar para uma detalhada. A Figura 5 ilustra como pode ser desenvolvido o anteprojeto e suas principais etapas de trabalho (PAHL et al., 2013).

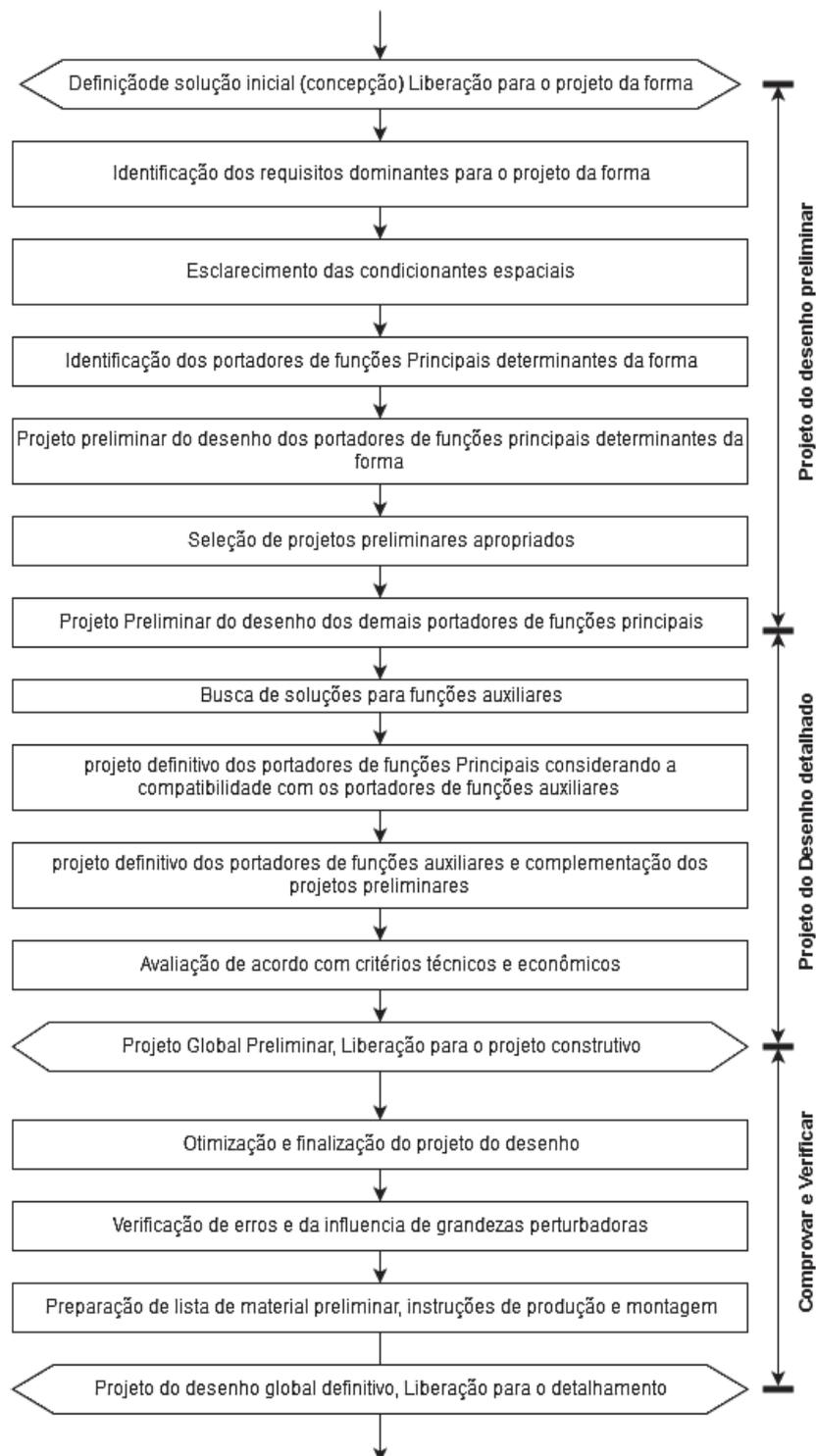
Observa-se, assim, que na Figura 5 estão descritas as principais etapas do anteprojeto, que se inicia, basicamente, pela elaboração dos requisitos que determinam as dimensões, como potência, vazão, entre outros, ainda, pela determinação dos requisitos categóricos do arranjo, como direção de fluxo, e, por fim, dos requisitos determinantes dos materiais, como o tipo de material usado. Na sequência, esclarecem-se as condições espaciais limitantes do

projeto. Após, esboça-se a configuração da estrutura do produto e das escolhas de material e, então, define-se o formato dos volumes sem levar em conta detalhes menos importantes (PAHL et al., 2013).

Tais ações podem ser feitas para todas as soluções básicas encontradas e, então, nesse ponto deve-se selecionar qual o anteprojeto a se seguir através de uma avaliação das variantes de solução. Após a referida escolha, procura-se completar, mesmo que de forma grosseira, as funções que ainda não foram examinadas. Isso, de modo a verificar e escolher as funções auxiliares necessárias. Por conseguinte, detalha-se a função principal através de normas, cálculos, entre outros, pormenorizando, também, as suas funções auxiliares.

Desse ponto em diante pode-se avaliar o anteprojeto de forma técnica e econômica, onde julga-se o projeto de acordo com os requisitos, com o objetivo principal de identificar e corrigir eventuais pontos fracos que, se detectados, levam à formulação de uma proposta de melhoria. Na sequência define-se o projeto básico global preliminar, otimiza-se e configura-se em definitivo o anteprojeto e, por fim, conclui-se o projeto básico com a elaboração da lista de peças, bem como instruções preliminares para a produção e montagem. A partir desse momento o projeto já está liberado para o detalhamento (PAHL et al., 2013).

Figura 5: Etapas de trabalho do anteprojeto



Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2013).

2.1.1.4 Detalhamento

O detalhamento é a parte do projeto que completa a estrutura de construção de um projeto, seja por meio de prescrições definitivas para o formato, por seu dimensionamento e

acabamento superficial, por meio da especificação dos materiais necessários, pela revisão das possibilidades de produção e utilização, bem como, por meio da revisão da produção e dos custos finais. O resultado dessa fase do projeto é a definição de produção da solução, incluindo toda a documentação necessária para o funcionamento e montagem do produto. Em suma, a fase de detalhamento consiste na finalização do projeto (PAHL et al., 2013).

A principal função do detalhamento é a preparação da documentação para a produção, incluindo desenhos dos componentes e conjuntos, com uma lista de peças completa. Nessa preparação o auxílio de ferramentas gráficas é pertinente, pois melhora e agiliza o entendimento e a visualização de partes importantes. Isso auxilia na preparação para a produção devido já haver um banco de dados para o uso na industrialização do produto como, por exemplo, medidas e formas para uma máquina de comando numérico (PAHL et al., 2013). Essa fase não será contemplada no presente trabalho, fato pelo qual não será aqui aprofundada.

2.2 Agricultura de precisão

Surgida em meados da década de 80, quando criou-se o primeiro mapa de produtividade na Europa e a primeira adubação com doses variadas nos Estados Unidos, a agricultura de precisão chegou para otimizar a produção agrícola, com a gestão de cultivos e a maximização da produção com menor uso de insumos. Tudo isso, em resposta à escassez de recursos naturais e em compromisso com a sustentabilidade e segurança alimentar populacional. No Brasil, chegou em meados da década de 90, quando as primeiras colhedoras foram importadas com monitores de produtividade. Essas, utilizando do Sistema de Posicionamento Global (GPS) representam o primeiro passo para o estabelecimento da agricultura de precisão no país (MAPA, 2013; MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

A agricultura de precisão consiste em um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva que visa o aumento de retorno econômico, assim como a sustentabilidade e a redução de efeitos negativos ao meio ambiente (BERNARDI et al., 2014; MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015; MAPA, 2017). Compreende-se, assim, que a prática da agricultura deve ser sustentável. Mesmo que em pequenas porções, a terra apresenta variabilidade, diferenças no solo e no relevo, que demandam tratamentos diferenciados para cada realidade e cultura. Ao se conciliar a investigação das variabilidades, os conhecimentos agronômicos e o nível de automação dos

processos e máquinas, é possível realizar o detalhamento e o gerenciamento dos solos e da cultura (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015; MAPA, 2017).

Pode-se dizer, ainda, que a agricultura de precisão se baseia numa técnica de gerenciamento localizado de sistemas agrícolas, que utiliza de recursos como mapeamento dos fatores de produção, ferramentas de suporte à decisão e aplicação de insumos de forma localizada. A sua utilização possibilita a priorização de investimentos em áreas onde o potencial de produtividade pode ser mais efetivo, de forma a garantir economicamente maiores retornos. A sua implantação nos solos aumentou os rendimentos de forma satisfatória quando relacionados a estudos de variabilidade espacial e temporal (KNOB, 2006; ANTUNIASSI; BAIO; SHARP, 2007; MAPA, 2017).

Há uma crescente dificuldade de se encontrar mão de obra nos setores da agricultura, o que aumenta o foco e a procura sobre a mecanização, automação e sistemas de precisão. O custo de insumos também tem sofrido mudanças, o que implica em novas alternativas para que sejam supridas possíveis dificuldades econômicas e, principalmente, se evitem desperdício, visando a sustentabilidade, a eficiência e a qualidade na produtividade agrícola (LOPES; CONTINI, 2012). Assim, a agricultura de precisão visa à racionalização e a redução do uso de insumos, tendo também um retorno favorável em relação ao meio ambiente (KNOB, 2006; ANTUNIASSI; BAIO; SHARP, 2007; MAPA, 2017).

No Brasil, as soluções em agricultura de precisão focam a aplicação de fertilizantes e corretivos em taxa variável, sendo possível adotar duas estratégias. Uma relacionada ao manejo da fertilidade do solo por meio do gerenciamento da sua correção e adubação (fertilizantes, calcário e gesso) das lavouras com base nas amostragens georreferenciadas do solo. Outra, mais elaborada, considera as plantas, com sua devida produtividade, para que se reponham os nutrientes extraídos. Essa necessita da geração de mapas de produtividade e, como consequência, mais equipamentos, mais trabalho e maior domínio por parte do responsável pela lavoura. Demanda, ainda, mais tempo, mas implica em maior rentabilidade, pois considera também a variabilidade da produtividade da lavoura e não apenas os nutrientes no solo (MAPA, 2013; MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

2.2.1 Sistemas de automação na agricultura de precisão

Algumas ferramentas de agricultura de precisão, embora não ligadas diretamente à fertilidade do solo, trazem benefícios e bons resultados ao ambiente e ao agricultor de um modo geral. Nesse sentido, sistemas de automação de máquinas e equipamentos não são precisamente dispositivos de agricultura de precisão, devido a não realizar o manejo sítio-específico das lavouras. No entanto, podem facilitar a rotina de trabalho e aumentar a eficiência operacional de uma fazenda, por exemplo (RESENDE et al., 2010).

Dentre tais sistemas encontra-se os que se referem ao posicionamento por satélite, como dispositivos de guia (barra de luz) e piloto automático, que permitem o deslocamento das máquinas de forma segura e precisa. Isso, de modo a contribuir com o rendimento operacional e a eficiência nas operações mecanizadas de semeadura, tratos culturais e colheita, como resultado da otimização do processo, economia de tempo, redução de desperdícios, entre outros (RESENDE et al., 2010). Tais benefícios, além de ganhos de produtividade e qualidade industrial, são relatados como motivadores da agricultura de precisão (SILVA; MORAES; MOLIN, 2010).

2.3 Tratamento de sementes

O tratamento de sementes é tido como uma técnica de aplicação de um ou mais defensivos agrícolas (fungicidas, herbicidas, entre outros), nutrientes (micro/macro) ou inoculantes sobre as sementes, com o objetivo realizar um controle fitossanitário, antes e após a germinação ou, ainda, antes e durante a armazenagem do grão. Assim sendo, é considerado uma medida de proteção agrícola para com a cultivar (HENNING, 2005; FRANCO et al., 2013). A técnica de tratamento de sementes visa recobrir ou revestir a semente com uma camada sólida muito fina, formada de sólidos dissolvidos ou suspensos em água. Esse revestimento funciona como uma capa que encobre a cobertura natural das sementes (LUDWIG et al., 2011).

Mesmo que haja relatos anteriores, foi em 1755 que o francês Tillet provou que as sementes de trigo poderiam transmitir cáries, e estudou a redução dessa possibilidade com o tratamento das mesmas com uma mistura de sal e cal (HENNING, 2005; MAUCH, 2014). Depois desse estudo, surgiram outros como o de Prevost, em 1807, de Jensen em 1887, de Frank em 1888 e de Hiltner em 1917. Mas foi somente em 1927 que o ramo da ciência denominado Patologia de Sementes foi internacionalmente reconhecido pela *International Seed Testing Association* (ISTA), que criou o comitê de Fitopatologia. No Brasil, o estudo de

patologias de sementes surgiu em 1977 como um novo ramo da ciência agrônômica no país (HENNING, 2005).

Nas últimas décadas, a rápida expansão de cultivares no Brasil, feita sem nenhum cuidado fitossanitário, trouxe consigo alguns patógenos que se disseminaram por todas as regiões facilmente, principalmente na soja, umas das principais cultivares do Brasil. Tal condição incentivou o estudo e o combate de patologias nas sementes (HENNING et al., 2010). Assim considerando, compreende-se que as patologias das sementes podem derivar de patógenos da própria semente, do solo onde serão semeadas e, também, da parte aérea da cultura. O resultado dessas infecções ou infestações é o apodrecimento, a morte de plântulas, a emergência desuniforme, o enraizamento deficiente ou, ainda, a redução da população de plantas. Tais consequências provocam a elevação dos custos de produção pelo maior número de aplicações de fungicidas, replantio, dentre outras ações (MAUCH, 2014; YADAV et al., 2016).

Desse modo, o estudo da patologia de sementes é muito importante, pois aproximadamente 90% das culturas são propagadas por sementes. Entre essas, nove culturas são consideradas muito importantes, são elas: soja, milho, sorgo, cevada, feijão, arroz, trigo, amendoim e beterraba açucareira. Todas podem ser afetadas por patógenos que atingem a semente. Nessa direção, usa-se o teste de sanidade das sementes, que mostra possíveis doenças ou baixas taxas de germinação que possam vir a se propagar na lavoura, o que pode fazer com que a mesma seja inutilizada ou, até mesmo, ter reduzindo valor comercial (LORINI; MORÁS; BECKEL, 2003; HENNING, 2005; FRANCO; FAGUNDES; MAGALHÃES JUNIOR, 2011; DARONCO et al., 2016).

Cada cultivar tem aspectos particulares quanto às patologias que as atingem, apresentando variados sintomas e causas. Por isso, faz-se necessária a avaliação adequada quanto ao solo e a semente utilizada. Poderiam ser citadas várias pragas e doenças que atingem em particular cada tipo de semente, mas não compete a este trabalho avaliar cada tipo de patologia existente nas cultivares.

Como uma resposta à baixa produtividade devido a tais patologias, pragas e outros, faz-se uso do tratamento de sementes. Esse atribui à planta condições de defesa e proteção contra os males que a atingem, permitindo um acréscimo de potencial para a planta quando no desenvolvimento inicial da cultura. É importante frisar que não basta um tratamento de sementes de altíssimo nível se a semente não for adequada aos atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários. Há uma dependência muito maior da semente do que do tratamento

realizado. O recobrimento apenas auxilia no desempenho da semente na lavoura (LUDWIG; BAUDET, 2011).

Assim, vários defensivos são utilizados nas culturas para o controle de pragas e doenças, sendo eles também aplicados a sementes, prática largamente utilizada com uma grande eficiência. O tratamento das sementes ocorre antes da semeadura ou antes da armazenagem (MARTINS; BOTTON; CARBONARI, 1996; CECCON et al., 2004; CASTRO et al., 2008; HENNING et al., 2010; FRANCO et al., 2013; DARONCO et al., 2016).

A prática do tratamento de sementes representa uma pequena porcentagem de custo sobre as instalações da lavoura, cerca de 0,6% (HENNING et al., 2010). O volume de grãos tratados na safra 1991/1992 não atingia 5%, em 2010 esse número chegou a 95% da área semeada do Brasil e hoje estima-se que 97% das lavouras utilizam-se da prática (HENNING et al., 2010; MAPA, 2017). Além de controlar patógenos transmitidos pelas sementes, a adoção desse tipo de técnica diminui drasticamente a operação de ressemeadura, motivo principal da queda de rentabilidade de uma lavoura. Em alguns casos há uma redução de até 20 kg de semente utilizadas por hectare devido ao uso de um tratamento adequado. A Figura 6 apresenta um teste em uma empresa do estado de Mato Grosso, onde as sementes das plantas localizadas acima na imagem receberam tratamento adequando com um certo tipo de fungicida enquanto as de baixo não foram tratadas (GOULART, 1998; HENNING et al., 2010).

Figura 6: Testes realizados com o tratamento de sementes de soja



Fonte: Adaptado de Henning et al. (2010).

O tratamento de sementes com fungicidas, inseticidas, micronutrientes e inoculantes pode ser feito de forma sequencial, com máquinas específicas de tratar sementes. Se utilizadas máquinas de grande volume, como máquinas industriais, as mesmas devem possuir tanques separados para os produtos. Isso, em função de que não foi regulamentada a mistura de agrotóxicos em tanque pela instrução Normativa 46/2002, de 24 de julho de 2002, que revoga a Portaria SDA nº. 67, de 30 de maio de 1995. O tratamento também pode ocorrer diretamente na semeadoura antes do ato de semear (HENNING et al., 2010; EMBRAPA, 2013).

O tratamento de sementes é feito através de duas formas: na forma líquida, mais conhecida como calda e na forma seca que se utiliza de pós (HENNING et al., 2010), necessitando, em ambos os casos, de equipamentos para a operação dos devidos tratamentos.

2.3.1 Equipamentos convencionais utilizados para o tratamento de sementes

A prática de se utilizar defensivos agrícolas, micronutrientes e inoculantes nas sementes é normalmente realizada por máquinas projetadas para tal função, nas Unidades de Beneficiamento de Sementes (UBS), como também, na propriedade do agricultor. As máquinas que estão disponíveis no mercado são desenvolvidas de acordo com a necessidade da mistura adequada à semente (FRANCO et al., 2013).

As máquinas de tratamento podem apresentar portes variados, dependendo da quantidade de sementes por minuto a serem tratadas, com o diferencial de possuir alta capacidade de executar de forma homogênea a aplicação da película de insumo na semente (FRANCO; FAGUNDES; MAGALHÃES JUNIOR, 2011).

Essas máquinas se diferem em algumas características, como sua capacidade de tratamento, seu sistema de dosagem que pode ser através de canecas e polias, abertura de bocal ou ainda eletrônica embarcada. Já o sistema de distribuição da calda nas sementes pode ser dividido em três principais modos: por tamboreamento, tratadoras com espirais ou pelo sistema de aspersão (*Spray System*), como apresentado na sequência. Ressalta-se que existem muitos outros tipos de sistemas para as funções de mistura, mas esses se destacam no mercado atual (LUDWIG; BAUDET, 2011).

2.3.1.1 Sistema de tratamento por tambor giratório ou betoneira

O sistema de tratamento por tambor giratório ou betoneira, normalmente, consiste de um eixo excêntrico aplicado a um tambor. Internamente a esse tambor são colocados

defletores para auxiliar a mistura dos produtos. Em betoneiras, o sistema não se difere do utilizado na construção civil. Diferentemente dos tambores que normalmente são tracionados à manivela (manualmente) o sistema de tração na betoneira se dá geralmente por motores. Assim, possuem construção simples e nele podem ser aplicados tratamentos em via seca e por calda.

O material internamente fica sendo misturado até formar uma camada homogênea de filme. Deve-se ter cuidado ao se aplicar alguns tipos de sementes a esses equipamentos, devido a danos mecânicos a elas causados. Também, deve-se seguir as recomendações do engenheiro agrônomo responsável para não haver intoxicações, super tratamentos, entre outros. A Figura 7 apresenta um tambor de tratamento de sementes manual (a) e um motorizado (betoneira) (b).

Figura 7: Tambores para tratamento de sementes onde: (a) manual e (b) motorizado.



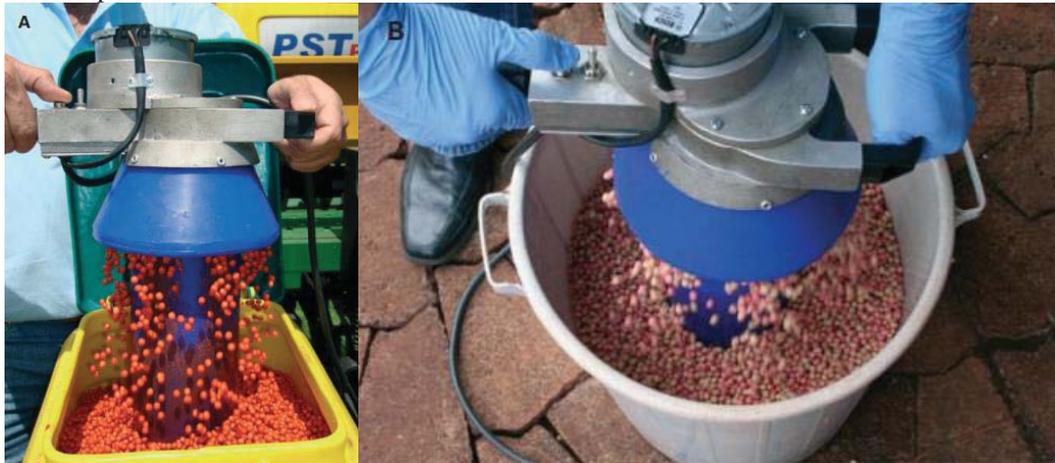
Fonte: Adaptado de Agrofior (2016) (a), Tecnomia (b).

2.3.1.2 Tratamento por roscas helicoidais e espirais misturadoras

O tratamento por roscas helicoidais e espirais misturadoras pode ocorrer de várias formas, sendo que os caracóis são utilizados em muitos tipos de máquinas. O princípio de mistura se dá pelo movimento dos helicoides ou espirais que vão levando a semente que recebeu o produto na entrada do sistema. Esse movimento vai fazendo com que as sementes recebam a camada pelicular do tratamento desde o início do helicóide até a abertura de saída da semente.

Um dos modelos existentes é o helicoidal de tratamento direto na semeadora. Esse processo retira a semente da caixa da semeadora e a eleva por meio de um helicóide (popularmente conhecido como chopim) até uma certa altura, derrubando a semente misturada novamente na caixa da semeadora. A Figura 8 mostra um exemplo desse sistema.

Figura 8: Sistema de tratamento direto na semeadora onde: a) direto na semeadora e b) em um recipiente em separado



Fonte: Adaptado de Henning et al.(2010).

Dependendo da forma como é realizado esse procedimento não há garantia de uma boa cobertura da superfície da semente, o que pode acarretar em perdas ao agricultor. Outro sistema de tratamento, mais comum no mercado, é o tratador que utiliza dos sistemas *Spray System* ou dosador de canecas. Dotado de um caracol no interior de um cilindro, cuja base recebe as sementes e insumos, na outra extremidade apresenta o bocal de ensaque. Esse tipo de máquina é o mais utilizado, e dele surgiram outros tipos de equipamentos baseados no sistema. A maioria dos fabricantes de máquinas para tratamento de sementes possuem, ao menos, um modelo desse tipo. A Figura 9 apresenta um modelo de máquina *Spray System* (MAZIERO, 2005).

Figura 9: Tratador de sementes *Spray System* com caracol homogeneizador



Fonte: Grazmec (2016).

Nesse sistema, a entrada de semente é controlada por um chapéu chinês ou por motor. A semente recebe então o caldo e é conduzida pelo caracol até o empacotamento. Porém, antes de serem ensacadas é depositado o pó secante e/ou o grafite. Nesses tratamentos é mais comum o uso da peletização (*Pellets*) que altera a massa e o tamanho da semente (LUDWIG; BAUDET, 2011).

Mesmo que essas máquinas - tambor giratório ou betoneira, roscas helicoidais e espirais misturadoras ou *Spray System* com caracol homogeneizador - proporcionem um tratamento aceitável na maioria dos casos, o resultado não condiz com o provindo de máquinas industriais (HENNING et al., 2010; FRANCO et al., 2013).

2.3.2 Máquinas de tratamento de sementes industriais

Segundo Henning et al. (2010), as máquinas projetadas para o tratamento de sementes industrial possuem algumas vantagens sobre o tratamento utilizando os sistemas convencionais, como por exemplo:

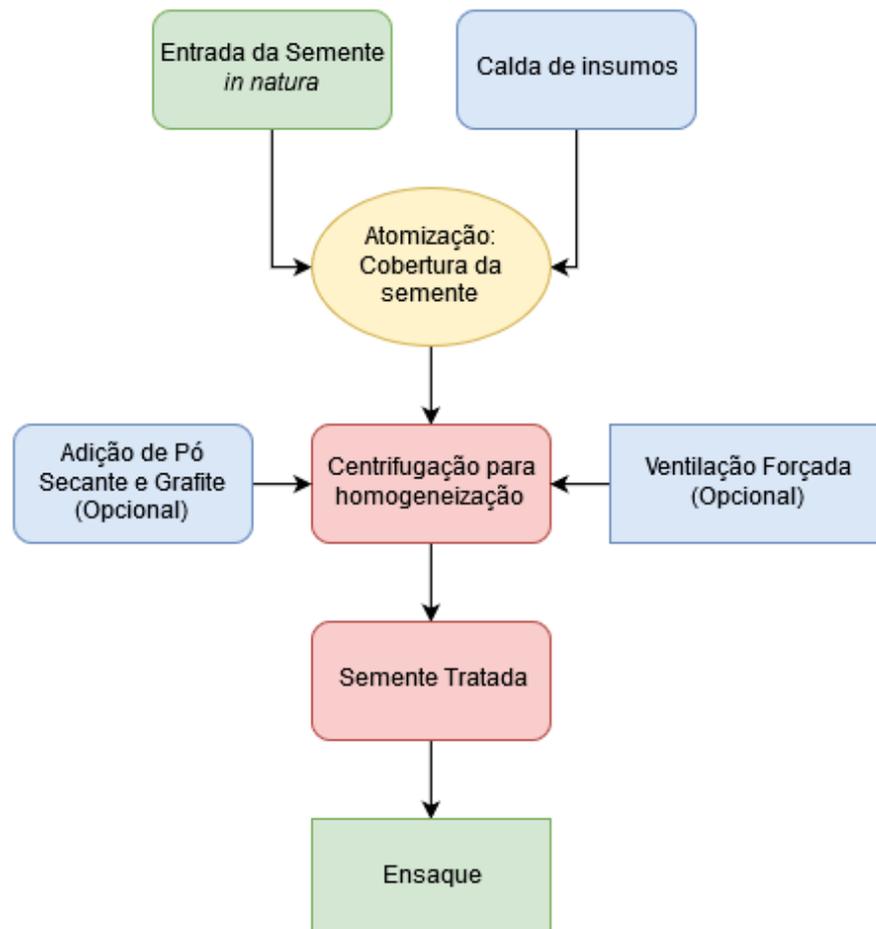
- a) diminuição de riscos de intoxicação por parte dos operadores, pois normalmente os insumos estão na forma líquida;
- b) melhor cobertura e aderência dos produtos aplicados à semente;
- c) rendimento muito maior dos tratamentos convencionais ou manuais;
- d) algumas máquinas são projetadas para produção em campo.

O grande diferencial desse tipo de tratamento é a qualidade que ele proporciona à semente tratada, isso, pois há uma grande exigência quanto à qualidade das tratadoras. Outro diferencial é o volume de sementes tratadas, muito maior do que o possibilitado pelos

sistemas convencionais. Por tais motivos, o número de cooperativas e empresas que estão oferecendo esse serviço é cada vez maior, o que impulsiona os projetos na área.

Afora esses pontos destacados, o processo de tratamento industrial não se difere totalmente dos outros processos de tratamentos, o diferencial está, especificamente, na tecnologia aplicada e no volume de grãos que podem ser tratados por unidade de tempo. Para se compreender melhor como funciona o sistema de tratamento de sementes industrial se apresenta a Figura 10 com um fluxograma resumido do sistema.

Figura 10: Fluxograma simplificado do sistema de tratamento de sementes



Fonte: Autor, 2017.

Como apresentado na Figura 10 a semente entra na máquina, por meio de um elevador, por exemplo. A semente recebe os insumos via pulverização (atomização nesse caso) cobrindo-a totalmente. Nesse processo há também o uso de polímeros que são

responsáveis pela coloração e fixação dos insumos na semente. Na sequência, a semente é levada a um sistema de homogeneização e secagem, que pode ser por meio de uma rosca centrífuga. Nesse momento há também o acréscimo, quando necessário, do pó secante (auxilia na fixação e secagem dos insumos aplicados), do grafite (proporciona melhor fluidez da semente, principalmente em equipamentos pneumáticos de plantio) e, também, da ventilação forçada. Esse último utilizado em dias de umidade alta, calda grossa, volume de calda expressivo, entre outros (BOSCHI, 2014).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) juntamente com a Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA), Departamento de Fiscalização de Insumos Agrícolas (DFIA) e Coordenação de Sementes e Mudas (CSM), manifestou-se favorável à utilização do uso industrial do tratamento de sementes para fins de comercialização, mas existem medidas que necessitam ser cumpridas por parte dos comerciantes (HENNING et al., 2010).

Dentre as normativas que regulam o tratamento industrial de sementes está a Nota Técnica (NT) CSM/DFIA/DAS 87, de 2009 (BRASIL, 2009). O artigo 95 da NT 087/2009 trata dos polímeros adicionados à semente com a função de colorir a semente tratada, obrigando o uso do corante com uma coloração diferente da original, para que se diferencie a semente tratada da natural. A Figura 11 mostra um exemplo de sementes tratadas com seus devidos polímeros e sua respectiva coloração (BOSCHI, 2014).

Figura 11: Exemplo de sementes tratadas com coloração diferenciada da natural



Fonte: Revista Campo e Negócios (2016).

2.3.2.1 Máquina de tratamento de sementes GV500i

Desenvolvida pela empresa Grazmec Indústria e Comércio Ltda., a GV500i é uma máquina de tratamento de sementes industrial para utilização em UBS, com capacidade para tratar até 500 kg/min. Possui operação manual com ajustes executados pelo operador antes do sistema entrar em funcionamento. Todo tratamento a ser executado necessita de calibração manual dos insumos a serem aplicados, onde, através de um copo de medidas graduado se calibra a quantidade de insumos a serem aspergidos. O sistema de aspersão é do tipo *Spray System* com desenvolvimento próprio da empresa. No bocal de entrada de sementes, duas comportas regulam a quantidade a ser tratada. Essa regulagem também deve ser feita pelo operador do sistema que, calibra a quantidade de sementes por hora. A Figura 12 apresenta o modelo de máquina tratadora de sementes GV500i.

Figura 12: Tratadora de sementes industrial GV500i manual



Fonte: Adaptado de Grazmec (2016).

A regulagem dos insumos deve ser feita através do quadro de comando que contém potenciômetros que ajustam a velocidade das bombas que impulsionam o insumo até o sistema de aspersão. Importante ressaltar que esse equipamento não tem qualquer sistema de controle, ou seja, se a vazão de entrada de sementes for alterada, a máquina não irá corrigir a quantidade de insumos a ser aplicada. Da mesma forma, se a velocidade das bombas não permanecer constante o sistema terá oscilações no volume de insumos aplicados à semente.

Depois de serem aspergidas, as sementes entram em um rolo homogeneizador que as faz percorrer uma certa distância para que o insumo se espalhe por toda sua superfície. Ao longo desse rolo são aplicados o pó secante ou, ainda, o grafite, cujas funções já foram explanadas. Ao terminar o percurso a semente sai em um bocal que pode ser utilizado tanto para ensaque, quanto para despejo em elevadores, moegas ou bags.

2.4 Automação de sistemas

A automação pode ser definida como a tecnologia por meio da qual um processo ou procedimento é alcançado sem a assistência humana, ou com a menor intervenção possível. É realizada através de um programa de instruções e de sistemas de controle que as executam e interpretam (GROOVER, 2014; ARVIND et al., 2016).

A utilização da automação de sistemas e/ou processos pode auxiliar no crescimento, no aumento de produção, na qualidade e na eficiência de produtos e empresas. A sua inserção e surgimento dentro das organizações trouxe consigo um elemento facilitador de produção em larga escala, com a viabilização de produtos fabricados em grande quantidade e com características idênticas, independentemente do volume e tempo de produção (CAMARGO, 2014; ARVIND et al., 2016).

Toda essa evolução veio da grande necessidade de melhoramento dos processos de produção, auxiliando em tarefas que não podem ser executadas por seres humanos, principalmente as que exigem alta precisão, grande repetitividade e ações simultâneas. Com os meios de automação, essas foram substituídas por sistemas autônomos que podem eliminar erros e perdas dentro dos sistemas, o que acarreta em ganhos em toda a estrutura financeira e administrativa de uma empresa (CAMARGO, 2014; GROOVER, 2014).

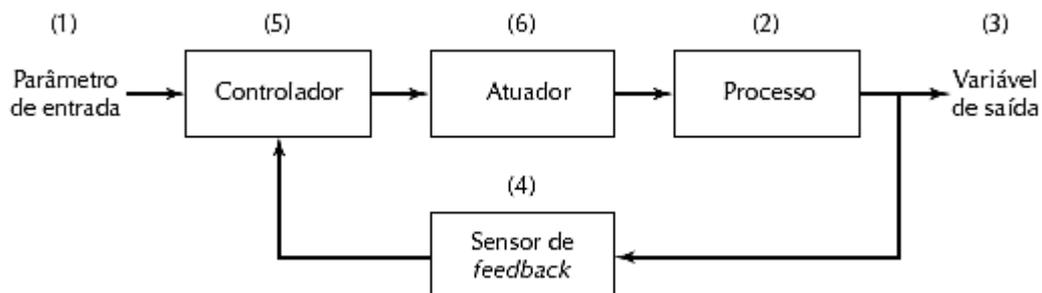
Nas automações de sistemas é comum o uso de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) que, por sua vez, utilizam linguagens de programação que são padronizados pela IEC-61131. Compõe ainda um sistema de automação, plantas de produção, máquinas, computadores, redes industriais, sistemas digitais, entre outros (THRAMBOULIDIS, 2015). Assim, um sistema dito autônomo deve conter pelo menos três elementos principais, são eles: (1) energia para o sistema operar, (2) um programa de instruções que seja adequado ao processo e (3) um sistema de controle que execute e controle as operações (GROOVER, 2014).

Através do programa de instruções é que as ações são realizadas dentro de um processo qualquer. O mesmo é projetado para responder a entradas e sinais provindos de sensores e/ou um operador do sistema. Independentemente do tipo, tamanho e tempo da produção, uma ou mais etapas de processamento de sinais são necessárias para cada função executada. O número de etapas, a sua sequência de processamento e, ainda, os parâmetros de processo que são modificados a cada execução da etapa, compõem o que se chama de ciclo de trabalho. Cada ciclo de trabalho é composto por um número de etapas que se repete, e seus parâmetros não possuem mudanças drásticas entre os mesmos (GROOVER, 2014).

Um ciclo de trabalho contém uma passagem total pelo programa de instruções, o qual também se repete, como o anterior. Muitos sistemas autômatos necessitam de tomada de decisões para que não haja grandes variações entre um ciclo de trabalho e outro. Essas podem acontecer com base na interação com o operador devido a uma interface homem máquina (IHM), por defeitos no recebimento de sinais, diferentes modelos de produto ou peças, entre outros aspectos (GROOVER, 2014).

Por fim, o elemento de controle é quem executa o programa de instruções, ele pode ser apresentado como um controle em malha fechada ou malha aberta. Sistemas em malha fechada, também são conhecidos como sistemas de controle com realimentação, são aqueles que comparam uma variável de saída com um parâmetro de entrada e a diferença entre eles é utilizada para fazer com que a saída esteja em conformidade a esta entrada. Normalmente, o sistema em malha fechada é composto pelos seguintes itens: (1) parâmetro de entrada, (2) processo, (3) variável de saída, (4) sensor de realimentação, (5) controlador e (6) atuador. A Figura 13 apresenta como esses elementos estão dispostos em uma malha fechada (FRANCHI, 2011; GROOVER, 2014; PENEDO, 2014).

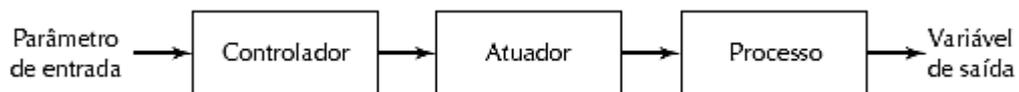
Figura 13: Disposição de um sistema de controle com realimentação (malha fechada)



Fonte: Adaptado de Groover (2014).

Por outro lado, existe o sistema de malha aberta, que opera sem realimentação, conforme apresenta a Figura 14. Nesse caso, não há medição da variável de saída para que se faça uma comparação com a variável de entrada. Com o uso desse tipo de sistema sempre há o risco de o atuador não causar efeito na saída, fazendo com que o processo não funcione de forma correta (FRANCHI, 2011; GROOVER, 2014; PENEDO, 2014).

Figura 14: Sistema em malha aberta



Fonte: Adaptado de Groover (2014).

Os sistemas de malha fechada são relativamente mais caros que os em malha aberta, mas o seu benefício é compensatório em relação a qualquer tipo de processo. O sistema em malha fechada só é funcional quando bem projetado, e nesse sentido é que uma boa escolha de sensores e atuadores se faz necessária, pois o correto funcionamento do sistema dependerá desses elementos na malha. Para tal, se faz necessário esclarecer alguns detalhes pertinentes quanto a esses elementos.

2.4.1 Sensores e atuadores

Sensores são elementos responsáveis pelo envio de informações ao controlador. São transdutores capazes de transformar grandezas físicas, como temperatura, pressão, nível, velocidade e fluxo em grandezas elétricas, normalmente, em valores de tensão ou corrente, cujo principal interesse é medir um estímulo causado pelas grandezas físicas. O processo de converter a grandeza se dá para que se possa interpretar o estímulo como um valor numérico dentro do controlador (CAMARGO, 2014; GROOVER, 2014). O Quadro 1 mostra como podem ser classificados alguns sensores e quais os tipos de estímulos ligados a eles.

Quadro 1: Tipos de sensores e categorias de estímulos

| Categoria do estímulo | Exemplo de variáveis físicas |
|------------------------------|--|
| Mecânico | Posição, velocidade, aceleração, força, torque, pressão, desgaste, tensão, massa, densidade. |
| Elétrico | Tensão elétrica, corrente, carga, resistência, condutividade, |

| | |
|-----------|--|
| | capacitância. |
| Térmico | Temperatura, calor, fluxo de calor, condutividade térmica, calor específico. |
| Radiação | Tipo de radiação (raios gama, X, luz), intensidade, comprimento da onda. |
| Magnético | Campo magnético, fluxo, condutividade, permeabilidade. |
| Químico | Identidade de componentes, concentração, níveis de pH, presença de tóxicos, poluentes. |

Fonte: Groover (2014).

Além do tipo de estímulo, os sensores também podem ser classificados pelo tipo de sinal de saída. Nesse sentido podem ser ditos como analógicos, binários ou digitais ou, ainda, como proporcionais e discretos. Um dispositivo analógico de medição produz um sinal contínuo como uma tensão elétrica, que varia conforme a muda a grandeza física, de forma que o sinal seja proporcional à grandeza. Um dispositivo dito digital produz em sua saída apenas determinados valores, que correspondem a um conjunto de bits pertencentes a uma matriz. Um sensor binário depende do tipo e amplitude do estímulo para comutar entre on/off a sua saída (GROOVER, 2014).

Atuadores são dispositivos que convertem sinais provindos do controlador em uma mudança de parâmetro físico. Um atuador também é considerado um transdutor, visto que transforma uma forma física em outra como, por exemplo, corrente elétrica em movimento rotacional (GROOVER, 2014).

É a partir do atuador que correções e execuções são efetuadas, ele é quem atua sobre o processo. Em resumo, transferem a energia para que o processo ocorra de forma correta, ou seja, os sensores enviam para o controlador informações sobre o processo. O controlador compara esse valor para saber se ele corresponde ao desejado (*set-point*), se este sinal não for o correto, havendo erro ou desvio, o controlador ativa ou corrige o atuador para que esse sinal retorne ao normal (CAMARGO, 2014).

2.4.2 IHMs e CLPs

Os controladores são os equipamentos responsáveis por manter as variáveis do processo sob controle. É função do controlador enviar sinais que anulem eventuais desvios e erros decorrentes de perturbações verificadas durante um processo (CAMARGO, 2014). Esses controladores têm grande capacidade de processamento, não realizam somente operações lógicas, mas controlam sistemas analógicos e digitais com diversas funções

implementadas para que os processos decorram de forma desejada (CAMARGO, 2014; GROOVER, 2014).

Como mencionado anteriormente, o controlador necessita de um programa de instruções, para que saiba como tomar decisões perante distúrbios durante o processo. Para isso, pode-se usar sistemas que possuam a capacidade de receber informações externas e, ao mesmo tempo, atuar sobre um processo através do programa de instruções. Usa-se, normalmente, microprocessadores, controladores lógicos programáveis, entre outros recursos. Esses, são dotados de portas de entrada e saída, onde pelas primeiras os sinais são recebidos para serem processados e pelas segundas os sinais são enviados para atuarem sobre o sistema (CAMARGO, 2014).

As IHMs, por sua vez, são sistemas normalmente utilizados em máquinas e equipamentos que estão em chão de fábrica, geralmente em ambientes agressivos. Têm construção robusta e resistente a partir da classificação de seus Índices de Proteção (IPs). São capazes de gerenciar informações e variáveis de forma considerável com configurações variadas para cada tipo de utilização. Hoje, IHMs são utilizadas em aviões, caixas eletrônicas, entre outros, como uma maneira de comunicação entre controlador e operador. Essa comunicação é muito importante, já que informações pertinentes do processo podem ser visualizadas e/ou alteradas conforme necessário (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Uma IHM é um *hardware* normalmente composto por uma tela, algumas sensíveis ao toque, com botões para navegação e configuração, e que possuem um *software* próprio para sua programação. É possível utilizar a IHM para a visualização de alarmes ou condições anormais do sistema, visualização de dados de produção, alteração de parâmetros e configurações, operação em modo manual, entre outras possibilidades. A Figura 15 apresenta um exemplo de IHM com tela sensível ao toque e com IP para que a mesma possa trabalhar em ambientes agressivos de forma satisfatória (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Figura 15: Exemplo de IHM



Fonte: Adaptado de CLP Center (2016).

Com a revisão bibliográfica executada pode-se compreender os principais tópicos que dão relevância e embasamento teórico para a continuidade do trabalho. Assim, apresenta-se na sequência a metodologia que conduziu a elaboração, organização e solução dos principais problemas do estudo, possibilitando a chegada aos resultados e o alcance de todos os objetivos propostos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os métodos utilizados para que o projeto fosse constituído. Este trabalho tem como objetivo a construção de um sistema de controle para tratamento de sementes fazendo uso de uma metodologia de projeto. Para isso, foi escolhida, devido à sua facilidade de condução do projeto e sua clareza nas etapas, a metodologia de Pahl et al. (2013) já descrita anteriormente.

Seguindo tal metodologia (conforme mostrou-se à Figura 1), este capítulo inicia apresentando o planejamento e esclarecimento da tarefa (fase 1), onde o projeto foi deliberado pela reunião de informações pertinentes. Dessa fase, apresenta-se a linha mestra do projeto e a lista de requisitos, que contém as principais funções do projeto. Na sequência, apresenta-se a Fase 2: Concepção, que aborda a fase de abstração, e após, a elaboração da estrutura de funções e subfunções do projeto, e, em sequência, explana-se a matriz morfológica e os princípios de funcionamento, bem como sua avaliação qualitativa e as variantes de solução para o projeto. Ainda, expõe-se a análise quantitativa da matriz e por meio dela o organograma de objetivos do sistema de controle.

Por fim, o capítulo metodológico apresenta a Fase 3: Anteprojeto, abordando as etapas de dimensionamento do protótipo, em específico, do acionamento e proteção dos motores dos

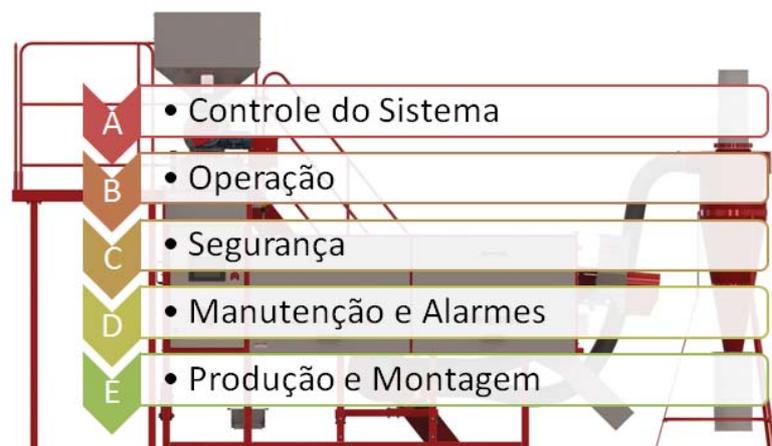
agitadores, *Spray System* e rolo homogeneizador; do sistema de controle por CLP e IHM; do acionamento e proteção para o sistema de eclusa; do sistema de proteção e acionamento do sistema de pó secante; do sistema de acionamento das bombas de insumos; da placa de controle para acionamento dos motores das bombas, inversores e sinais de controle; do *firmware* do sistema de IHM; e, por fim, do *firmware* do CLP, considerando suas entradas e saídas digitais.

3.1 Fase 1: Planejamento e esclarecimento da tarefa

Iniciando a Fase 1 da metodologia, destaca-se um dos pontos mais importantes que foram os encontros com a empresa e com os clientes. Os mesmos puderam expor suas necessidades e desejos para com a máquina que gostariam de ter em seu portfólio, contemplando o proposto na metodologia utilizada.

A empresa ao perceber que a demanda do mercado de máquinas industriais estava crescendo e que a utilização de sistemas automáticos melhorava o processo, propôs a ideia deste projeto e para tal definiu-se uma linha mestra, parte inicial do processo de desenvolvimento de produtos. Essa linha mestra foi estipulada para atender condicionantes essenciais, além de considerar pontos indispensáveis ao produto pela engenharia responsável pelo projeto. Foi utilizando a linha mestra que se criou a lista de requisitos e através do seu uso que se cumpriram os objetivos do projeto. A Figura 16 apresenta a linha mestra utilizada.

Figura 16: Linha mestra do projeto desenvolvido



Fonte: Autor.

A linha mestra foi estipulada segundo o intuito das funções que o produto deve conter. Iniciando pelo controle do sistema, que tem relação com uma das funções principais que o produto deverá conter, o controle das variáveis de interesse. A operação, que é relativo ao que o operador poderá manipular no equipamento. Segurança, item imprescindível para qualquer produto. Itens relativos à manutenção e alarmes que devem estar no equipamento para proteção do mesmo e do operador. A linha mestra evidenciou, ainda, características específicas de montagem e produção que podem facilitar e reduzir o tempo do produto em fabricação.

Da linha mestra, da revisão bibliográfica e dos encontros com a engenharia e clientes, foram extraídas as informações pertinentes para a criação da lista de requisitos, composta pelas exigências (o que a máquina necessita ter para o bom funcionamento) e desejos (outras partes não essenciais, mas que podem auxiliar ou melhorar a aparência ou funcionamento do equipamento). A elaboração da lista de requisitos, como se apresenta no Quadro 2, serve como parâmetro para o desenvolvimento do projeto.

Quadro 2: Lista de requisitos propostos para o projeto

| Linha Mestra Automação | E/D | Lista de Requisitos | versão: 3 |
|-----------------------------|-----|--|--|
| | | | Pag: 1 |
| CONTROLE | E | Controlar a entrada de Grãos para tratamento | Engenheiro Eletricista E Engenheiro Mecânico |
| | E | Controlar o Volume de insumo a ser pulverizado nas sementes | |
| | E | Monitorar o volume dos tanques | |
| | E | Controlar os Agitadores (ON/OFF) | |
| | E | Controlar a quantidade de Pó secante colocado | |
| OPERAÇÃO | E | Possuir Interface Homem Máquina | Engenheiro Eletricista |
| | D | Possuir uma tela maior que 7" | |
| | D | Tela Sensível ao toque | |
| | E | Possuir telas de operação, programação de receitas, manutenção, limpeza e gestão | |
| | E | Possuir sistema de alarmes para falta de insumo, grão, limpeza e etc. | |
| | E | Possibilitar a calibração do peso/passo pelo operador | |
| | E | Possuir tela de programação de Receitas | |
| | D | Possibilidade de nomear produto e insumos | |
| | D | Possibilitar a programação de até 10 receitas | |
| | E | Tela de Programação com informações sobre o processo | |
| | E | Gravação dos alarmes ativos e histórico via USB (PEN DRIVE) | |
| | E | Envio de informações de produção via USB (PEN DRIVE) | |
| | E | Possuir níveis de acesso a informações e calibragens | |
| Segurança | E | Utilizar tensões regulamentadas pela NR-12 - 24Vcc | Engenheiro Eletricista |
| | E | Aterramento para o sistema | |
| | D | Possuir Tomada de segurança para Conexão de força | |
| Manutenção e Alarmes | E | Tela de manutenção com testes para os tanques e partes eletromecânicas | Engenheiro Eletricista |
| | E | Tela de alarmes ativos | |
| | D | Pop-up de alarmes ativos | |
| | E | Histórico de alarmes | |
| Produção e Montagem | E | Possuir Quadro de Comando e Acionamento com estrutura pré-montada | Engenheiro Eletricista |
| | D | Possuir cabos e conectores de fácil utilização | |

Fonte: Autor.

Do Quadro 2 desdobram-se os seguintes requisitos:

a) Controle:

a.1) se faz necessário o controle de entrada de grãos no sistema, isso para que não haja diferenças entre a semente e o insumo. Se a quantidade de sementes for desproporcional à quantidade de insumos esta poderá ser muito tratada ou apresentar deficiência de tratamento;

a.2) monitorar o nível dos tanques é muito importante no processo, já que se esses forem esvaziados não haverá líquido para ser aspergido nas sementes. Para que a calda fique sempre homogênea e seja melhor aproveitada na semente utilizam-se de agitadores nos tanques e seu controle mesmo que on/off se faz necessário;

a.3) o controle do pó secante é essencial para que a umidade contida na semente seja reduzida ao máximo.

b) Operação:

b.1) uma IHM se faz necessária para que informações sejam trocadas entre o operador e a máquina, assim como entre programador ou técnico de manutenção para com a máquina. Assim, é desejável que esta IHM seja de um tamanho maior ou igual a 7” e que a mesma possua tecnologia de tela sensível ao toque e, ainda, telas que possibilitem o uso e a ergonomia, com funções características ao processo.

c) Segurança:

c.1) deve-se obedecer às normas vigentes para que o sistema opere em segurança.

d) Manutenção e alarmes:

d.1) possuir a possibilidade de realizar manutenção e averiguação de defeitos através do sistema.

e) Produção e montagem:

e.1) procura-se realizar a montagem de forma eficiente e facilitada.

A lista de requisitos foi o principal objetivo da primeira fase da metodologia proposta, através dela é que se pode dar continuidade ao desenvolvimento metodológico do produto.

3.2 Fase 2: Concepção

Finalizada a primeira fase foi executada a abstração dos problemas e após se elaborou uma estrutura de funções para, então, conceber as soluções de funcionamento. Isso, procurando-se sempre utilizar da abstração para determinar a função global e, posteriormente, as soluções da melhor forma possível.

3.2.1 Abstração

Para que o projeto não seja conduzido automaticamente seguindo ideias já fixas e convencionais, usou-se uma técnica de abstração para se encontrar o principal problema, isso de forma neutra quanto à solução. Essa técnica foi executada por meio de cinco passos, sendo eles:

1º: suprimir as vontades mentalmente;

2º: somente considerar requisitos que afetam as funções principais;

3º: converter dados quantitativos em qualitativos;

4º: ampliar esses dados de forma adequada;

5º: formular o problema de forma neutra.

Desses obteve-se como resultado os seguintes itens:

a) 1º, 2º e 3º passos:

a.1) controlar a entrada de grãos;

a.2) controlar o volume de insumos;

a.3) controlar a quantidade de pó e grafite;

a.4) Possuir uma IHM.

b) 4º e 5º passos:

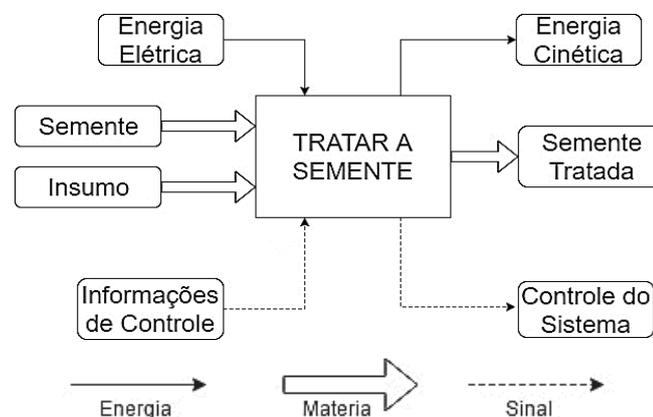
b.1) controlar a entrada de grãos, aplicação de insumos e pós, com o auxílio de IHM.

Do resultado desta abstração é que se possibilita a elaboração da função Global. Desta forma, a técnica da abstração torna-se ferramenta importante para a continuação da aplicação metodológica.

3.2.2 Elaboração da estrutura de funções

Com o problema elaborado, focou-se no estabelecimento da função global, apresentada na Figura 17 e, após, desdobrou-se a função com a criação de subfunções que executam parte do processo. A função global surge da problemática que foi aperfeiçoada com o uso da técnica da abstração.

Figura 17: Função Global do projeto proposto

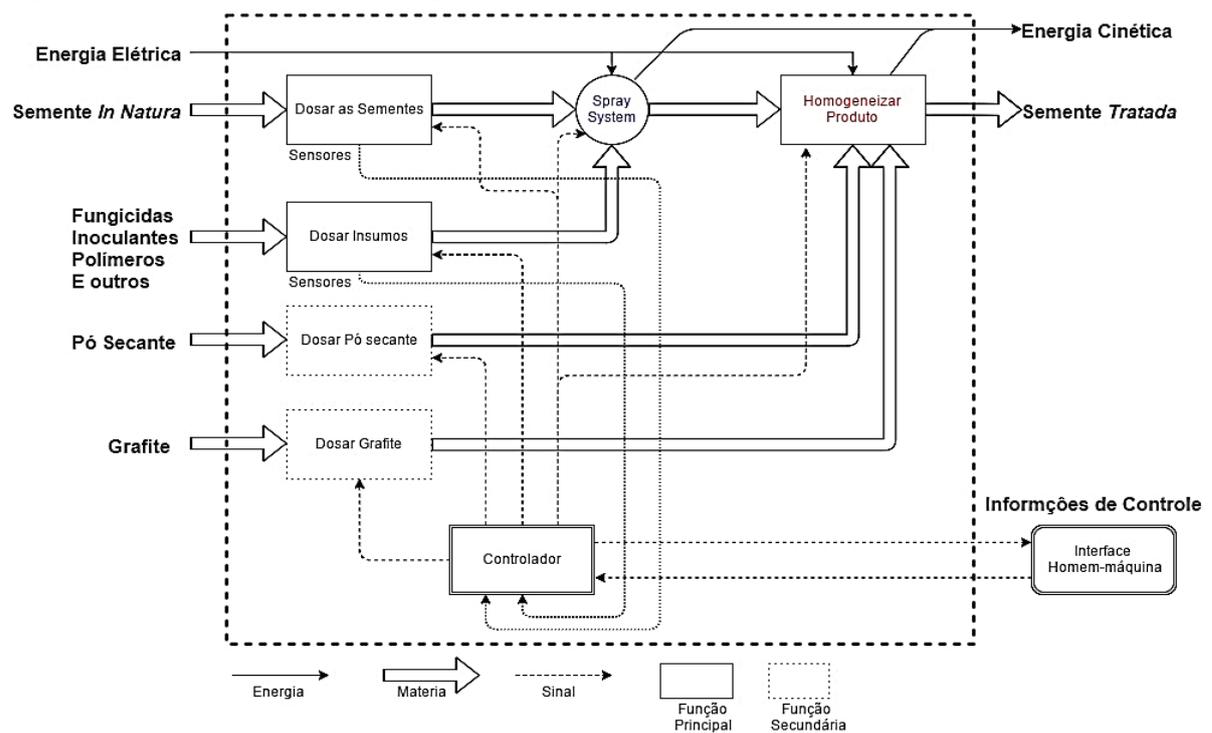


Fonte: Autor.

A elaboração da função global tem como objetivo apresentar as entradas e saídas do sistema, com relação a conversão de energia, material e sinal. Dando continuidade à concepção desdobrou-se a mesma em subfunções que apresentam menor complexibilidade e que formam a estrutura da função. Ao se formular tais subfunções o objetivo foi o de simplificar e facilitar a sistemática da solução. Ressalta-se que nas estruturas aqui apresentadas o sistema de homogeneização e o sistema *Spray System* não são contemplados pelo projeto. Esses foram projetados anteriormente e estão apenas sendo utilizados neste trabalho.

No estabelecimento das subfunções, que são apresentadas na Figura 18, o objetivo é apresentar as subfunções primárias, que estão diretamente ligadas à função global e, também, as subfunções secundárias, que complementam o sistema principal.

Figura 18: Subfunções relacionadas ao projeto



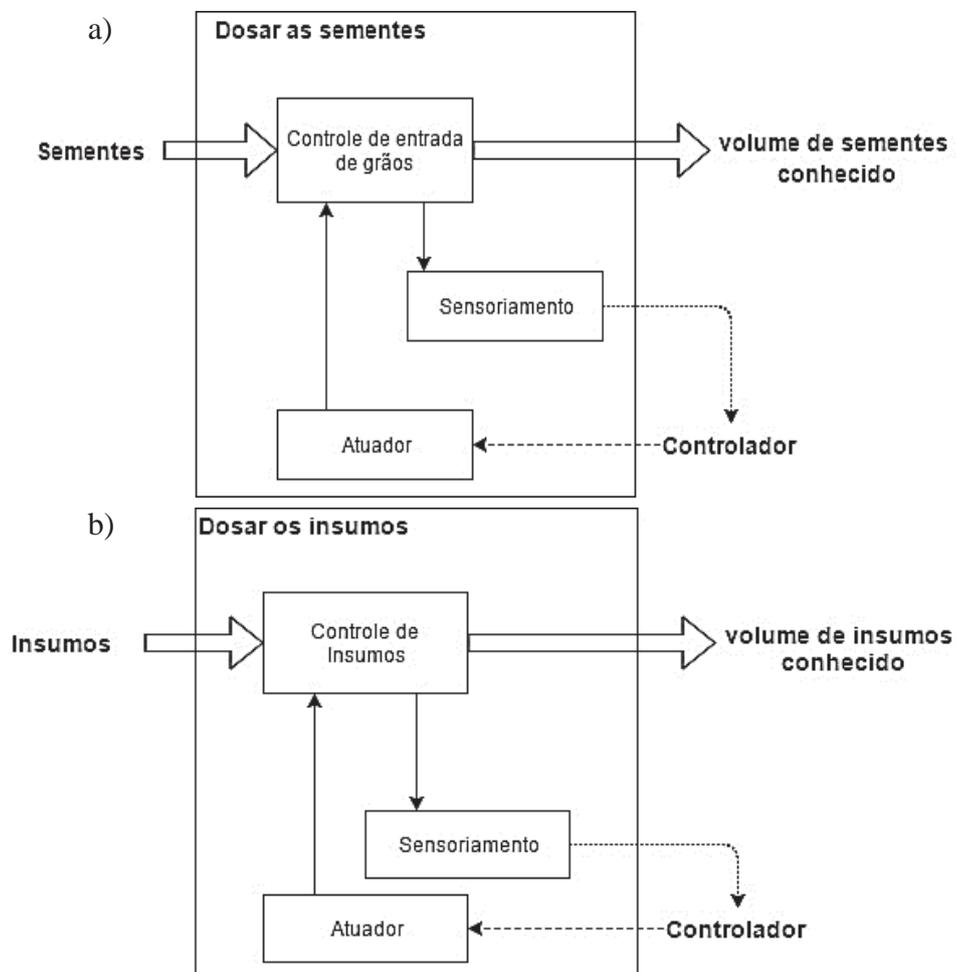
Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 18, as funções secundárias podem ser utilizadas conforme a necessidade, enquanto as funções principais são indispensáveis para o funcionamento do produto. Como já apresentado na lista de requisitos (Quadro 2), ocorre a necessidade do controle de sementes e insumos aplicados, que, por sua vez, terão de ser monitorados e atuados, para que o controle funcione de forma correta.

Conclui-se, ainda se analisando a Figura 18, que a dosagem de sementes e de insumo são classificadas como funções primárias do sistema, pois tem importância maior quanto ao processo. Já a dosagem de pó secante e grafite são consideradas funções secundárias, visto que serão realizadas em malha aberta, essas podem ser utilizadas dependendo da ocasião.

Para que haja um melhor entendimento referente às subfunções principais apresentadas na Figura 18 (dosar sementes e dosar insumos) foi estipulado o desdobramento dessas subfunções. Como resultado apresenta-se a Figura 19 que dispõe a estrutura das mesmas em relação às funções principais.

Figura 19: Subfunção dosar as sementes (a) e subfunção dosar insumos (b) com suas respectivas características



Fonte: Autor.

A Figura 19 representa como o sistema de dosagem de sementes e a dosagem de insumos deve realizar a leitura das variáveis e como irá atuar no processo, nesse caso, com sensoriamento e atuador, respectivamente. Isso também permite uma melhor visualização para a criação de soluções a estas subfunções.

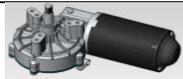
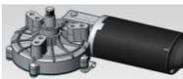
3.2.3 Matriz morfológica e princípios de funcionamento

Para as subfunções desenvolvidas foram, então, criadas soluções e/ou princípios de funcionamento que posteriormente poderão ser utilizados no funcionamento e projeto do equipamento. Cada princípio de funcionamento obtido deve atender às características demandadas pela função, considerando que ter ao menos três variantes, auxilia em uma análise mais qualitativa e quantitativa dos princípios de solução.

Assim, criou-se a matriz morfológica considerando-se algumas modificações para o projeto. Uma delas foi o uso de bombas como atuadores para os insumos, que utilizam de caldas líquidas. Como já mencionado, quando o bombeamento deve ser realizado de forma eficiente e com alta precisão, podem ser usados dois tipos principais: as bombas de engrenagem e as bombas peristálticas. Neste trabalho, optou-se pelo uso de bombas peristálticas, o que simplifica a procura de soluções, sendo necessário apenas a forma de atuação que a mesma irá utilizar. Da mesma forma, a dosagem do pó secante e/ou grafite foi estipulada como um sistema de distribuição por caracol e para tal se fez necessária a escolha de um propulsor para o sistema.

Com essas relevâncias consideradas no projeto procurou-se por soluções para as subfunções e, assim, apresenta-se a Quadro 3 que figura a matriz morfológica.

Quadro 3: Matriz morfológica do projeto.

| Subfunção | SOLUÇÕES | | | |
|--------------------------------|--|---|--|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Dosar Pó Secante e/ou Grafite |  Motor CC |  Motor de Passo |  Motor de indução | |
| Controlador |  CLP |  Microcontrolador PIC |  Microcontrolador ARM |  Microcontrolador Arduino |
| Interface Homem Máquina |  Display LCD |  Monitor |  IHM WEG | |
| Dosar Insumos - atuador |  Motor CC |  Motor de Passo |  Motor de indução | |
| Dosar Insumos - Sensoreamento |  Sensor reed switch |  Sensor Hall |  Sensor Indutivo |  Encoder |
| Dosar Sementes - Atuador |  Comporta pneumática |  Chapéu Chinês |  Eclusa | |
| Dosar Sementes - Sensoreamento |  Sensor reed switch |  Sensor Hall |  Sensor Indutivo |  Encoder |

Fonte: Autor.

Da matriz morfológica (Quadro 3) compreende-se que:

a) para a dosagem de pó secante e grafite, que deverá ser com algum tipo de rosca dosadora e realizado em malha aberta, encontram-se as três soluções de acionamento, sendo o primeiro um motor de corrente contínua (CC), o segundo um motor de passo e por último um motor de indução trifásico. Todos eles podem ter sua velocidade controlada a partir de outros periféricos;

b) para o controlador foram encontradas quatro opções, sendo elas um CLP, microcontroladores das famílias PIC[®], ARM[®] e Arduino[®]. Todos eles possuem capacidade de controle, saídas e entradas para leitura e atuação, analógicas ou digitais;

c) na IHM encontraram-se três principais soluções, sendo a primeira o display de cristal líquido (LCD) colorido, muito usados hoje em projetos com microcontroladores, monitor de computadores e IHM, nome dado a telas industriais com *software* próprio. Todas as soluções podem ter a opção de uso de *touch screen* para auxílio no projeto;

d) como a dosagem de insumos se dará com bombas, apenas a procura do tipo de acionamento foi necessária, com as mesmas opções que a do pó secante. Um fator importante surge nesse ponto. Sendo o insumo líquido haverá mistura de produtos com a água, desse modo, se faz necessário o uso de pás mexedoras que mantenham o insumo sempre uniforme. Esses motores e o sistema serão projetados pelo departamento de engenharia da empresa;

e) a dosagem de insumos será realizada em malha fechada. Para isso foram encontradas soluções para monitoramento das bombas de insumo, sendo possível a medição do líquido, através de fluxômetro e da medição da rotação da bomba através dos sensores Hall, Indutivo e Encoder;

f) no sistema de dosagem de sementes foram colocadas três soluções, sendo uma comporta pneumática, o sistema de chapéu chinês e o sistema de eclusa, todos já usados em máquinas de dosagens de sementes;

g) por fim, como o sistema de controle de sementes será em malha fechada, para a informação da quantidade de sementes entrando na máquina, foram encontradas soluções de sensoriamento desse sistema, através do sensor Hall, sensor Reed Switch, sensor Indutivo e Encoder.

Para que a solução preliminar seja escolhida realizou-se uma análise qualitativa. Essa solução deve contemplar os componentes mais pertinentes ao objetivo do projeto. No Quadro 4, são apresentadas as variantes de solução encontradas que foram analisadas de forma a encontrar a melhor combinação possível.

Quadro 4: Avaliação qualitativa dos componentes da matriz morfológica.

| Lista de avaliação das soluções | | | | | | Pag. 1 |
|---------------------------------|---|--|---|---|---|--|
| Descrição da Subfunção | Projeto: Sistema digital de tratamento de sementes | | | | | |
| | Simbologia: (S) - sim; (N) - Não; (?) - Informações insuficientes | | | | | |
| | Posição | Há conformidade com a lista de requisitos? | | | | |
| | | Atende NR10, NR12 e requisitos mínimos de segurança? | | | | |
| | | Fácil utilização e/ou montagem? | | | | |
| Compra ou produção facilitada? | | | | | | |
| Observações | | | | | | |
| Dosar Pó | L1C1 | S | S | N | ? | Requer medidas especiais de uso e montagem |
| | L1C2 | ? | S | N | N | Requer medidas especiais de uso e montagem |
| | L1C3 | S | ? | S | S | Dependente do tipo de acionamento |
| Controlador | L2C1 | S | S | S | S | Sem restrições |
| | L2C2 | ? | S | N | S | Projeto de Placa |
| | L2C3 | S | S | N | S | Projeto de Placa |
| | L2C4 | N | S | N | S | Não há conformidade com uso de IHM |
| IHM | L3C1 | S | S | N | ? | Necessita de projeto de Placa |
| | L3C2 | N | ? | S | N | Necessita de PC/software |
| | L3C3 | S | S | S | S | Sem restrições |
| Dosar insumos - Atuador | L4C1 | S | S | N | ? | Requer controle de Velocidade |
| | L4C2 | S | S | N | N | Requer medidas especiais de uso e montagem |
| | L4C3 | N | S | N | S | Requer Redução e uso em baixíssima rotação |
| Dosar insumos - Sensor | L5C1 | ? | S | N | S | Frequência de trabalho baixa |
| | L5C2 | S | S | S | S | Sem restrições |
| | L5C3 | S | S | S | S | Sem restrições |
| | L5C4 | S | S | S | S | Sem restrições |
| Dosar sementes - Atuador | L6C1 | S | N | N | N | Inconformidade com projeto mecânico |
| | L6C2 | S | S | N | S | Necessidade de medidas especiais de montagem |
| | L6C3 | S | S | S | ? | Necessita de motor e controle de velocidade |
| Dosar Sementes - Sensor | L7C1 | S | S | S | S | Sem restrições |
| | L7C2 | S | S | S | S | Sem restrições |
| | L7C3 | S | S | S | S | Sem restrições |
| | L7C4 | S | S | S | S | Sem restrições |

Fonte: Autor.

No Quadro 4 foram classificados itens conforme alguns critérios, como, por exemplo, a conformidade com a lista de requisitos e a contemplação das normas técnicas exigidas pela empresa. Cada item foi classificado com uma simbologia referente à satisfação ou não com tais conformidades. Se o item foi classificado com a letra “S”, o mesmo está em conformidade com os critérios de avaliação, se o item foi classificado com a letra “N”, o mesmo não está em conformidade com os critérios de avaliação. Ainda, se o item foi classificado com um ponto de interrogação “?”, significa que não há informações suficientes para a classificação adequada ou o mesmo necessita de outras avaliações.

Conforme mostrado pelo Quadro 4, as soluções que não apresentaram menores restrições são as aptas a serem utilizadas segundo a avaliação qualitativa. Utilizando-se dessas soluções pode-se, então, combiná-las de forma a criarem um, ou mais princípios de solução. Baseado nisso, originou-se as variantes de solução 1, 2 e 3 que são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5: Variantes de solução para o projeto

| Subfunção | SOLUÇÕES | | |
|--------------------------------|---|---|--|
| | Variante de solução 1 | Variante de solução 2 | Variante de solução 3 |
| Dosar Pó Secante e/ou Grafite |  Motor de indução |  Motor CC |  Motor de indução |
| Controlador |  CLP |  Microcontrolador PIC |  CLP |
| Interface Homem Máquina |  IHM |  Display LCD |  IHM |
| Dosar Insumos - atuador |  Motor de indução |  Motor cc |  Motor cc |
| Dosar Insumos - Sensoreamento |  Encoder |  Encoder |  Sensor Hall |
| Dosar Sementes - Atuador |  Eclusa |  Eclusa |  Eclusa |
| Dosar Sementes - Sensoreamento |  Encoder |  Encoder |  Sensor Indutivo |

Fonte: Autor.

De acordo com o Quadro 5, a variante de solução 1 utiliza-se de um motor de indução para a atuação nos insumos e no pó secante. Para a dosagem de sementes usa-se uma eclusa. Através de Enconders seria realizada a leitura dos insumos e a leitura da entrada de sementes. O sistema seria controlado por um CLP e as informações seriam enviadas e recebidas por um IHM.

A variante de solução 2 utiliza-se de um motor CC para a atuação nos insumos e no pó secante. Para a dosagem de sementes também se utiliza de eclusa. Da mesma forma, se utiliza de Encoders para ser realizada a leitura dos insumos e a leitura da entrada de sementes. O controle do sistema seria realizado por um microcontrolador PIC® e as informações seriam enviadas e recebidas por um display LCD.

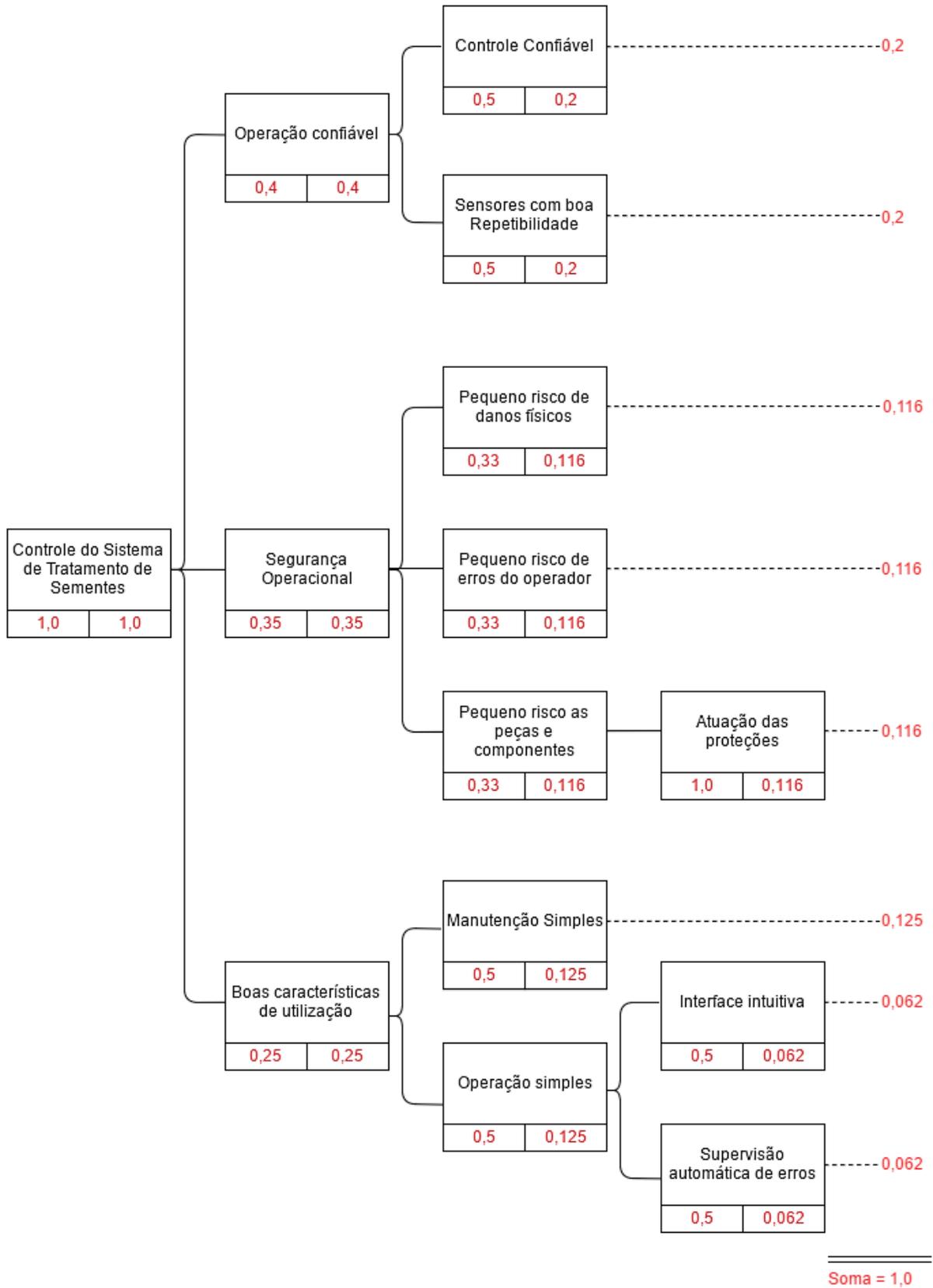
A variante de solução 3 tem escolha semelhante à variante 1, onde utiliza-se de motor de indução para atuação no pó secante. Para a atuação nos insumos utiliza-se de motor CC, fazendo-se a dosagem de sementes através de eclusa e a leitura dos insumos por um sensor Hall. Ainda, a leitura de entrada de sementes se dá por sensor indutivo, o controle do sistema por CLP e envio e recebimento de informações por IHM.

3.2.4 Análise quantitativa das variantes de solução

Seguindo a metodologia proposta para a realização do presente trabalho é, então, realizada uma análise quantitativa em relação às variantes de solução encontradas anteriormente. Nessa análise utilizou-se do método de comparação de pontos, listando-se as exigências e as condições que o projeto deve preencher. Cada solução recebe um número de pontos, quanto mais próxima de uma solução ideal, maior é essa pontuação, cuja soma dos fatores de todos os critérios deve ser igual a 1 (TRINDADE, 2016).

A Figura 20 apresenta a relação de objetivos estabelecida para este trabalho. Como objetivo principal está o controle do sistema. Após, figuram os objetivos secundários, caracterizados aqui como segurança operacional, operação confiável e boas características de utilização. Derivando desses objetivos secundários aparecem os objetivos de ordem três e por último as de ordem quatro. Cada ordem representa uma escala dos critérios de avaliação e por isso recebem posições diferenciadas - quanto mais à direita, maior a ordem e, conseqüentemente, seu valor em comparação com as demais. O valor de cada critério é equalizado seguindo-se uma lógica matemática que estabelece uma porcentagem para cada critério.

Figura 20: Organograma de objetivos do sistema de controle



Fonte: Autor.

Após formatado o organograma (Figura 20), montou-se o esquema de avaliação, conforme o Quadro 6, que apresenta os critérios de avaliação e com seus valores, atribuídos conforme a diretriz VDI2225 (apud TRINDADE, 2016). Estes critérios têm de obedecer ao tipo de avaliação realizada. Elas podem apresentar formas e magnitudes diferentes para cada parâmetro de avaliação.

Quadro 6: Atribuição dos valores para a avaliação

| Escala de Valores | Magnitude | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------|
| | Controle Confiável | repetibilidade dos sensores | Pequeno risco de danos físicos | Pequeno risco de erros do operador | Atuação das proteções | Manutenção simples | Interface Intuitiva | Supervisão automática de erros |
| 0 | bem baixo | bem baixa | muito alto | muito alto | inadequada | muito complicado | muito complicada | muito ineficiente |
| 1 | baixo | baixa | alto | alto | retardada | complicado | complicada | ineficiente |
| 2 | médio | média | médio | médio | regular | média | média | regular |
| 3 | elevado | alta | baixo | baixo | adequada | simples | simples | eficiente |
| 4 | bem elevado | bem alta | bem baixo | bem baixo | rápida | muito simples | muito simples | muito eficiente |

Fonte: Autor.

Definidos os parâmetros de relevância para cada critério partiu-se para a avaliação das variantes a partir dos critérios estabelecidos. Cada variante foi avaliada segundo esses critérios e foram, então, classificadas, recebendo um valor correspondente ao peso que cada critério possui. A primeira coluna da variante expressa a magnitude do critério em relação à variante, a segunda coluna representa o valor que esta magnitude representa e a terceira corresponde ao valor ponderado segundo o valor aplicado ao critério (Figura 20) em relação à escala de valores (Quadro 6).

Cada valor, representado na Tabela 1 como sendo o valor ponderado, é somado, e ao final resulta em um valor de classificação como pode-se ver na parte mais inferior da referida tabela. A variante que obteve o maior valor foi a melhor classificada, demonstrando ser a mais apropriada para ser realizada na fase seguinte.

Tabela 1: Avaliação quantitativa das variantes de solução

| Critérios selecionados | Parametro avaliativo | Variante 1 | | | Variante 2 | | | Variante 3 | | | |
|------------------------------------|----------------------|-----------------|-------------|-----------------|------------|-------------|-----------------|------------|-------------|-----------------|------------|
| | | Magnitude | Pontuação | Valor ponderado | Magnitude | Pontuação | Valor ponderado | Magnitude | Pontuação | Valor ponderado | |
| Controle Confiável | 0,2 | Confiabilidade | elevada | 3 | 0,6 | média | 2 | 0,4 | elevada | 3 | 0,6 |
| Repetibilidade dos sensores | 0,2 | Repetibilidade | média | 2 | 0,4 | média | 2 | 0,4 | alta | 3 | 0,6 |
| Pequeno risco de danos físicos | 0,116 | Risco de danos | médio | 2 | 0,23 | baixo | 3 | 0,35 | médio | 2 | 0,23 |
| Pequeno risco de erros do operador | 0,116 | Risco de erros | médio | 2 | 0,23 | médio | 2 | 0,23 | médio | 2 | 0,23 |
| Atuação das proteções | 0,116 | Atuação | adequada | 3 | 0,35 | regular | 2 | 0,23 | adequada | 3 | 0,35 |
| Manutenção simples | 0,125 | Simplicidade | complicada | 1 | 0,13 | complicada | 1 | 0,13 | simples | 3 | 0,38 |
| Interface Intuitiva | 0,062 | Interfaceamento | simples | 3 | 0,19 | complicada | 1 | 0,06 | simples | 3 | 0,19 |
| Supervisão automática de erros | 0,062 | Supervisão | regular | 2 | 0,12 | regular | 2 | 0,12 | regular | 2 | 0,12 |
| | | | SOMA | 18 | 2,2 | SOMA | 15 | 1,9 | SOMA | 21 | 2,7 |

Fonte: Autor.

Após realizada a análise quantitativa das variantes de solução, pode-se averiguar qual o valor de cada uma segundo os critérios analisados. A ponderação de valores, conforme tais critérios, resultou três somatórios, sendo que a variante de solução 2 alcançou o menor valor segundo a avaliação, a variante de solução número 1 alcançou um valor intermediário, e a variante de solução número 3 alcançou o valor mais significativo. Perante este resultado descreve-se, a seguir, a próxima fase, o anteprojeto, utilizando-se da variante 3. Esta tem como soluções de dosagem de pó o motor de indução, dosagem de insumos o motor cc, dosagem de sementes por eclusa, utilização de CLP e IHM industrial e sensoramento por sensor hall e sensor indutivo.

3.3 Fase 3: Anteprojeto

A etapa de anteprojeto visa construir a partir das soluções geradas, a estrutura do produto. Nessa fase serão estabelecidas as dimensões e formatos do produto, as listagens de peças a serem utilizados, entre outros. É nesse momento que surge a prototipagem do produto visando testes e adequações para que, então, possa seguir para a produção. Assim sendo, foram realizados os dimensionamentos necessários para o funcionamento mecânico e elétrico do sistema. Neste projeto foi realizado apenas o dimensionamento elétrico do sistema, uma

vez que o sistema mecânico já havia sido projetado. O dimensionamento elétrico visa ao funcionamento e ao controle de todos os equipamentos presentes no projeto.

3.3.1 Dimensionamento do acionamento e proteção dos motores dos agitadores, *Spray System* e rolo homogeneizador

Este trabalho não contempla o projeto mecânico destes componentes, mas como os mesmos fazem parte do projeto como um todo, serão dimensionados seus acionamentos e proteções. O acionamento desses também será realizado pelo sistema de controle com partida direta dos motores. Para tal fez-se necessário o projeto de um dispositivo de acionamento adequado ao sistema e, ainda, um sistema de proteção. Os mesmos foram dimensionados segundo a normas tangíveis.

O projeto contemplará quatro agitadores que deverão ficar em cada tanque de insumo. Estes agitadores têm o papel de manter a mistura do insumo sempre homogênea enquanto realizado o tratamento. Para isso a equipe de engenharia da empresa dimensionou para este processo um motor trifásico com potência de 1/3 cv. Esses motores serão ligados em tensão nominal de 380 Vca, sendo dado de placa uma corrente nominal para esta tensão de 0,83 A. Cada motor terá uma contatora de acionamento para que o mesmo entre em pleno funcionamento. A Tabela 2 apresenta os dados do motor escolhido para os mexedores da calda.

Tabela 2: Dados do motor utilizado para o misturador dos tanques

| Dados Motor do Misturador | |
|---------------------------|---------|
| Potência | 0,33 cv |
| Tensão nominal | 380 Vca |
| Corrente nominal | 0,83 A |
| Rendimento | 65% |
| Cos φ | 0,69 |

Fonte: Autor.

Para além dos dados apresentados na Tabela 2, foi dimensionado um relé térmico para a proteção de cada motor. Devido ao sistema possuir redutor da velocidade e, consequentemente, um aumento proporcional no torque, o sistema tem partida rápida, dispensando cálculos específicos de dimensionamento da proteção. O relé de proteção contra sobrecarga foi dimensionado levando em conta o valor da corrente nominal do motor em 380

Vca. Da mesma forma, a contatora foi dimensionada respeitando, principalmente, a corrente nominal e a frequência de manobras do motor.

Segundo a norma IEC-947 (apud FRANCHI, 2014; TRINDADE, 2016), deve-se dimensionar a contatora a ser utilizada para que a mesma atenda o tipo de carga específica utilizada. Neste caso, pelo uso de motores de indução, com rotores Gaiola de Esquilo, utilizou-se de contadoras do tipo AC-3. Baseado nisso procurou-se dimensionar uma contatora que atendesse a esse requisito (FRANCHI, 2014). Independente da marca, qualquer contatora com corrente nominal (I_n) em AC-3 acima de 4 A pode atender a demanda desse motor.

O relé de proteção contra sobrecarga é dimensionado obedecendo a corrente padrão de ajuste, essa é relacionada à corrente nominal do motor. A proteção contra curto-circuito pode ser realizada de duas formas, através de fusíveis e através de disjuntores. Utilizando da corrente nominal descrita em placa e também do fator de partida I_p/I_n pode-se calcular o valor dos fusíveis e disjuntores.

Segundo a NBR 11841 (ABNT, 1992), para o cálculo de fusíveis deve-se primeiramente especificá-lo de acordo com as letras que classificam quanto ao tipo de proteção que o mesmo irá exercer. A primeira letra indica que tipo de sobre corrente o fusível irá atuar, e a segunda o tipo de equipamento para que o fusível é indicado proteger (FRANCHI, 2014). Para este projeto, em se tratando de proteção de motores, apenas para o caso de curto-circuito será utilizado o tipo “aM” onde: a significa a proteção por limite de corrente em curto circuito; e M, a proteção para circuitos com motores.

Após especificado o tipo de fusível priorizou-se a escolha do valor do fusível, que deve obedecer ao tempo de partida e à corrente máxima de partida, regida pela equação (1) que o motor irá atingir, considerando-se os dados do motor:

- a) Corrente nominal: 0,83 A;
- b) I_p/I_n : 4,3;
- c) Tempo de Partida estimado: 2 s

Assim, tem-se:

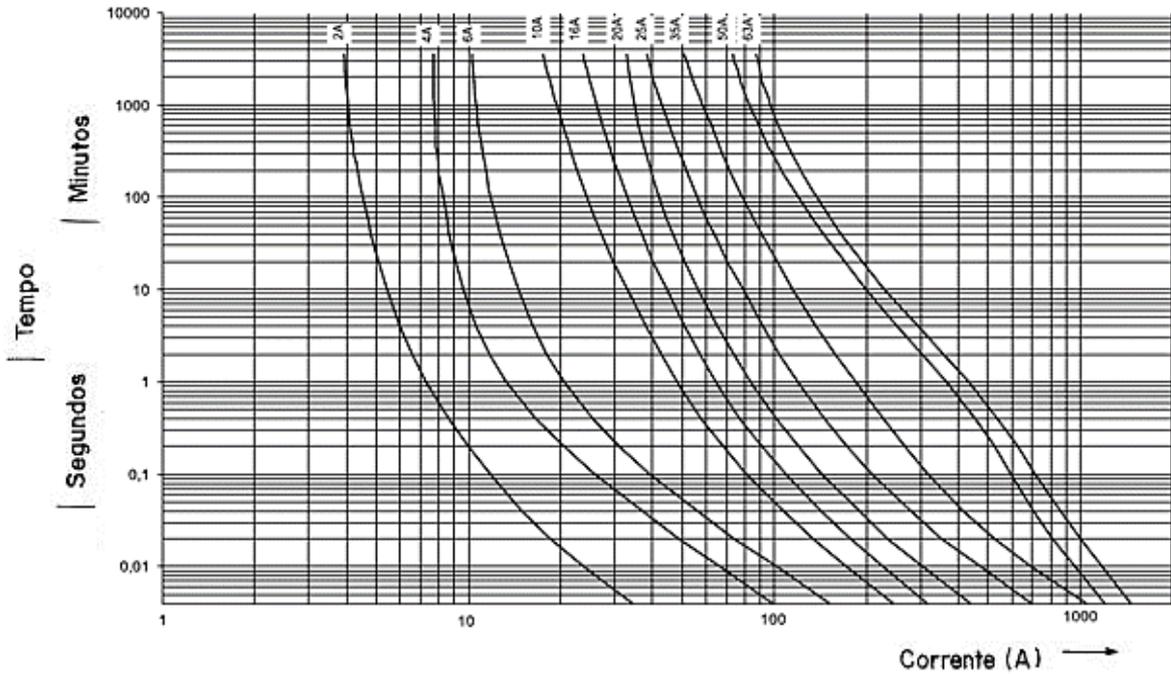
$$I_p \text{ max} = I_p/I_n * I_n \quad (1)$$

$$I_p \text{ max} = 4,3 * 0,83 \text{ A}$$

$$I_p \text{ max} = 3,56 \text{ A}$$

Para o dimensionamento foi necessário analisar as curvas característica dos fusíveis. A Figura 21 apresenta as curvas relativas ao fusível utilizado.

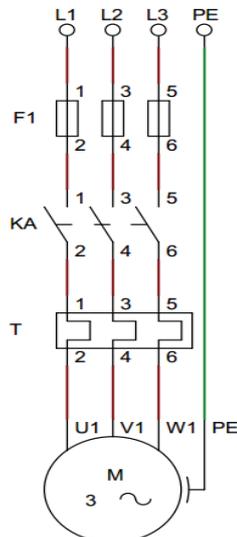
Figura 21: Curva característica de fusíveis D e NH



Fonte: Adaptado de Franchi (2014).

A partir da Figura 21 pode-se especificar qual o valor do fusível a ser escolhido. Como a partida perdurará por 2 s com uma corrente de 3,56 A tem-se a possibilidade de uso de fusíveis de 2 A sem prejudicar a partida ou o funcionamento do motor. O circuito de potência do sistema de acionamento dos motores pode ser visto na Figura 22, que apresenta o circuito de manobra (contatora) e o circuito de proteção (fusíveis e relé térmico de sobrecarga).

Figura 22: Diagrama de potência dos mexedores



Fonte: Autor.

Após dimensionados os circuitos de proteção e acionamento dos motores dos mexedores foi dimensionado o circuito de acionamento e proteção do motor do sistema de aspersão do insumo ou *Spray System*. Desse modo, provindo das mesmas regras e normas pode-se calcular, através da placa de dados do motor (Tabela 3), o seu dispositivo de acionamento e respectivamente sua proteção.

Tabela 3: Dados do motor projetado para o sistema de aspersão (*Spray System*)

| Dados Motor do <i>Spray System</i> | |
|------------------------------------|---------|
| Potência | 1 cv |
| Tensão nominal | 380 Vca |
| Corrente nominal | 1,75 A |
| Rendimento | 81% |
| Cos φ | 0,81 |

Fonte: Autor.

Pode-se calcular a corrente de partida do motor através da equação (1), cujos valores provêm da placa de dados:

$$I_p \text{ max} = I_p / I_n * I_n$$

$$I_p \text{ max} = 6,6 * 1,75 \text{ A}$$

$$I_p \text{ max} = 11,55 \text{ A}$$

Como o tempo de partida é aproximadamente o mesmo que o anterior, utilizou-se desses dados e das informações contidas na Figura 21 (curva característica de fusíveis) para selecionar o valor do fusível de proteção, que também será aM como já descrito. Segundo as curvas características dos fusíveis, foi possível especificar o valor de 10 A para o uso neste dispositivo. Ainda, segundo a norma IEC 947 (apud FRANCHI, 2014) pode-se especificar uma contatora de mesmo valor que para o sistema anterior com corrente nominal $I_n=4 \text{ A}$ em AC-3.

Como o diagrama de potência é o mesmo aplicado ao sistema anterior, esse não será ilustrado novamente, estando presente no projeto elétrico final, disponível no Apêndice A. Por fim, tem-se o dimensionamento do acionamento e proteção do sistema de mistura e homogeneização das sementes. Esse é dotado de um rolo que faz a semente percorrer um determinado caminho, promovendo a uniformidade do insumo aplicado na mesma. Para tal

processo seguiu-se a mesma maneira adotada para os dois anteriores, tendo-se, para fins de cálculo, os valores provindos da placa de dados do motor apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Placa de dados do motor do sistema de homogeneização

| Dados Motor do Homogeneizador | |
|-------------------------------|---------|
| Potência | 1.5 cv |
| Tensão nominal | 380 Vca |
| Corrente nominal | 2,59 A |
| Rendimento | 81% |
| Cos φ | 0,79 |

Fonte: Autor.

Pode-se calcular a corrente de partida do motor através da equação (1):

$$I_p \text{ max} = I_p / I_n * I_n$$

$$I_p \text{ max} = 6,8 * 2,59A$$

$$I_p \text{ max} = 17,61A$$

O tempo de partida será aproximadamente 3s. Utilizando das informações contidas na Figura 21 (curva dos fusíveis) selecionou-se o valor do fusível de proteção que também será aM como já descrito. Segundo as curvas características dos fusíveis, foi possível especificar o valor de 10 A para o uso neste dispositivo. Da mesma forma, segundo a norma IEC 947 (apud FRANCHI, 2014), pode-se especificar uma contatora de mesmo valor que a usada para o sistema anterior, com corrente nominal (I_n)=4 A em AC-3. Como o diagrama de potência é o mesmo aplicado aos sistemas anteriores este não será ilustrado novamente, estando presente também no projeto elétrico final disponível no Apêndice A.

3.3.2 Dimensionamento do sistema de controle por CLP e IHM

Como estabelecido na lista de requisitos, a máquina necessita de um sistema de controle que possa manipular as variáveis de interesse do sistema. Para tal, em encontros com os engenheiros e responsáveis pelo projeto, verificou-se algumas marcas de CLP que poderiam suprir tal necessidade. Dessa forma, alguns requisitos para a escolha do CLP foram colocados, como a quantidade de entradas que o mesmo necessitaria, a quantidade de saídas, sua alimentação, tensão de entradas digitais e sua capacidade de memória de programa. A lista de requisitos estipulada para o CLP ser escolhido foi a seguinte:

- a) Mínimo de 12 entradas digitais com possibilidade de expansão;
- b) Mínimo de oito saídas a transistor e 12 a relé, sendo um delas expansão (já que fabricantes de CLP não utilizam dois tipos de saída para uma mesma unidade central de processamento (CPU));
- c) Alimentação de 80 a 220 Vca ou 24 Vcc;
- d) Tensão de alimentação das entradas digitais de 24 Vcc;
- e) Comunicação facilitada com IHM;
- f) Mínimo de 2000 palavras de memória;
- g) Instruções avançadas como PID, comparação e leitura de velocidade ou frequência.

Analisando as viabilidades de cada fabricante chegou-se à decisão da utilização do CLP da marca WEG, modelo TPW03-20HT e uma expansão de saídas digitais modelo TPW03-EYR. Inesperadamente o fabricante atualizou o modelo de seus CLPs. Devido a isso, procurou-se uma CPU equivalente ao 20HT, que passou a ser o modelo TPW04-324BT-A e a expansão equivalente a anterior é o TPW04-16EYR, sendo características do TPW04-324BT-A:

- a) Alimentação de 85 a 240 Vca;
- b) Doze entradas digitais com consumo de 7 mA;
- c) Doze saídas a transistor com capacidade de 0,3 A;
- d) Vinte e quatro mil palavras de memória;
- e) Comunicação RS232 e RS485;
- f) Possibilidade de expansão de até 255 entradas e 255 saídas no total;
- g) Quatro entradas rápidas de até 100 kHz;
- i) Quatro saídas rápidas de até 200 kHz.

A expansão, por sua vez, possui 16 saídas digitais a relé com capacidade de até 2 A. A

Figura 23 apresenta o CLP e expansão utilizados.

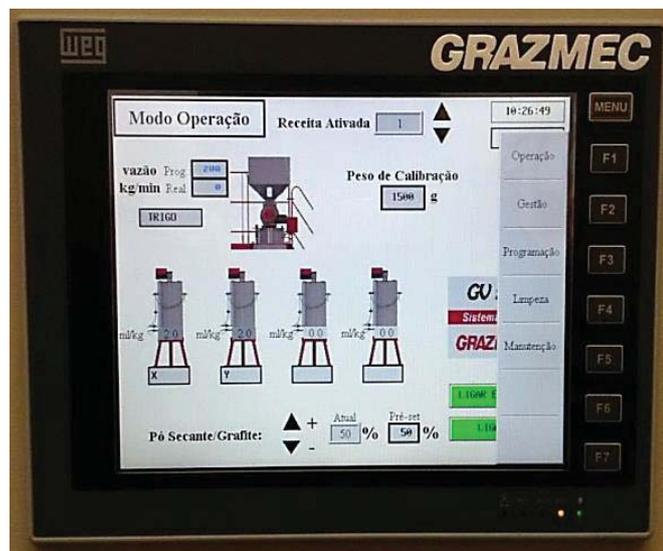
Figura 23: CLP e expansão utilizadas no projeto



Fonte: Autor.

Também foram analisadas possibilidades de uso de IHMs de várias marcas. Mas como há uma fidelidade maior entre IHMs e CLPs de mesma marca optou-se pela IHM da WEG com características que atendam ao especificado na lista de requisitos. A IHM escolhida foi a PWS6A00T, que possui uma tela de 10.1", *touch screen* resistivo, IP65 para a tela, 512 kB de RAM, 4 MB de memória de programa, resolução de 640 x 480, 64000 cores, alimentação em 24 Vcc com potência menor que 30 W e comunicação composta por portas USB para gravação ou backup, portas RS485 e RS232. A Figura 24 apresenta a IHM utilizada no projeto.

Figura 24: IHM escolhida para uso no projeto



Fonte: Autor.

3.3.3 Dimensionamento do acionamento e proteção para o sistema de eclusa

Para melhor entender o sistema de eclusa dosadora de sementes apresenta-se a Figura 25, que mostra os seus principais componentes. Essa foi desenhada segundo especificações da equipe de engenharia, não sendo objetivo deste trabalho, mas para fins de auxiliar no entendimento do mesmo são apresentadas.

Como apresentado na Figura 25 é possível destacar alguns pontos importantes no sistema. Iniciando pelo uso de um motor de indução trifásico, que permite através do uso de inversor de frequência, o controle de velocidade da eclusa. É importante destacar que o inversor de frequência permite o controle de velocidade com utilização do torque nominal do motor, evitando, assim, perdas em arrancadas e permanência em velocidades baixas. Ainda, permite que o motor atinja valores de velocidade acima do valor nominal (60 Hz). Uma redução de 1/50 (uma rotação na eclusa equivale a cinquenta rotações no motor) é utilizada para a redução da velocidade e, conseqüentemente, o aumento do torque que o motor produz, a redução se faz necessária para haver um range maior de controle de entrada de grãos.

Figura 25: Sistema de eclusa desenvolvida para o projeto.



Fonte: Adaptado de Grazmec (2016).

O uso de um disco perfurado no eixo da eclusa permite que através de um sensor indutivo se possa medir a velocidade real do sistema através da relação pulsos/volta. Dessa forma, ao ser levada as entradas rápidas do CLP pode-se medir com precisão a velocidade da eclusa. Havendo essa medida, pode-se medir, por sua vez, a quantidade de grãos entrando na máquina para serem tratados. O sistema de eclusas é composto por oito compartimentos que

mensuram a quantidade de sementes que entram no sistema. A Figura 26 apresenta uma vista em corte da eclusa para melhor visualização dos compartimentos.

Cada compartimento recebe uma quantidade limitada de sementes, que dependendo da variedade pode mudar de peso e/ou volume. Para que seja verificado o valor correspondente adotou-se um corpo de teste, que tem mesmo formato e tamanho de um compartimento da eclusa. Assim, o operador ao iniciar a operação realizou ao menos três pesagens para estabelecer um peso padrão para a variedade tratada. Este peso foi cadastrado na IHM pelo operador e serviu de base no peso tratado que deve atingir até 500 kg/min (volume máximo da tratadora).

Figura 26: Sistema de eclusas em corte



Fonte: Adaptado de Grazmec (2016).

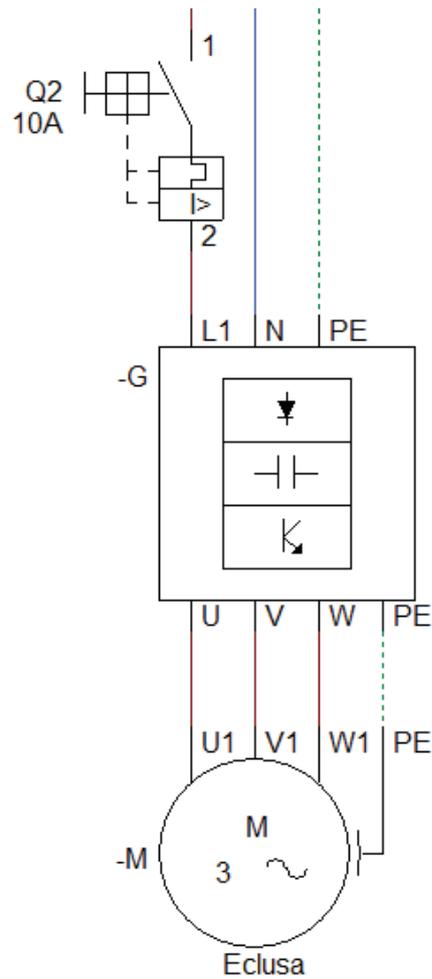
Para o acionamento do sistema de eclusa se faz necessário o dimensionamento de um inversor de frequência que tenha valores nominais para um motor de 1cv. Para isso, foi dimensionado um inversor de frequência da marca WEG, modelo CFW100-04P2, com alimentação monofásica para motores com potência de até 1cv e com corrente nominal de até 4,2 A@200 Vca. O motor utilizado caracterizou-se por corrente nominal de 3 A@220 Vca, então o mesmo pode ser utilizado sem restrições. Como o inversor possui uma série de

medições e proteções para com a carga, utilizou-se por padrão apenas disjuntores ou fusíveis na entrada para a proteção contra curto-circuito. Seguindo as especificações do fabricante fez-se uso de um disjuntor de curva C com capacidade nominal de 10 A para suprir tal necessidade. O diagrama de potência do sistema de acionamento do motor da eclusa é apresentado na Figura 27.

Como apresenta a Figura 27 pode-se perceber que, além do circuito de acionamento e proteção, há ainda a passagem por uma contatora (K1) que é ligada apenas no momento da energização do sistema. Ou seja, esse acionamento só irá ocorrer quando a máquina for realmente acionada, pois do contrário o inversor estaria sempre ligado, causando desperdício de energia e também estaria mais vulnerável a perturbações elétricas. O aterramento do inversor até o motor não está sendo realizado por cabo, mas pela própria carcaça da máquina.

O acionamento do inversor se dá pelos bornes de conexão, que são representados no diagrama de potência do lado direito do inversor, esses recebem informações provenientes do CLP para partida/parada e controle de velocidade do sistema. O diagrama completo encontra-se no Apêndice A.

Figura 27: Diagrama de potência de acionamento e proteção do sistema de eclusa



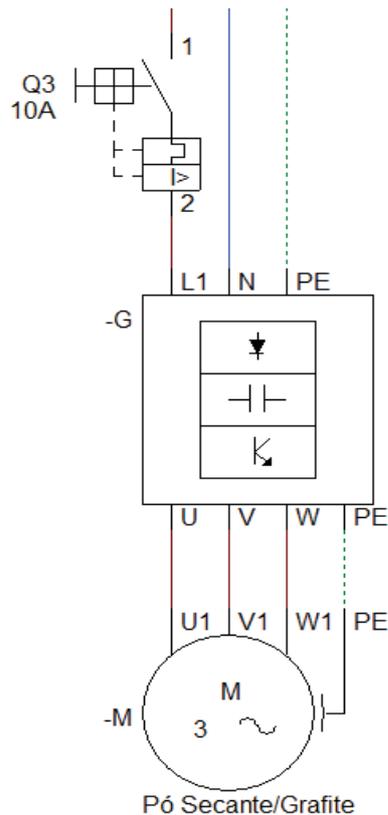
Fonte: Autor.

3.3.4 Sistema de proteção e acionamento do sistema de pó secante

Da mesma forma que a eclusa, que tem regulação de velocidade, para que a entrada de grãos seja controlada, também se faz necessário o controle de entrada do pó secante ou grafite para dar o acabamento final à semente, dependendo do que o operador desejar. Nesse caso, há a diferença de não haver a necessidade de uma regulação de velocidade por realimentação, como apresentado na estrutura de função do trabalho.

O sistema de acionamento é idêntico ao anterior, sendo o motor de acionamento de mesma potência que a eclusa. Logo, como resultado tem-se o mesmo sistema com o mesmo tipo de inversor. A Figura 28 apresenta o sistema de acionamento e proteção do pó secante, esse também apresenta outros contatos da contatora de acionamento principal (K1).

Figura 28: Diagrama de potência de acionamento e proteção do pó secante



Fonte: Autor.

3.3.5 Sistema de acionamento das bombas de insumos

O sistema de bombas de insumos utilizada no projeto é do tipo peristáltica, pois é um sistema robusto e que garante uma dosagem adequada ao sistema. No entanto, para que o sistema funcionasse corretamente fez-se necessário o uso de um acionamento com controle de velocidade variável e que atendesse ao sistema.

As bombas peristálticas são as mais utilizadas neste tipo de projeto, pois permitem a estanqueidade do ar de forma automática, tem baixo custo de manutenção, sistema de trabalho com tecnologia conhecida, não necessita de selos e vedações como as outras bombas, tem resistência a sólidos e outras características aqui não mencionadas.

Perante as informações acima citadas, a equipe de engenharia da empresa Grazmec optou pelo projeto de uma bomba peristáltica que permitisse uma dosagem segura dos volumes solicitados. Como referência de projeto o sistema deve dosar insumos na semente, desde 1ml/kg até 7ml/kg. Essa variação será realizada pelo controle de velocidade projetado no CLP. A Figura 29 apresenta o modelo projetado para o sistema.

Figura 29: Bomba peristáltica projetada



Fonte: Adaptado de Grazmec (2016).

Acoplado ao eixo da bomba peristáltica está um motor elétrico de corrente contínua que tem função de acionar o sistema. O mesmo teve seu controle através de um sistema de modulação por largura de pulso (PWM). Esse sistema será controlado pelo CLP e o acionamento de potência é realizado por uma placa adquirida para o sistema. O sistema é controlado por malha fechada, sendo acoplado internamente ao motor um sensor Hall, que envia um pulso a cada rotação do eixo do motor.

Como no sistema de bombas peristálticas, o volume por rotação é sempre o mesmo e pode-se conhecer o volume do insumo. Para que a bomba não fique funcionando quando houver falta de insumo, ou para que não sejam feitas medições de forma errada, adicionou-se ao sistema um fluxostato, para a monitoração de vazão da bomba. Esse proporciona ao sistema, ainda, a informação, por exemplo, da existência de falha na bomba, falta de insumo ou tubulação interrompida.

3.3.6 Dimensionamento da placa de controle para acionamento dos motores das bombas, inversores e sinais de controle

Devido ao uso de uma placa adquirida pela empresa para o acionamento da potência das bombas peristálticas, fez-se necessário o uso de PWM nas saídas do CLP para controlar a rotação do sistema utilizado. A placa de acionamento de potência era controlada, na máquina manual, através de um potenciômetro de 5 kOhm, ou seja, através da variação da tensão na

entrada da placa havia uma variação na tensão de saída da placa, este também sendo um PWM de frequência em 100 kHz. Como o sistema necessita receber uma tensão contínua na entrada, para poder variar sua saída, foi necessário projetar uma placa, que ao receber o sinal PWM do CLP transforma o sinal pulsado em um sinal contínuo. Dessa forma, o sistema de potência reconhece a tensão na entrada, controlando a rotação do motor de forma correta.

As saídas a transistor do CLP são do tipo NPN, ou seja, como a junção é negativa-positiva-negativa, a carga deve ser ligada de um lado ao positivo e do outro estará a saída do CLP que fará a ponte negativa com a carga. Então, os bornes de ligação comum do CLP devem estar interligados ao negativo da fonte que irá alimentar a placa de potência. Todavia, isso gera um pequeno problema. Ao ser energizado, o CLP enviava o sinal negativo à carga que ficava flutuando, o que ocasionava o giro das bombas ao se energizar o sistema. Para sanar esse defeito foi adicionado à placa de controle um relé, esse, por sua vez, controlado pelo CLP, mas como saída on/off. Quando solicitado o arranque das bombas o mesmo é ligado e então a modulação se inicia. Se não for solicitada a energização das mesmas, o relé permanece desligado.

O projeto do sistema de estabilização de tensão contínua foi realizado contemplando um filtro passa baixa (*Low Pass*), apresentado na Figura 30, que suaviza o pico da onda do PWM e o mantém em um nível analógico na saída. Como o filtro será passivo o mesmo obedece a seguinte equação de frequência de corte:

$$FC = \frac{1}{2.\pi.R.C} \quad (2)$$

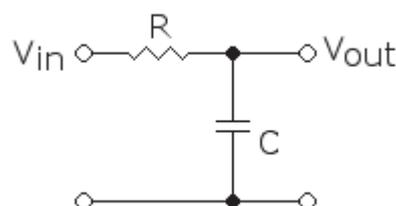
Onde:

FC: Frequência de Corte;

R: Resistência do filtro;

C: Capacitor do filtro.

Figura 30: Filtro passa baixa passivo



Fonte: Autor.

Como o valor do PWM possui uma frequência tal que permite a formação de uma onda quadrada, essa é transformada em corrente contínua utilizando como frequência de corte um valor muito baixo cerca de 0,1 Hz. Assim, tem-se:

$$0,1 \text{ Hz} = \frac{1}{2.\pi.R.100 \text{ uF}}$$

Logo:

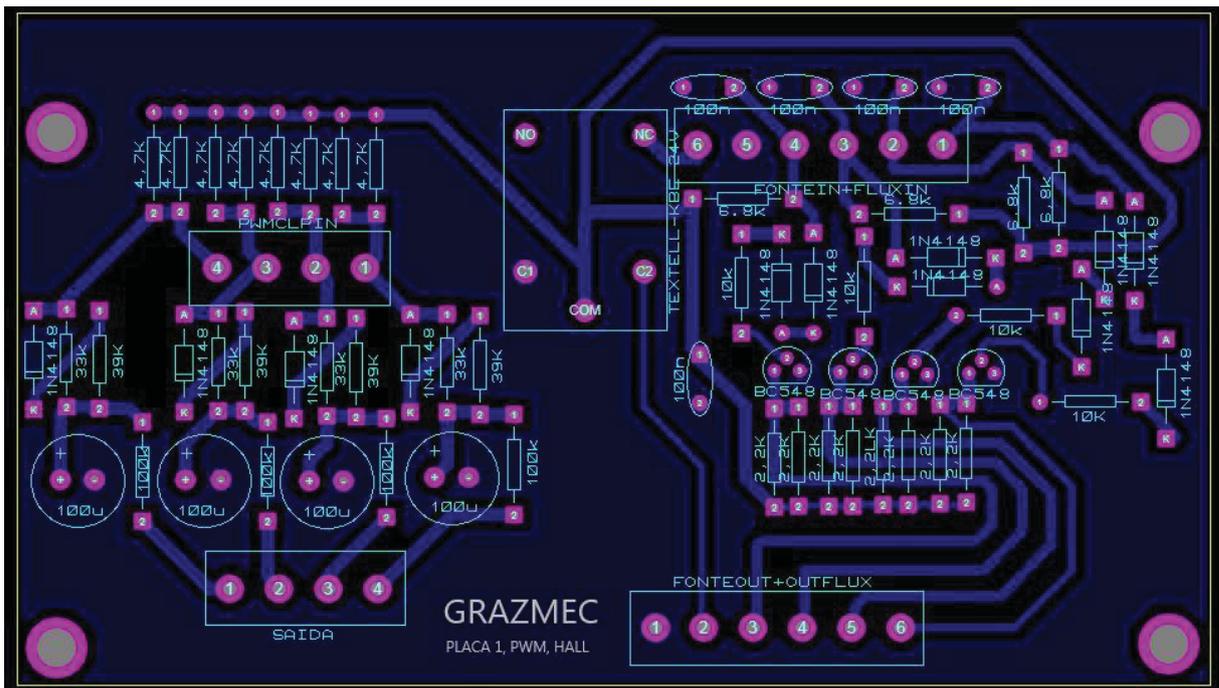
$$R = \frac{1}{2.\pi.0,1 \text{ Hz}.100 \text{ uF}} = 15,9k \text{ Ohm}$$

Dessa forma, foram associados dois resistores em paralelo de 33 kOhm e 39 kOhm para que fosse alcançado o valor calculado. Foi adicionado um diodo para que as correntes reversas fossem consumidas quando ocorre a variação de *duty cycle* para um valor menor. Finalizando este circuito há também dois resistores de 4,7 kOhm em associação paralelo, os mesmos estão executando a função de *Pull Up* devido às características dos transistores de saída do CLP.

A placa para o inversor de frequência também necessitou de um circuito de adequação para o uso no sistema. Assim, foram colocados resistores de *Pull Up*, sendo um resistor de 500 Ohms necessário para tal, além de um resistor limitador de corrente. Como o inversor permite uma entrada de PWM direta em seus terminais, não foi necessário utilizar um filtro. Seguindo o manual dos inversores utilizados, limitou-se a corrente em torno de 2 mA, utilizando para isso um resistor de 6,8 kOhm, já que a tensão é de aproximadamente 10 V.

Por fim, devido ao sensor Hall enviar uma onda senoidal ao sistema, foi necessário a mudança de sinal para uma onda do tipo quadrada. Para não aumentar a eletrônica utilizada foi construído um circuito com transistores, que ao ultrapassar um certo valor de potência, chaveiam, enviando o sinal ao CLP. Esse sinal tem comportamento de frequência igual ao do sensor, mas com a onda quadrada. A Figura 31 apresenta o *layout* da placa projetada para o circuito, sendo que a parte à esquerda é responsável pelo PWM e a parte à direita pelos sensores Hall. A parte referente aos inversores foi separada e realizada em outra placa, isso permite que a mesma fique mais próxima dos inversores.

Figura 31: Placa projetada para o sistema de linearização do PWM e recebimento de sinal do sensor Hall



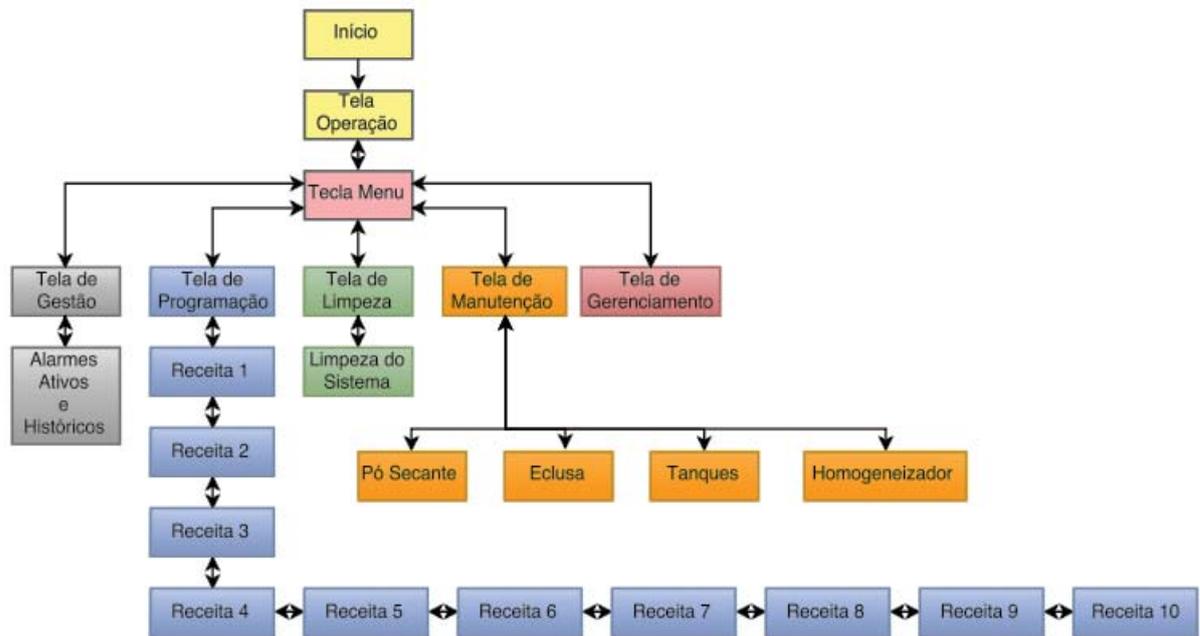
Fonte: Autor.

3.3.7 Firmware do sistema de IHM

IHMs são muito utilizadas na indústria, pois são uma maneira fácil de translado de informações entre sistema e operador. Neste projeto foi utilizada um IHM da Marca WEG como descrito anteriormente. Para que o projeto fosse desenvolvido utilizou-se do *software* ADP6.8® distribuído gratuitamente pelo fabricante. Seguindo a lista de requisitos e aos pedidos do cliente foram desenvolvidas telas para amostragem e entrada de informações relacionadas ao projeto.

O *firmware* da IHM foi projetado visando uma troca de informações eficiente entre máquina e operador. Seguindo a esse propósito, foi realizado um encontro com a equipe de engenharia para a decisão de qual *layout* utilizar nas telas. A Figura 32 apresenta um diagrama de blocos que representa as informações contidas no sistema de IHM, esses foram baseados na lista de requisitos e nos padrões que a empresa segue.

Figura 32: Digrama de blocos do firmware da IHM



Fonte: Autor.

Do diagrama apresentado pode-se descrever o funcionamento de cada tela apresentada, são elas:

a) Tela de operação: onde o operador visualiza o processo atual com informações de *setpoint*, produção e vazão. Essa é a tela principal, mostrada ao ser inicializado o sistema;

b) Tela de programação de receitas: onde o operador dispõe de dez receitas para serem utilizadas. Cada receita pode receber um nome e uma vazão específica de produto. Assim como, um nome para cada insumo e a vazão correspondente a esse. Por se tratar de quatro tanques, as receitas possuem a configuração de até quatro nomes e vazões de insumo. Se um deles não for utilizado, então deixa-se o mesmo com o valor em zero, isso automaticamente cancela o seu funcionamento;

c) Tela de limpeza: muito importante para o processo. Cada vez que a produção é parada se faz necessária a limpeza do sistema. Isso deve acontecer devido a possibilidade de solidificação dos insumos nos sistemas de bombeamento e aspersão. Se o operador não realizar a mesma ao desligar a máquina um alarme é gerado;

d) Tela de manutenção: possibilita a operação manual de alguns componentes do sistema para testes, comprovações ou ajustes;

e) Tela de gestão: responsável por apresentar as falhas e eventos ocorridos no sistema, a primeira tabela mostra os alarmes ativos e a segunda mostra o histórico deles;

f) Tela de gerenciamento: é possível calibrar o sistema de vazão de insumos. Isso é realizado ainda na fábrica, mas se, por ventura, for modificada alguma peça mecânica que acarrete em mudanças na vazão, a mesma pode ser alterada nessa tela. Além disso, pode-se atualizar data e hora do sistema, gravar a unidade USB de backup, entrar no modo transferência de *software* para eventuais mudanças no mesmo. E, ainda, é possível acompanhar algumas variáveis que são gravadas na unidade USB, como receita atual, valor produzido e um código de máquina que mostra qual o status da mesma. Esse código é conhecido apenas pela equipe de engenharia da fábrica para casos de garantia, assistência, entre outros, e mostra como a máquina funcionou durante o tempo que esteve com o cliente.

Todas as telas estão disponíveis para visualização no Apêndice B. Como se trata de um dispositivo que irá se comunicar com o controlador, esse necessita de um protocolo. Mas devido a serem do mesmo fabricante, já está disponibilizado uma maneira mais fácil de fazer tal comunicação. Nas opções de escolha de modelo de controlador existe o modelo específico do controlador que permite usar as mesmas nomenclaturas para as variáveis de interesse, ou seja, entradas digitais, saídas digitais, bits de controle, palavras de dados, entre tantos. Assim, conectando-se os dois periféricos através da porta RS485 foi possível estabelecer a comunicação entre os mesmos. O cabo segue o padrão de uso da porta e pode ser acessado no manual da IHM.

Para as palavras e textos que o operador irá gravar nas receitas e os valores definidos por ele ou enviados do controlador, usa-se a variável D que tem 16bits, ou seja, uma *word*, está também pode ser configurada para ser uma *double word*, que possui 32bits. Os bits de controle são variáveis do tipo M que não são entradas ou saídas físicas do controlador, mas que possibilitam utilizar informações como estado de alarmes, eventos, resposta de um certo número de periféricos, entre outras. Entradas e saídas são representadas pelas letras X e Y, respectivamente, e podem ser tanto escritas quanto lidas, isso também vale para os bits de controle. Esses são as principais variáveis de interesse na IHM e através dela pode-se manipular ou receber tais variáveis para serem apresentadas ao operador. Um exemplo de escrita de variável é o estado atual da produção que é uma variável do tipo D, que o controlador envia após calcular o valor atual de produção. Outro exemplo, é o bit de controle que habilita o motor do homogeneizador a funcionar no modo manual.

Após algumas dificuldades e aprendizados, foi possível concluir todas as telas com as informações pertinentes ao sistema. Ainda foi possível configurar o sistema para salvar em Pen Drive informações como alarmes, produção, receitas e se o operador realizou a limpeza

do equipamento. A Figura 33 apresenta a tela de configuração dos *logging buffers* que são gravados no pen drive.

Figura 33: Configuração dos valores gravados em USB

| Use | LB# | Source Address | Record Size | Record Total | Auto Stop | Triggered By | Time Interval | Non-volatile | Field Def. | Auto Copy | Text Print | Trigger by ECB |
|-------------------------------------|-----|----------------|-------------|--------------|--------------------------|--------------|---------------|--------------------------|------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1 | D512 | 1 | 10000 | <input type="checkbox"/> | Timer | 120 | <input type="checkbox"/> | Edit... | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 2 | d854 | 2 | 10000 | <input type="checkbox"/> | Timer | 120 | <input type="checkbox"/> | Edit... | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 3 | d500 | 1 | 15000 | <input type="checkbox"/> | Timer | 30 | <input type="checkbox"/> | Edit... | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 4 | D870 | 2 | 10000 | <input type="checkbox"/> | Timer | 60 | <input type="checkbox"/> | Edit... | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | 5 | d619 | 1 | 500 | <input type="checkbox"/> | Timer | 30 | <input type="checkbox"/> | Edit... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Fonte: Autor.

Todos os valores representam *words* de informações. D512 contém a informação da receita utilizada, tendo um intervalo de gravação de 120s. D854 tem informações da quantidade de kg/min que a receita atual possui, ou seja, o que deve ser produzido. D500 apresenta os valores referentes aos códigos de máquina, são oito valores diferentes, cada valor apresenta uma função, por exemplo, o valor zero “0” significa que a máquina está desligada ou aguardando início. O valor um “1” significa máquina em funcionamento, e assim por diante. O valor gerado em D870 é o valor total de produção. Toda vez que a máquina entra em funcionamento este valor é zerado e começa a monitorar o valor produzido, gerando um total após o término da produção.

Essas informações geram um arquivo *comma-separated values* (CSV), que é utilizado pelos donos do equipamento e por técnicos da empresa fabricante. As informações podem ser colocadas em arquivos que comparem e analisem os dados gerados.

3.3.8 Firmware do CLP

O CLP é o responsável por controlar todo o processo, é ele que avalia as variáveis de entrada e a partir do que se necessita o mesmo toma a decisão obedecendo ao *firmware* criado. O CLP TPW04, como já mencionado, foi o escolhido para este projeto.

Primeiramente, antes de se iniciar o *firmware*, foi executada a distribuição das i/os do sistema, para posicionar os sinais mais importantes nas entradas de maior velocidade.

3.3.8.1 Entradas digitais

O modelo utilizado possui 12 entradas digitais, às quais foram distribuídas funções distintas. As estradas X0, X1, X2 e X3 recebem os sinais provindos dos sensores de rotação das bombas peristálticas, essas passam pela placa de aquisição, já descrita anteriormente, e são direcionadas às entradas rápidas do CLP. O motivo pelo qual se utiliza essas entradas é que a função responsável pelo monitoramento da velocidade (função *Speed (SPD)*) funciona melhor com tais entradas, mas permite o uso de entradas normais que não atinjam alta frequência. A entrada X4 recebe o sinal do sensor indutivo instalado na eclusa. Essa tem a finalidade de fazer a leitura da velocidade com que essa está girando, utilizando a mesma função que as anteriores.

A entrada digital X5 é utilizada para monitorar presença de grãos no sistema. Toda vez que os grãos são detectados pelo sensor capacitivo um sinal é enviado ao CLP que libera o tratamento da semente. Por conseguinte, as entradas X6, X7, X10 e X11 (o CLP usa de base octal) são utilizadas para monitorar os níveis dos tanques de insumo. Se um dos tanques estiver configurado a funcionar, mas não for detectado fluxo de insumo, o sistema entra em falha. Isso ocorre porque foram utilizados quatro fluxostatos que ficam monitorando a passagem de fluxo de insumo pelo sistema.

Por fim, as entradas X12 e X13 são respectivamente os botões Start e Stop do processo. Poderia ser realizado apenas com um botão, mas a pedido da empresa fabricante foram colocados dois para haver distinção e maior facilidade de manuseio. Justifica-se o uso, pois ao desligar o equipamento o sistema não parará por completo, ainda permanecerão ativos o rolo homogeneizador, entre outros. Caso o operador esteja distraído e por ventura ache que o sistema não foi desligado o mesmo iria pressionar novamente o botão e isto faria com que o sistema entrasse em produção novamente podendo gerar falhas.

3.3.8.2 Saídas digitais transistorizadas

As saídas digitais que estão localizadas no módulo principal são acionadas via transistor. Dessa forma, podem ser utilizadas como saídas rápidas, ou seja, com uma

frequência de trabalho elevada, pois saídas a relé não permitem tal utilização. Nas saídas do módulo principal estão conectadas as bombas peristálticas e os inversores que controlam as velocidades da eclusa e pó secante.

As saídas devem ser alimentadas para acionarem o seu respectivo atuador e para isso existem entradas que são chamadas de “comuns das saídas”, essas são responsáveis por receber a potência que será enviada ao atuador. No caso do CLP usado, as saídas Y0 e Y1 são alimentadas pelo “com0”, as saídas Y2, Y3, Y4 e Y5 pelo “com1” e as saídas Y6 e Y7 pelo “com2”. Dessa forma, tornou-se mais prático realizar as conexões dos inversores nas saídas Y0, Y1, Y6 e Y7, respectivamente, pois os mesmos utilizaram de duas saídas para cada inversor. Então, as saídas Y0 e Y1 recebem a saída PWM e gira/para respectivamente. Para esse inversor, neste caso da eclusa, utilizou-se da função PWM disponível no CLP, essa função só pode ser usada uma única vez, o que limita muito o uso de PWM neste caso.

Como seria necessário fazer a utilização de mais saídas trabalhando como PWM foram então organizados temporizadores com bases de tempo em 1ms para realizarem a função de tempo de ciclo alto e tempo de ciclo baixo, sendo que não se pode alterar a frequência de trabalho que neste caso é 100 Hz.

Para as bombas peristálticas foram então selecionados oito temporizadores que são controlados pela leitura das informações de entrada (X0 a X4). Esses temporizadores são calculados para sempre manterem uma soma de tempo que não ultrapasse 10 ms, o que permite que a frequência esteja sempre em 100 Hz. As saídas Y2, Y3, Y4 e Y5 são utilizadas como saídas PWM, respectivamente, para as bombas 1, 2, 3 e 4, todas controladas com realimentação, como já mencionado anteriormente.

O mesmo acontece para o segundo inversor que está alocado nas saídas Y6 e Y7, onde Y6 é a saída PWM de controle de velocidade e Y7 a função gira/para do mesmo. Esse não possui realimentação e sua velocidade é controlada pelo painel da IHM por um valor pré-setado pelo operador. O mesmo também pode modificar a velocidade durante a produção caso necessite aumentar ou diminuir a vazão de pó secante ou grafite.

O sistema de realimentação utilizado consiste na leitura da entrada de interesse do controle, por exemplo, para o tanque 1 a entrada de controle é X0. O sistema recebe pulsos nesta entrada e então a mesma é lida pela SPD. Essa função permite que seja configurado um tempo para atualização da saída. Então, ao estourar esse tempo específico, o valor de pulsos lido na entrada é gravado em um registrador que é atualizado ciclicamente pelo tempo configurado. Esse valor é ajustado e enviado para a função interna PID que compara os

valores de set-point com o valor lido da entrada, assim, a variável de controle é resultante na saída do PID. Se o valor resultante é maior que um o sistema diminui o tempo de nível alto da saída PWM e se o valor está abaixo de um o contrário ocorre.

Em função de o motor sair da inércia em seu início de funcionamento, os valores das saídas de controle ficam muito altos. Se isso ocorre um sistema de arranque rápido é acionado para dar velocidade ao motor nos primeiros segundos de funcionamento. O valor da velocidade é pré-setado como 50% do valor nominal de rotação. Isso possibilitou uma melhora significativa no uso de insumos nos primeiros segundos de trabalho da máquina. Do mesmo modo, possibilitou a diminuição de *overshoot* de início de trabalho, onde há maior variação de sinal quando usado um sistema PID.

Após os primeiros testes foi possível verificar que o sistema poderia trabalhar com a configuração PI, pois a inércia do sistema somada à inércia aplicada do controle derivativo tornou a resposta um pouco lenta. A calibração foi realizada seguindo os parâmetros orientativos do fabricante do CLP e, após algumas provas, ajustados para o sistema.

A calibração do sistema de controle deu-se através de testes realizados no protótipo com sistemas de dosagens para a comprovação do funcionamento do sistema. Toda máquina produzida deverá ser calibrada pelo montador ou programador para que não haja problemas de mensuração dos insumos.

3.3.8.3 Saídas digitais a relé

As saídas digitais a relé fazem parte da unidade de expansão do CLP. Essa é formada por 16 saídas a relé que são adicionadas ao sistema. Tais saídas são responsáveis pelo acionamento de cargas que não são intermitentes no processo. Por configuração do sistema de programação do CLP essas saídas foram nomeadas a partir da variável de saída Y20. A saída Y20 é responsável pelo relé que interliga a alimentação do PWM das bombas com a placa, para não gerar ruídos na energização.

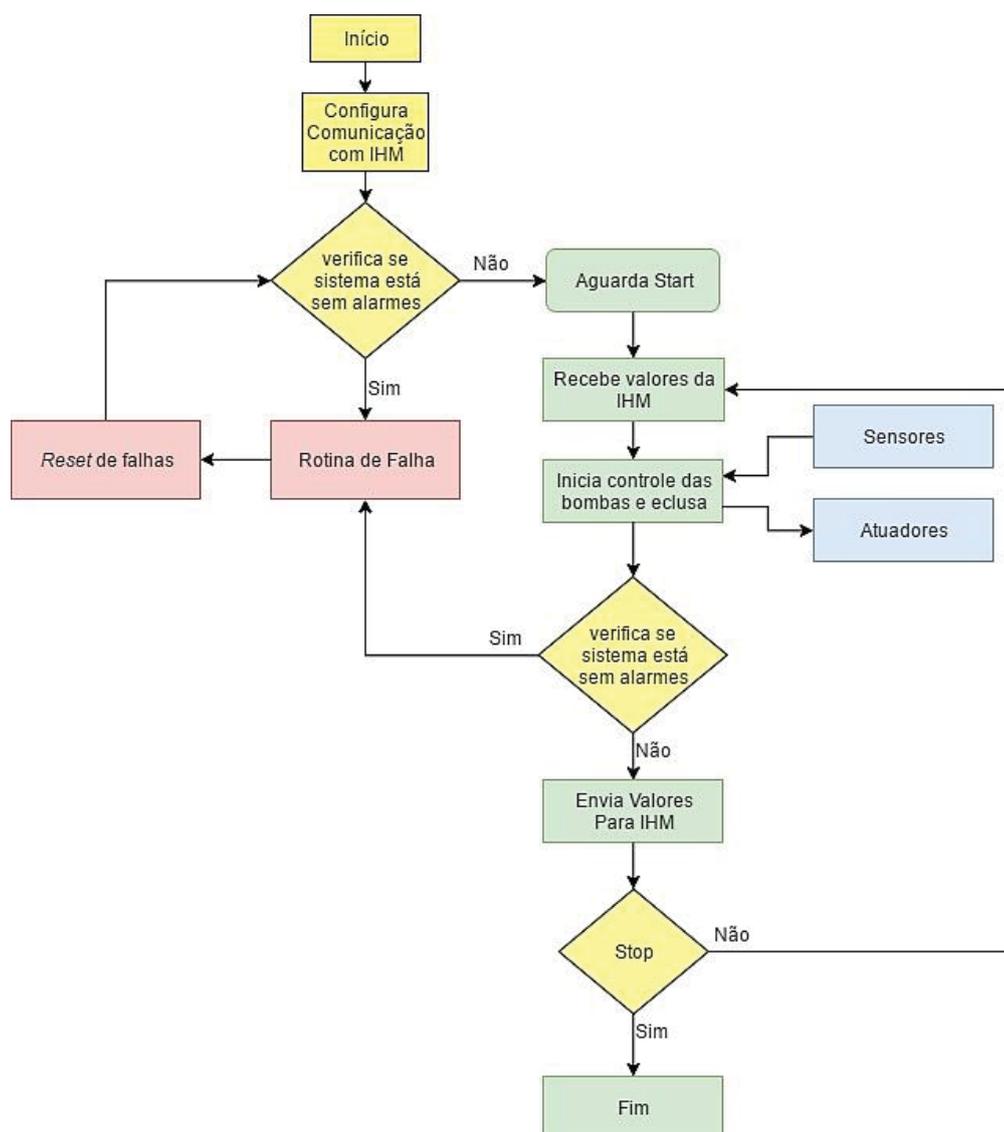
As saídas Y21, Y22 e Y23 são utilizadas para interligação de contatos para resposta após a energização do sistema. O sistema contém um sinalizador de led, que por exigência das normas regulamentadoras, é utilizado para a sinalização visual do estado do equipamento. Para isso, utilizou-se a saída Y24 para o led vermelho que sinaliza alarme, erro ou perigo; a saída Y25 para o led amarelo, que sinaliza atenção ou espera da máquina; e, por fim, o led verde na saída Y26 que sinaliza máquina em funcionamento.

Para a energização e funcionamento do túnel homogeneizador usa-se Y32, que no projeto irá estabelecer alimentação da contatora Km1, e esta, por sua vez, alimentará o motor do sistema de homogeneização. O mesmo ocorre para o espalhador centrífugo do sistema *Spray System* que está interligado por Y33 e essa saída, por sua vez, alimenta Km2 que energiza o motor do espalhador. Y34, Y35, Y36 e Y37 alimentam, respectivamente, as contadoras Km3, Km4, Km5 e Km6 que, então, alimentam os agitadores dos tanques 1, 2, 3 e 4. Os agitadores são ligados sempre que o sistema é energizado. Ou seja, para evitar sedimentação das partículas sólidas contidas nos “caldos” ao energizar a máquina os agitadores são ligados e, assim, permanecem até o botão emergência ser pressionado ou haver queda de energia. O túnel homogeneizador e o sistema do espalhador são ligados no momento em que ocorre o start da máquina para funcionamento.

Há a possibilidade de utilização de filtro de manga para a sucção de matérias suspensas no ar, para isso está reservada a saída Y30, que é ligada sempre que a máquina entra em operação. Essa saída, assim como a saída do túnel homogeneizador, permanece ligada por um tempo programado após o término do tratamento, para que as sementes tenham saído do túnel. As saídas Y27 e Y31 ficaram sem utilização, mas caso seja necessária alguma mudança pode-se utilizá-las.

O *firmware* do CLP é apresentado na Figura 34, onde o mesmo inicia o seu sistema configurando a comunicação entre a IHM e o CLP. Após isso, é realizada uma varredura para saber se o sistema apresenta algum defeito, encontrado algum, inicia-se a rotina de defeito. Não havendo falhas o sistema está apto a trabalhar. Ao iniciar o ciclo, o CLP recebe informações da IHM sobre valores de produção e volume desejados e, a partir desses, inicia o controle dos atuadores com o auxílio dos sensores. Há também a procura por falhas que venham a ocorrer durante o processo, assim como o envio de informações para a IHM. Enquanto o botão stop não for acionado o sistema não encerra esse procedimento.

Todo o desenvolvimento deste trabalho teve como objetivo a criação de um protótipo para realização de testes. Assim, todo o dimensionamento apresentado nesse capítulo tem grande relevância para que os resultados sejam mensurados e analisados, como se apresenta no capítulo seguinte.

Figura 34: *Firmware* do CLP

Fonte: Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir do desenvolvimento do trabalho e da montagem do protótipo, conforme explicitado no capítulo anterior. Serão analisados três tópicos principais que retratam a aplicação dos métodos apresentados: iniciando-se pela análise do uso de metodologia projetual; passa-se à análise do equipamento construído com testes de funcionamento; e, concluindo-se o capítulo, aborda-se um experimento sobre as sementes tratadas que permitiu resultados significativos quanto ao desempenho do equipamento.

4.1 Utilização da metodologia de projetos no trabalho

O uso da metodologia de projetos, como já constatado em outros trabalhos e dissertações (GASPARIN, 2014; QUEVEDO, 2014; TRINDADE, 2016), contribui, e muito, para que o projeto seja desenvolvido de forma segura e ágil. Dessa forma, utilizando-se da metodologia de projeto pode-se realizar o presente trabalho de modo organizado e metódico.

Na primeira fase iniciou-se o trabalho através da consulta das demandas que o equipamento necessitava. Isso possibilitou a elaboração de uma linha mestra, que ao ser seguida resultou na elaboração da lista de requisitos. Essa última também possibilitou um norteamento do trabalho, que minimizou falhas e enganos durante a execução das fases posteriores. Através da lista de requisitos, pode-se notar, ainda, a abrangência do trabalho que não tinha apenas um caráter de engenharia mais também mercadológico, atendendo demandas do comércio desse tipo de equipamento.

Na segunda fase, etapa de concepção, iniciou-se realizando a abstração, que permitiu gerar uma função global, ou seja, o foco do trabalho. Gerada a função global, pode-se organizar e desmembrar tal função, resultando na elaboração de uma estrutura de funções contendo funções principais, que são indispensáveis para o funcionamento do equipamento, e secundárias. Assim conduzido, foi possível analisar de forma pontual cada subdivisão do projeto, aumentando a eficiência e a conformidade das soluções e reduzindo retrabalhos posteriores. Seguindo a etapa de concepção, criou-se a matriz morfológica, que em conformidade com a lista de requisitos e a estrutura de funções, resultou em várias soluções para cada subfunção definida no projeto. As soluções apresentadas foram avaliadas segundo critérios qualitativos e, assim, surgiram três possíveis soluções. Essas, por sua vez, foram

analisadas de forma quantitativa, segundo os critérios metodológicos, e, então, a solução de melhor desempenho foi escolhida.

Com a solução encontrada, partiu-se para a última fase deste trabalho, o Anteprojeto. Essa visou a construção do primeiro protótipo para os testes e definições do produto. Primeiramente houve a procura por fornecedores e produtos que atendessem à demanda apresentada pela solução proposta. Depois de alguns orçamentos e compras foram encontrados todos os equipamentos necessários e todos eles puderam ser adquiridos de forma rápida. Foram duas semanas para que o protótipo (apenas peças relativas ao projeto) fosse montado para os testes iniciais. Depois de finalizada a parte de montagem, foram então iniciados os testes (descritos abaixo) para finalizar este trabalho.

4.2 Resultados obtidos através dos testes de funcionamento executados

Com a construção do protótipo foi possível serem realizados testes para a verificação do sistema. Os testes foram organizados da seguinte forma:

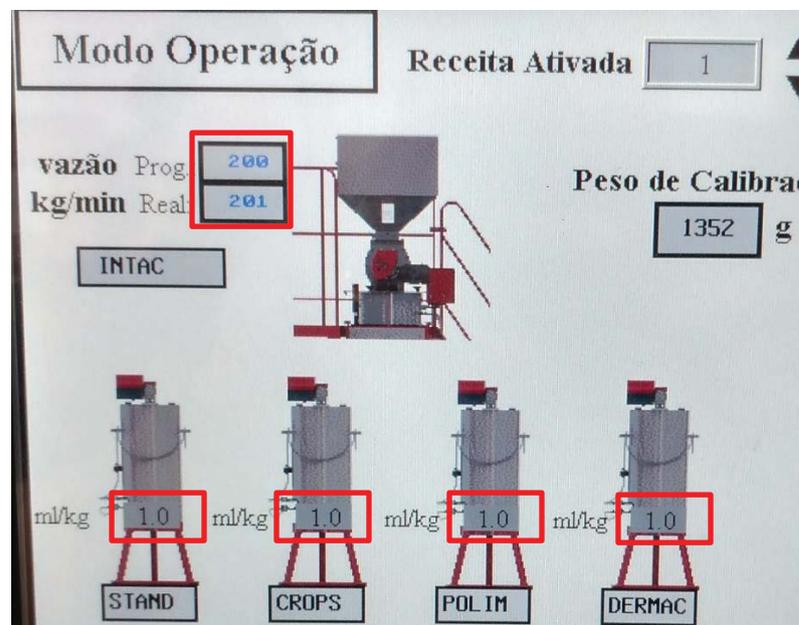
- a) Testes de conformidade de volume de insumo: teve o objetivo de comprovar a correção no volume de insumo injetado no equipamento. Esse foi realizado medindo o volume em um tempo determinado;
- b) Testes de conformidade de volume de sementes: teve o objetivo de comprovar a correção do volume de sementes recebida no rolo homogeneizador. Para isso, mediu-se a vazão de sementes em um tempo determinado;
- c) Testes de estanqueidade: teve por objetivo verificar se, ao desligar a bomba, o insumo iria retornar ao tanque, causando entrada de ar nas mangueiras e causando erros no tratamento. Para essa verificação foram realizados experimentos com desníveis de piso entre máquina/insumo.

Depois de finalizado o protótipo, ao serem realizadas as primeiras energizações do sistema, notou-se uma quantidade de insumo exagerada e, ao mesmo tempo, uma dificuldade do sistema para manter os valores de controle estáveis. Para sanar tais dificuldades, foi necessário o projeto de uma nova bomba, que permitiu os testes serem executados. Outro fator importante, foi a limitação dos volumes de insumo injetados no sistema. Ou seja, limitou-se via software a quantidade mínima de insumo em 1ml/kg e a máxima em 20ml/kg, devido à capacidade das novas bombas peristálticas.

Após tais procedimentos, os testes iniciaram com a análise de estanqueidade e volume das bombas peristálticas dos insumos. Primeiramente, foi realizado o teste de estanqueidade por desnivelamento dos tanques com o equipamento. No primeiro teste as bombas e o equipamento estavam no mesmo piso, sendo assim, com um desnivelamento de 2,2 m para o aspersor. Nesse teste, não houve retorno de líquido quando as bombas estavam desligadas. Após o referido teste, a máquina foi posicionada em um piso superior e realizado o mesmo teste, o desnível chegou a 5,2m. Da mesma forma, o sistema de bombas obteve estanqueidade total do líquido quando desligado. Acima dessa altura não foram realizados testes, pois não havia na empresa, local para a realização dos mesmos. Essa altura está descrita também no catálogo da empresa como desnível máximo admissível.

Outro teste executado com as bombas de insumo foi o de conformidade de volume. Para o mesmo foram aplicadas algumas configurações como apresenta a Figura 35. Nessa, é possível verificar que a quantidade de sementes a ser tratada foi de 200 Kg/min sendo o volume de insumo para qualquer um dos quatro tanques de 1ml/kg. Logo, o volume por minuto que cada bomba deve injetar é de 200ml.

Figura 35: Tela de operação com a configuração de vazão e volume dos tanques



Fonte: Autor.

Os testes foram realizados com uma repetição de três vezes por tanque, seguindo as etapas descritas na sequência:

- a) primeiramente adquiriu-se em empresa de insumos agrícolas um copo de medidas graduado e uma proveta para melhor leitura;
- b) configurou-se um cronômetro para a verificação de 1 min;
- c) nessas configurações o sistema deve conter 200 ml ao término de 1 min;
- d) realizou-se os testes e mensurou-se na proveta para não haver erros de medida;
- e) realizou-se um novo teste, primeiramente secando o copo para não gerar erros;
- e) o líquido utilizado no tanque foi água não potável;
- f) repetiu-se os mesmos passos para os quatro tanques.

Como resultado obteve-se valores iguais ou muito próximos de 200 ml, para garantir que o valor fosse lido, foram colocados em uma proveta para saber o quanto excedeu-se do valor calibrado. Dessa forma, obteve-se os seguintes resultados:

- a) Tanque 1, teste 1: 202 ml; teste 2: 200 ml; teste 3: 202 ml;
- b) Tanque 2, teste 1: 198 ml; teste 2: 199 ml; teste 3: 197 ml;
- c) Tanque 3, teste 1: 202 ml; teste 2: 201 ml; teste 3: 202 ml;
- d) Tanque 3, teste 1: 200 ml; teste 2: 199 ml; teste 3: 199 ml.

Esses valores apresentaram variações que podem ser provindas da variação da tensão aplicada às bombas, do atrito, ou, ainda, do erro de controle executado pelo PI. A variabilidade medida foi de 2%, o que não compromete o funcionamento do equipamento. Os valores podem se alterar se o volume a ser medido for menor, ou maior. Para sanar essa dúvida, foi modificada a vazão de sementes para o máximo, ou seja, 500 kg/min. O valor obtido com maior erro foi de 506 ml. Uma variabilidade de 1,2% aproximadamente. Isso leva a concluir que o volume aplicado não influencia no erro medido. Importante ressaltar que a empresa fabricante aconselha a calibração do sistema ao menos a cada três meses, para não haver problemas com a dosagem. Para alguns clientes, foi aconselhado realizar a calibração a cada mil toneladas produzidas ou, ainda, quando a viscosidade for drasticamente alterada.

Realizado esses testes, foram então analisados outros dois fatores. O primeiro, relativo ao peso padrão das sementes, por conseguinte o valor medido na eclusa. Para a realização dessa análise foi necessário o uso de uma balança calibrada, nesse caso uma balança digital de até 10 kg. Após isso, foi separado um “bag” de soja para adquirir as amostras de peso para a realização do teste. Iniciou-se a análise com a tara da balança com o peso do medidor. Em seguida, começaram-se as mensurações, como apresentado na Figura 36.

Figura 36: Tara e medições de peso da soja no medidor padrão criado pela empresa



Fonte: Autor.

Segundo apresentado na Figura 36, foram realizadas cinco medições que apresentaram valores de 1544 g, 1548 g, 1550 g, 1546 g e 1552 g, com uma variação de 8 g do valor menor para o maior. Nos testes, as sementes pesadas eram colocadas em outro recipiente para não haver uma repetição de amostra, assim, os pesos medidos revelaram uma média de 1548 g, com variação de 0,5%. Tais dados levam a concluir que a variação é aceitável e não irá influenciar no sistema de dosagem e na produção da semente tratada.

Para finalizar os testes, foi medida a vazão de sementes que passa pela eclusa, que deve obedecer ao peso configurado na IHM. Nesse caso, configurou-se a vazão para 100 kg/min, para não haver um volume muito grande de sementes a ser medida. Iniciou-se o sistema, aguardou-se a estabilização da velocidade da máquina e operou-se os testes. Foram três testes de vazão com medida cronometrada em 1min. As medidas de vazão obtiveram como resultado:

- a) Teste 1: 103,8 kg;
- b) Teste 2: 104,5 kg;
- c) Teste 3: 103,2 kg.

A partir dos valores medidos, considerou-se que estão próximos ao peso configurado, havendo um pequeno desvio comum a sistemas de fluxo contínuo. Importante ressaltar que nos primeiros testes de controle da eclusa, ainda na construção do protótipo, o sistema de leitura de velocidade havia sido projetado com um disco raiado para servir de realimentação do controle. Esse disco possuía três raios por vão da eclusa, e isso acarretava em uma imprecisão no sistema de controle. Para sanar tal imprecisão dobrou-se o valor de raios e isso permitiu uma leitura muito mais precisa da quantidade de vãos que era medida. Além disso, obteve-se um melhor resultado no controle de velocidade do inversor, o que acarretou, por si só, numa melhora do controle de velocidade. Por fim, para limitar a capacidade tanto em baixa quanto em alta rotação da eclusa, o sistema recebeu no *firmware* da IHM um bloqueio, onde é possível a programação desde 50 kg/min até 500 kg/min. Essa limitação não visa somente o controle correto da velocidade, mas, também, resguardar o sistema mecânico do equipamento, que foi projetado para essa vazão de grãos.

Retomando-se, aponta-se que foi projetado um sistema de alarmes para que o operador da máquina pudesse ser informado de situações não desejadas durante o processo. Como já mencionado foram focadas situações como a falta de grãos na eclusa, falta de insumos, não realização de limpeza e o desarme de algum componente no quadro de comando. Quando inserido um pen drive todo este conteúdo é gravado para que sejam analisados os problemas do equipamento em visitas técnicas. Da mesma forma que os alarmes e defeitos, o conteúdo da produção, as receitas utilizadas e códigos de máquina estabelecidos pelo fabricante, também são gravados pelo sistema, como mencionado anteriormente, para informar possíveis defeitos ou mau uso do equipamento. Nessa direção, foram definidos níveis de acesso pelo fabricante do equipamento. Esses níveis permitem que algumas informações e telas sejam

visualizadas apenas pelos funcionários da empresa, ou por pessoas autorizadas. Para isso, há senhas que definem as permissões de cada usuário.

Assim, além dos testes apresentados realizaram-se outros para averiguar o funcionamento tanto do acesso do dispositivo, quanto de seus alarmes. De modo a exemplificar, um dos testes verificou o alarme ao término de grãos que eram recebidos pela eclusa. O sistema, ao identificar a falta de grãos, imediatamente avisa o operador sobre o acontecido, e o sistema não para a homogeneização até a saída completa dos grãos. Isto é controlado por um tempo configurado pelo fabricante. Assim, o acesso ao dispositivo também foi testado e obteve-se resultados satisfatórios.

Como último teste aplicado, obteve-se os dados de produção inseridos no pen drive utilizado, esses estavam devidamente gravados no mesmo. Após finalizados os testes de controle de sementes e insumos, o fabricante deu seu parecer de satisfação com o protótipo, iniciando a fase de lote piloto para testes *in loco* e, após, a liberação para a fabricação.

4.3 Análise das sementes tratadas pelo equipamento

Para comprovar que o sistema, além de manter o volume de insumos na proporção correta, também proporcionou uma constância na distribuição destes insumos, foi realizado um experimento estatístico que comprovasse tal capacidade do equipamento.

O objetivo deste trabalho estatístico foi o de coletar dados e, com base nos mesmos, chegar a uma conclusão sobre a variável analisada, neste caso a espessura. Esse experimento partiu de dois tipos de tratamentos cedidos por clientes da empresa que utilizaram a máquina para produzir sementes tratadas. Essas, por razões comerciais, não especificaram que tipo de produto e qual porcentagem foi aplicada a cada tipo de semente, o que dificultou a realização de outro tipo de análise. Mesmo assim, nota-se a diferença de cada tratamento pela coloração e pelo diâmetro da semente utilizada por cada cliente.

O experimento foi organizado após definição de quais métodos seriam utilizados para o teste ser realizado. Definiu-se que seriam utilizados corpos de prova providos de canos de PVC com 10 mm de altura e 20 mm de diâmetro e dentro destes corpos de prova seriam depositadas quatro sementes. Para que as sementes permanecessem estáticas foi depositado, junto às mesmas, uma resina de secagem rápida. A Figura 37 apresenta uma amostra dos corpos de prova após a secagem da resina depositada (a) e os tipos de sementes utilizados para o experimento (b,c).

Figura 37: (a) Amostra dos corpos de prova, (b) semente de tipo 1 e (c) sementes de tipo 2



Fonte: Autor.

Os corpos de prova foram então levados a laboratório para serem desgastados com o uso de lixas de granulação 200, 400, 600 e 1200, dando um acabamento que não permitisse a retirada do material de tratamento depositados na semente, obtivesse uma rugosidade baixa e também produzisse um desgaste plano para não mascarar resultados. A Figura 38 apresenta o resultado do trabalho realizado para com as sementes, para tornarem-se aptas a serem analisadas. Nota-se que as mesmas se encontram desgastadas até o ponto médio de cada corpo de prova. Esse ponto não era fixo, porque era dependente do diâmetro de cada grupo de sementes. Sendo assim, procurou-se atingir o ponto médio do grupo para não dificultar o trabalho de análise de cada semente.

Figura 38: Corpos de prova prontos para serem analisados

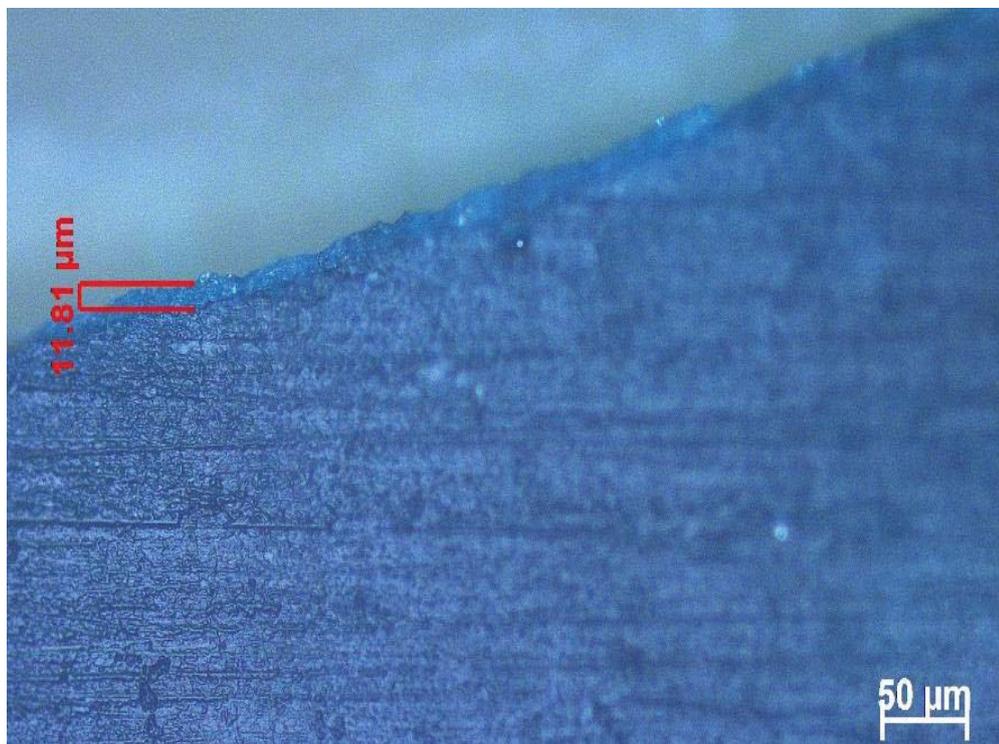


Fonte: Autor.

Com o auxílio de um microscópio, do laboratório de Metalografia da Engenharia Mecânica na Universidade de Passo Fundo, foi possível retirar as medidas de espessura referentes às sementes utilizadas. As medições ocorreram com auxílio de um *software* do próprio fabricante do microscópio, o que permitiu realizar as medições de espessura de cada semente.

O local da medição era de livre escolha pelo funcionário do laboratório para não haver tendências nas medições e nos resultados. A Figura 39 mostra uma das medições realizadas pelo microscópio.

Figura 39: Amostra de medição de espessura realizada



Fonte: Autor.

Após realizadas as medições pode-se montar a Tabela 5 com os valores referentes à cada tipo de semente. Importante ressaltar que um dos corpos de prova foi danificado e não pode ser analisado nos experimentos. A Tabela 5 apresenta os valores medidos para os dois tipos de semente.

Esses valores foram manipulados no *software* estatístico SisVar, onde através de uma análise descritiva, com uso de método empírico pode-se plotar e verificar os dados provindos das amostras da Tabela 5. Sendo assim, tem-se os resultados de cada tipo de semente analisada.

Tabela 5: Valores das amostras analisadas

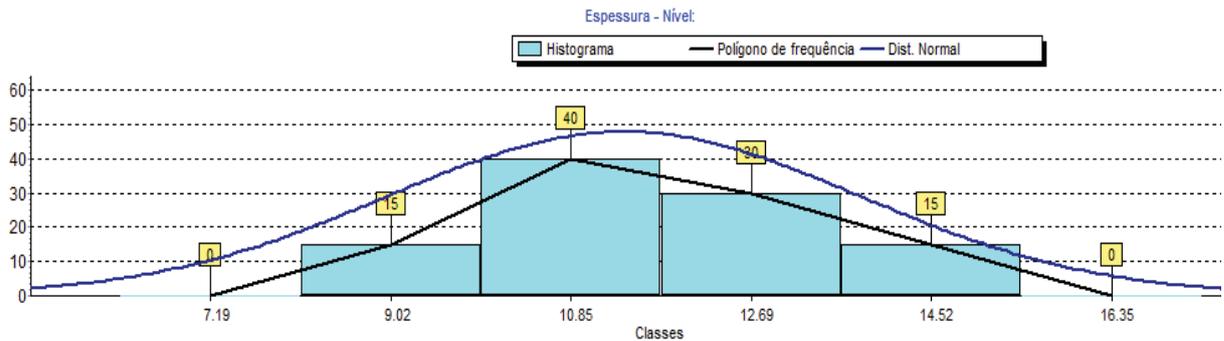
| AMOSTRA | TIPO 1(μm) | TIPO 2(μm) |
|---------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | 11,29 | 24,9 |
| 2 | 11,96 | 21,14 |
| 3 | 11,91 | 14,8 |
| 4 | 11 | 15,34 |
| 5 | 13,82 | 18 |
| 6 | 11,03 | 21,75 |
| 7 | 13,45 | 16,93 |
| 8 | 10,93 | 18,81 |
| 9 | 14,52 | 20,88 |
| 10 | 12 | 33,57 |
| 11 | 10,2 | 29,85 |
| 12 | 10,25 | 31,45 |
| 13 | 9,13 | 20,38 |
| 14 | 12,24 | 17,53 |
| 15 | 11,65 | 11,96 |
| 16 | 11,84 | 22,41 |
| 17 | 13,71 | 20,04 |
| 18 | 11,69 | 14,82 |
| 19 | 9,02 | 15,57 |
| 20 | 9,51 | 12,06 |
| 21 | | 19,75 |
| 22 | | 21,17 |
| 23 | | 18,64 |
| 24 | | 17,84 |

Fonte: Autor.

4.3.1 Análise da semente de tipo 1

A semente de tipo 1 tem coloração verde e apresentou vinte amostras aptas a serem analisadas pelo *software*. Dessa forma, a Figura 40 apresenta o histograma relativo a esse tipo de semente.

Figura 40: Histograma referente à semente de tipo 1



Fonte: Autor.

Além do histograma apresentado, a Tabela 6 traz as informações geradas pelo *software* sobre o experimento realizado.

Tabela 6: Resultado da análise da semente de tipo 1

| Análise semente tipo 1 | |
|-------------------------------|--------|
| Estatística Descritiva Básica | |
| Número de amostras | 20 |
| Média Aritmética Amostral | 11,55 |
| Variância | 2,33 |
| Desvio Padrão | 1,526 |
| Coefficiente de Variação | 13,21% |
| Valor Mínimo | 9,02 |
| Valor Máximo | 14,52 |

Fonte: Autor.

Em função dos dados apresentados na Tabela 6 e no histograma da Figura 40 pode-se dizer que os valores de espessura obedecem à curva normal traçada pelo *software*. Como existiam vinte amostras, essas foram divididas em quatro classes, sendo a primeira classe com frequência igual a três, a segunda oito, a terceira seis e a quarta três. Em outros termos, tem-se que: 40% das amostras analisadas ficaram próximas ao ponto médio da curva normal e um pouco mais afastado, mas ainda muito próximo, do ponto médio estão 30% das amostras, os outros 30% ficaram nas extremidades do histograma apresentado. Sendo o desvio padrão a raiz quadrada da variância, ele representa o quanto os valores podem estar dispersos ou

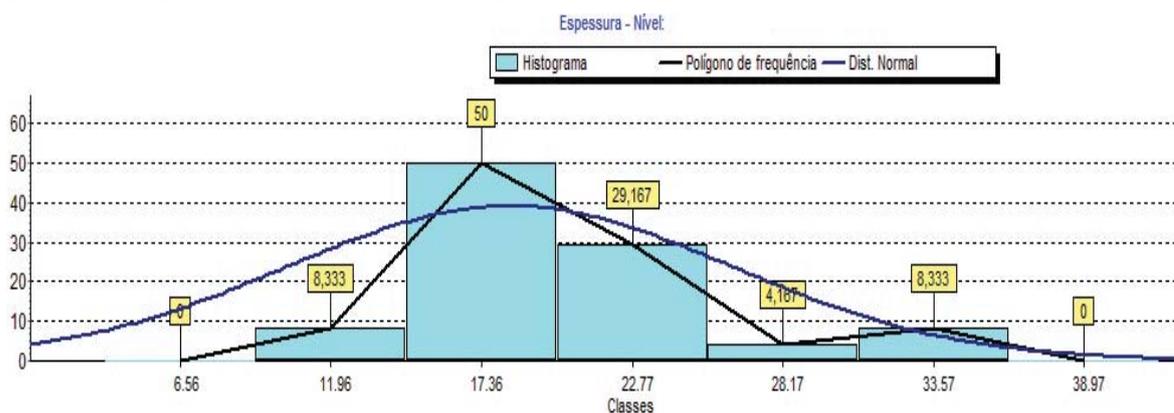
próximos. Dessa forma, nessa análise o mesmo apresentou um valor de 1,52 que pode ser considerado muito bom para o dado aqui testado.

Além disso, a porcentagem do coeficiente de variação encontrada foi de 13%. Segundo os estudos de estatística, se o valor do coeficiente de variação for menor que 15% as amostras podem ser consideradas homogêneas, se o mesmo estiver entre 15% e 30% há uma média dispersão, mas se o valor for maior que 30% considera-se as amostras heterogêneas (BONAFINI, 2014). Assim, pode-se concluir que esse tipo de tratamento foi adequado em termos de cobertura da semente, já que proporcionou uma espessura considerada homogênea segundo o teste realizado.

4.3.2 Análise da semente de tipo 2

As sementes de tipo 2 são avermelhadas e foram analisadas com o mesmo processo descrito para as sementes de tipo 1. A Figura 41 apresenta o histograma gerado pelo *software* utilizado para a análise.

Figura 41: Histograma referente à semente de tipo 2



Fonte: Autor.

Além do histograma apresentado, a Tabela 7 apresenta as informações geradas pelo *software* sobre o experimento realizado:

Tabela 7: Resultado da análise da semente de tipo 2

| Análise semente tipo 2 | |
|-------------------------------|--------|
| Estatística Descritiva Básica | |
| Número de amostras | 24 |
| Média Aritmética Amostral | 19,98 |
| Variância | 30,39 |
| Desvio Padrão | 5,51 |
| Coeficiente de Variação | 27,59% |
| Valor Mínimo | 11,96 |
| Valor Máximo | 33,57 |

Fonte: Autor.

Da Tabela 7 e do histograma apresentado na Figura 41 pode-se dizer que os valores de espessura encontrados não obedecem totalmente a curva normal traçada pelo *software*. Nessa análise as amostras foram divididas em cinco classes, sendo a primeira classe com frequência igual a dois, a segunda doze, a terceira sete, a quarta um e a quinta dois. Dessas amostras, a classe que mais se aproximou da média aritmética, também foi a que apresentou maior porcentagem de amostras, cerca de 50% delas. Ainda, 29.16% das amostras ficaram próximas à média, mas um pouco deslocadas à direita. O restante, cerca de 20% das amostras, ficou disperso, o que justificou o desvio padrão mais elevado.

Dito isso, releva-se que devido à alta variância dessas amostras o desvio padrão teve seu valor fixado em 5,51, esse valor afirma o apresentado pelo histograma, mostrando uma maior dispersão de valores e maior número de classes. Além disso, o coeficiente de variação apresentou um valor de 27%, o que demonstra que as amostras não são homogêneas, sendo então classificadas segundo a literatura como de média dispersão.

4.3.3 Conclusão da análise

Com a análise estatística realizada foi possível determinar que as sementes de tipo 1, coloração verde, apresentaram homogeneidade em suas amostras, mesmo que com um corpo de prova a menos que a de tipo 2. Um dos motivos que pode ter influenciado nesse resultado é o tamanho e o formato da variedade de sementes utilizada. Para se ter uma ideia é apresentada a Figura 42, onde estão os dois tipos de sementes. Nota-se a olho nu que as mesmas têm essas características muito diferentes.

Figura 42: Amostras comparadas em termos de tamanho e formato



Fonte: Autor.

O diâmetro das sementes de tipo 1, que são esféricas, ficaram entre 6 e 8,4 mm, enquanto as sementes de tipo 2 têm formato paraboloide, isso exige que sejam realizadas duas medidas, a de eixo horizontal que mediu de 5 a 7,8 mm e a de eixo vertical medindo entre 3,8 a 5,6 mm. De certa forma, isso implica numa diferença básica de deslizamento dentro do rolo homogeneizador, podendo alterar a forma como cada uma recebeu e distribuiu o tratamento. Além disso, a quantidade de sementes por massa conhecida é muito diferente. Ou seja, 1 Kg de sementes de coloração verde é uma quantia menor de sementes do que 1 Kg de sementes vermelhas. Isso implica em uma área maior a ser tingida nas sementes de tipo 2, o que pode ter ocasionado tal diferença. Não foi possível mensurar a diferença, pois não foram adquiridas as sementes *in natura*, apenas as já tratadas.

Outro fator que pode ter sido crucial a essa diferença encontrada é o tipo de tratamento realizado em cada espécie de semente. Nota-se, pela coloração, que as mesmas obtiveram marcas e produtos diferenciados, consequentemente, os volumes aplicados foram diferentes entre os tipos. Isto influencia na distribuição do produto, assim como a densidade de cada insumo utilizado. Como não foi disponibilizado os tipos de tratamentos utilizados não se pode realizar uma comparação quanto à essa variável.

4.4 Análise da semente por terceiros

Visando obter os melhores resultados quanto ao uso do equipamento, foi requisitado uma análise das sementes tratadas em uma determinada UBS. O laboratório de análises

escolhido foi a *The Seedcare Institute* pertencente à Syngenta®, que é hoje um dos laboratórios mais requisitados e respeitados na área de tratamento de sementes.

Foram avaliados quatro tipos de sementes tratadas do cultivar soja, com suas respectivas receitas. A variável analisada foi a quantidade, em gramas, de TMX (inseticida Cruisr®) por quilograma de semente tratada. Dessa forma, a Tabela 8 apresenta a quantidade de TMX de referência, o intervalo de aceitação para aprovação, o resultado obtido, a porcentagem de acerto do tratamento e a conclusão da análise.

Uma cópia da análise está disponível no Anexo A deste trabalho, que está registrado no *Seedcare Institute* sob código: HPLC COA N°371.

A partir dessa análise pode-se comprovar a eficácia do equipamento desenvolvido neste trabalho. Com tolerância aplicada de 10% de erro para cada tratamento, o equipamento foi aprovado em todas as análises realizadas pelo laboratório, inferindo-se que para todas as cultivares o resultado foi inferior a essa tolerância.

Tabela 8: Dados da análise de soja no *Seedcare Institute*

| Cultivar | Referencia (g de TMX/kg) | intervalo de aceitação | Resultado Obtido (g de TMX/kg) | %Acerto | Conclusão |
|---------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------|---------|-----------|
| TMG 7262 RR | 0,88 | 0,79 a 0,96 | 0,87 | 98 | aprovado |
| TMG 7262 RR | 0,88 | 0,79 a 0,96 | 0,86 | 98 | aprovado |
| TMG 7262 IPRO | 0,88 | 0,79 a 0,96 | 0,81 | 91 | aprovado |
| TMG 7262 IPRO | 0,7 | 0,63 a 0,77 | 0,65 | 93 | aprovado |

Fonte: Adaptado de *Seedcare Institute* (2017).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo refere-se à conclusão do trabalho com relação aos objetivos estabelecidos e contribuição científica que o trabalho proporcionou, assim como, traz sugestões para trabalhos futuros.

5.1 Análise dos objetivos

O objetivo geral deste trabalho era o de desenvolver um sistema que permitisse o controle sobre o tratamento de sementes de forma autônoma. Esse objetivo foi cumprido, pois o protótipo concebido é capaz de realizar o tratamento de sementes com fluxo contínuo e com controle sobre os insumos aplicados à semente.

Os conceitos metodológicos utilizados foram de grande valia, pois permitiram reduzir o tempo de projeto e orientaram a elaboração de soluções para o protótipo construído. A metodologia aplicada reduziu retrabalhos e erros recorrentes a projetos que não se utilizam dela. Permitiu, também, gerar uma documentação que servirá de aporte e guia para a produção do produto.

O controle realizado pela automação do processo funcionou de forma satisfatória, não acarretando em erros que afetassem o tratamento da semente. Através das análises realizadas houve a comprovação de que o sistema respondeu às demandas definidas na lista de requisitos e do fabricante do equipamento. Foi possível controlar todas as variáveis do processo sem que alguma delas gerasse variabilidades significativas.

A IHM se mostrou muito importante para o processo, pois funcionou de forma intuitiva ao operador, que se adaptou de forma fácil ao sistema. Além disso, a possibilidade de gravação dos dados em disco (Pen Drive) possibilitou que fossem geradas documentações para balanço e controle de produção. Outro ponto positivo, foi a geração de um sistema de alarmes que indica ao operador onde a falha ocorre. Esses dados também são gravados em disco para posterior utilização. O uso da tecnologia *touch screen*, com a tela mais interativa, mostrou-se eficaz para o uso do equipamento e traz para o mesmo uma tecnologia utilizada em diversos dispositivos do cotidiano das pessoas.

A construção do protótipo foi definitivamente importante para que se comprovasse os testes e medições pertinentes ao funcionamento. A montagem foi realizada de forma fácil e obedece a requisitos das normas vigentes, além de ir ao encontro do que foi proposto no esclarecimento da tarefa - primeira fase da metodologia aplicada. O protótipo teve que passar por alguns ajustes, como em todo projeto inovador, mas ao final mostrou-se capaz de realizar a função proposta, sendo então liberado para outros testes que não ocorrerão dentro do chão de fábrica, mas em UBS e fazendas de parceiros.

Os testes realizados foram aplicados a semente (teste de homogeneidade) e ao equipamento (teste de controle de volumes). Esses foram bem-sucedidos como apresentado na apresentação e discussão dos resultados (Capítulo 4), ratificados, inclusive, pelo teste realizado em laboratório especializado.

O protótipo final conta com quatro tanques para insumos, sendo todos eles capazes de trabalhar com os limites e volumes já mencionados no trabalho. A máquina tem capacidade de tratamento não só de sementes de soja, mas de outras cultivares que estão sendo testadas e analisadas, com capacidade máxima de 500kg de semente por minuto.

5.2 Contribuição científica

Este trabalho teve como contribuição científica a construção de um equipamento que visou utilizar de tecnologias atuais para melhorar condições de trabalho e eficiência de um sistema manual. O desenvolvimento deste estudo destaca a possibilidade de medição de fluxos danosos sem a intervenção humana, realizando a autocorreção do sistema pela realimentação implementada. O equipamento construído permite o seu uso com variações de tipos de sementes com diferentes massas específicas, por meio de adequações.

Configura uma contribuição científica, ainda, a possibilidade de uso do equipamento em produção de escala variada, em locais com baixa, média e alta produção de sementes tratadas, com diferentes volumes de insumo a serem aplicados. Além disso, este trabalho comprovou que o uso de metodologias de desenvolvimento em equipamentos já existentes pode ser praticado, de forma a contribuir no melhoramento e evolução do projeto, reduzindo possibilidades de enganos e erros durante o desenvolvimento do mesmo.

5.3 Trabalhos futuros

Como sugestão para a continuidade deste trabalho são apontadas algumas linhas de trabalho:

- a) projetar um modelo de maquinário que trabalhe em fluxo discreto (batelada);
- b) realizar o controle em malha fechada do sistema de pó secante e grafite;
- c) aprimorar o sistema com a colocação de mais tanques de insumo (seis ou oito tanques);
- d) utilizar de rede de internet para aquisição de dados de produção e calibração, assim como suporte a distância do equipamento;
- e) realizar testes e análises com outros tipos de cultivares comuns na agricultura brasileira.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 11841**: Dispositivos-fusíveis de baixa tensão, para uso por pessoas autorizadas - Fusíveis com contatos tipo faca. Brasília, 1992.

AGROFIOR. **Homepage**. Disponível em: <<http://www.agrofior.com.br>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H.; SHARP, T. C. Agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 16, 2007, Uberlândia. **Anais...Uberlândia**: Embrapa Algodão, 2007. p. 1-21.

ARVIND, R. V. et al. Industrial automation using wireless sensor networks. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 8, fev. 2016.

BARBOSA, I. M. et al. Estudo da viabilidade técnica e projeto conceitual de uma maca de banho para uso hospitalar. **Revista Geintec**, São Cristóvão-SE, v. 5, n. 1, p. 1792-1808, 2015.

BAXTER, M. **Projeto de produto**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BERNARDI, A. C. de C. et al. **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Brasília: Embrapa, 2014.

BIOGENE. **Tratamento de sementes**. 2015. Disponível em: <<http://www.biogene.com.br/tratamento-de-sementes>>. Acesso em: 5 abr. 2016.

BONAFINI, F. C. **Matemática e estatística**. São Paulo: Pearson, 2014. v.2.

BOSCHI, T. F. **Processo de recolhimento de embalagens vazias de agrotóxicos e uma abordagem das embalagens vazias provenientes do tratamento de sementes industrial.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

CAMARGO, V. L. A. **Elementos de automação.** São Paulo: Érika, 2014.

CASTRO, S. A. et al. Tratamento de sementes de soja com inseticidas e um bioestimulante. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.43, n.10, p.1311-1318, out. 2008.

CECCON, G. et al. Efeito de inseticidas na semeadura sobre pragas iniciais. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 227-237, 2004.

CLP CENTER. **Homepage.** Disponível em: <www.clpcenter.com.br>. Acesso em: 12 maio 2017.

DARONCO, V. et al. Avaliação da eficácia de óleos essenciais nos tratamentos de sementes de soja. **Revista Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 13, n. 1, p. 47-52, 2016.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja:** região central do Brasil 2014. Londrina-PR: Embrapa Soja, 2013.

EMBRAPA. **Homepage.** Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 20 dez. 2015.

FRANCHI, C. M. **Controle de processos industriais.** São Paulo: Érika, 2011.

_____. **Sistemas de acionamento elétrico.** São Paulo: Érika, 2014.

FRANCO, D. F et al. **Colheita, secagem, beneficiamento e tratamento de sementes de arroz irrigado.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013.

FRANCO, D. F.; FAGUNDES, R. R.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de. **Tratamento de sementes de arroz.** Comunicado Técnico 272. Pelotas: Embrapa, 2011.

GASPARIN, D. **Desenvolvimento conceitual de uma máquina de ensaios mecânicos tipo pórtico.** 2014. Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de Fabricação) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2014.

GOULART, A. C. P. **Tratamento de sementes de soja com fungicidas:** recomendações técnicas. Circular técnica nº. 8. Dourados: Embrapa- CPAO, 1998.

GRAZMEC. **Homepage.** Disponível em: <<http://www.grazmec.com.br/produto/gv-500i-spray-system/>>. Acesso em: 5 abr. 2016.

GROOVER, M. **Automação industrial e sistemas de manufatura.** 3. ed. São Paulo, SP: Pearson, 2014.

HENNING, A. A. **Patologia e tratamento de sementes:** noções gerais. 2. ed. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2005.

_____ et al. **Importância do tratamento de sementes de soja com fungicidas na safra 2010/2011, ano de "La Niña"**. Londrina: Embrapa, 2010.

KNOB, M. J. **Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

LOPES, M. A.; CONTINI, E. Agricultura, sustentabilidade e tecnologia. **Agroanalysis**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 27-34, 2012.

LORINI, I.; MORÁS, A.; BECKEL, H. **Tratamento de sementes armazenadas com pós inertes à base de terra de diatomáceas**. Passo Fundo: Embrapa, 2003.

LUDWIG, M. P. et al. Eficiência do recobrimento de sementes de soja em equipamento com sistema de aspersão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 557-563, abr. 2011.

LUDWIG, M. P.; BAUDET, L. Opções em máquinas para tratamento de sementes. **Campo & Negócios**, Uberlândia-MG, p. 42-43, abr. 2011.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de precisão**. 3. ed. Brasília, 2013.

_____. **Agricultura de precisão**. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/carta-de-servico-ao-cidadao/desenvolvimento-agropecuario/agricultura-precisao>>. Acesso em: 17 abr. 2016.

MARTINS, J. F. D. S.; BOTTON, M.; CARBONARI, J. J. Efeito de inseticidas no tratamento de sementes e na água de irrigação no controle de *Oryzophagus oryzae*, em arroz irrigado. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 2, n. 1, p. 27-32, jan. 1996.

MAUCH, N. **Follow science**. 2014. Disponível em: <<http://followscience.com/content/268509/tratamento-de-sementes/>>. Acesso em: 17 abr. 2016.

MAZIERO, L. M. **Inventário de máquinas de tratamento de semente**. Passo Fundo: Intec, 2005.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. D. L. **Engenharia de automação industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia**. 6. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

PENEDO, S. R. M. **Sistemas de controle**. São Paulo: Érika, 2014.

QUEVEDO, D. B. **Aplicação de métodos de projeto no desenvolvimento de carrocerias de ônibus: um estudo de caso**. 2014. Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de Fabricação) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2014.

RESENDE, Á. V. et al. Agricultura de precisão no Brasil: avanços, dificuldades e impactos no manejo e conservação do solo, segurança alimentar e sustentabilidade. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA, 18, 2010, Teresina. Anais...Teresina: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010.

REVISTA CAMPO e NEGÓCIO. **Homepage**. Disponível em:<<http://www.revistacampoenegocios.com.br/a-revista/>>. Acesso em: 5 abr. 2016.

ROMEIRO FILHO, E. et al. **Projeto de produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SILVA, C. B.; MORAES, M. A.; MOLIN, J. P. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo. **Precision Agriculture**, Brasil, p. 1-15, 2010.

STEIN, M.; FIOD NETO, M. **Desenvolvimento de metodologia para projeto de embalagens enfatizando aspectos estéticos para atratividade**. Florianópolis, 1997.

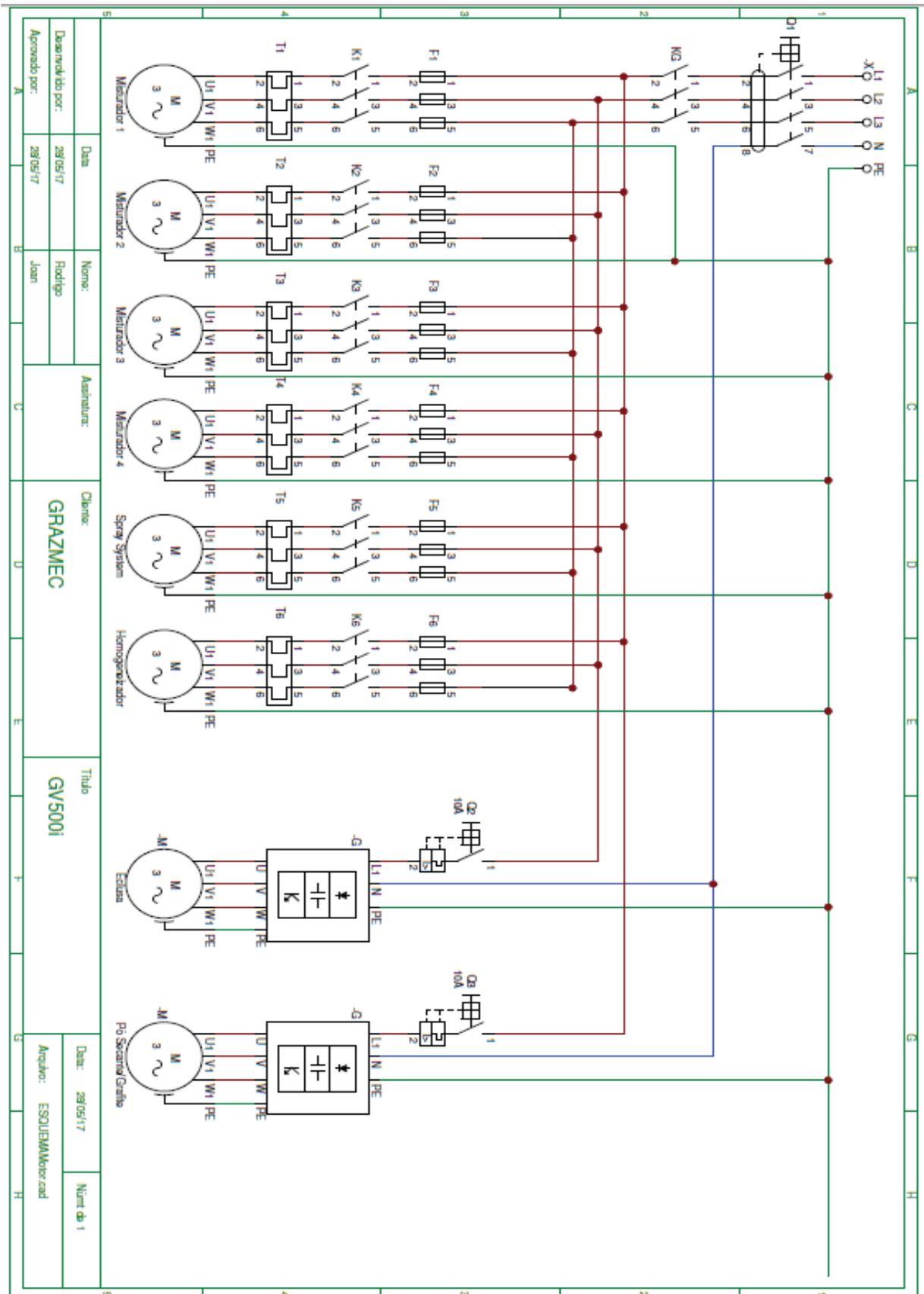
TECNOMA. **Homepage**. Disponível em: <<http://www.tecnoma.com.br>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

THRAMBOULIDIS, K. A cyber–physical system-based approach for industrial automation systems. **Computers in Industry**, v. 72, p. 92-102, 2015.

TRINDADE, A. V. **Desenvolvimento de um sistema de movimentação e fixação para galpão metálico industrial**. 2016. Dissertação (Mestrado em Projeto e Processos de Fabricação) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.

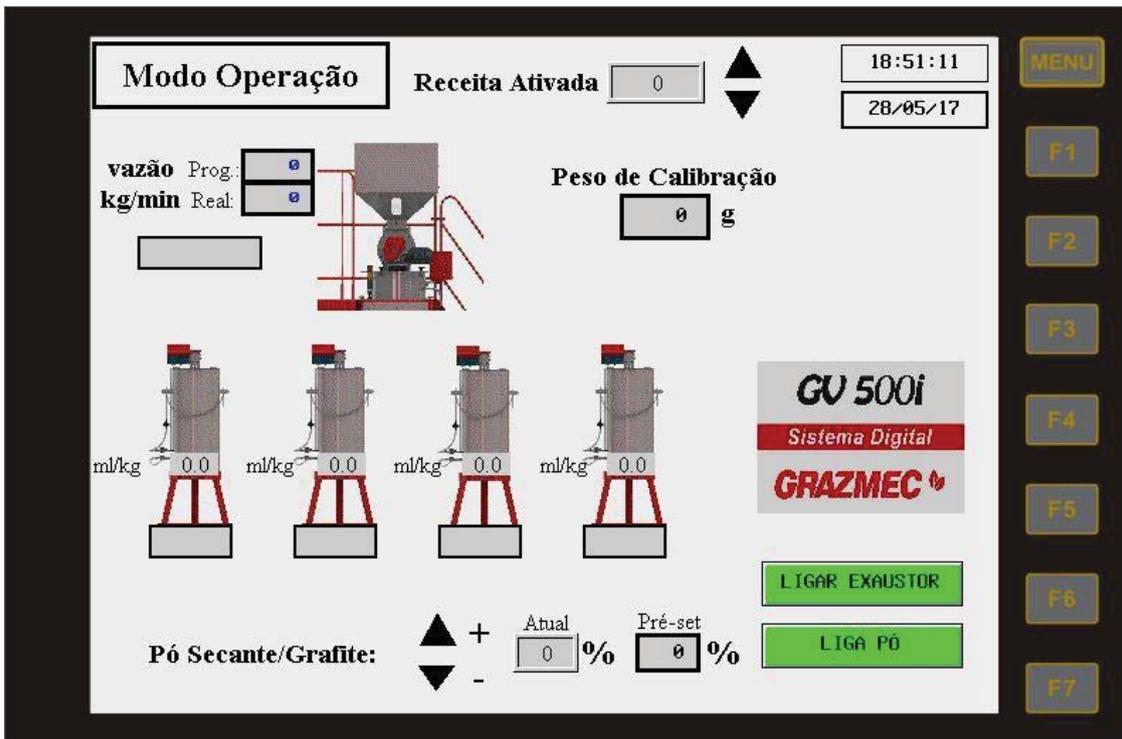
YADAV, B. P. et al. Effect of seed treatment on plant population maintenance of maize under rainfed conditions during winter season at parwanipur, Bara, Nepal. **International Journal of Applied Sciences and Biotechnology**, v. 4, n. 1, p. 113-116, mar. 2016.

Apêndice A - Esquema elétrico do sistema de acionamento de motores

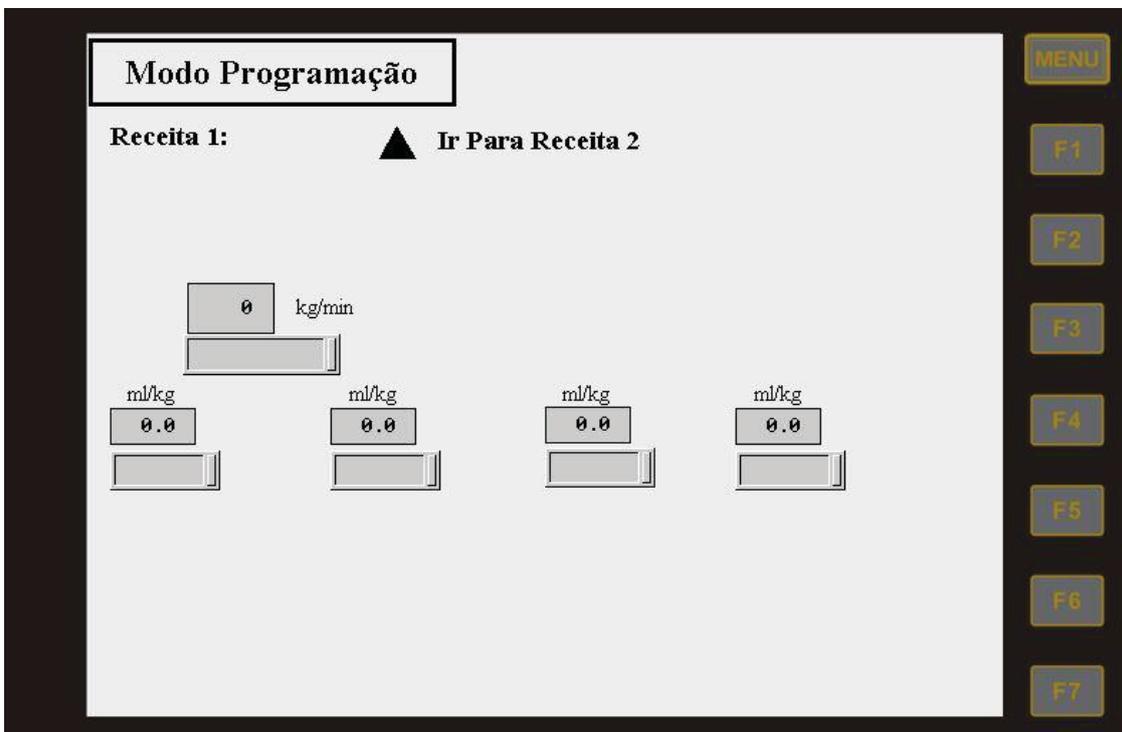


Apêndice B - Telas do *firmware* da IHM

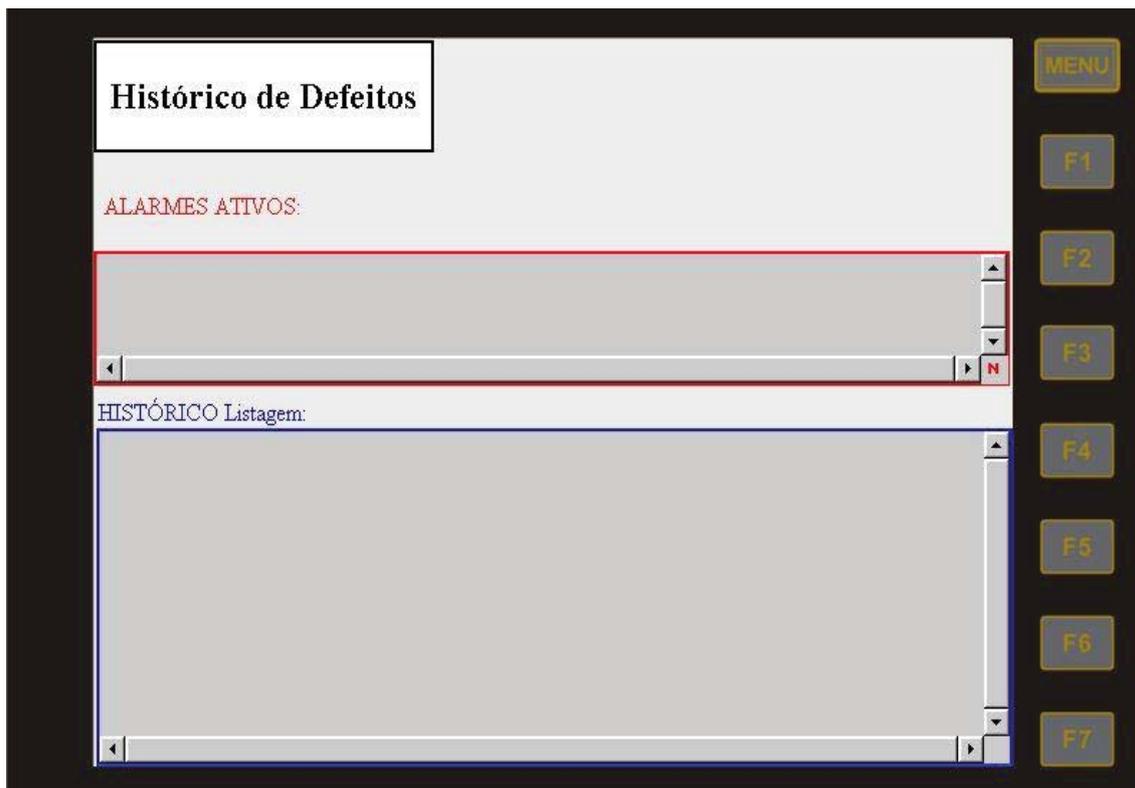
Tela de operação:



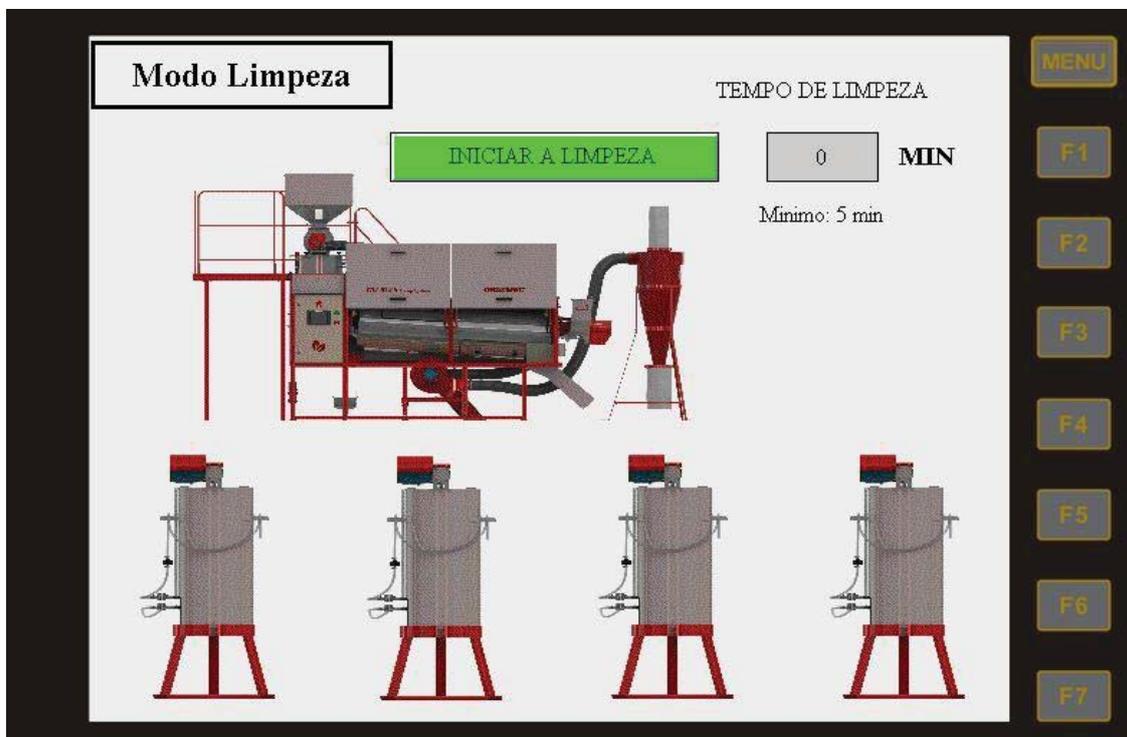
Tela de Programação de receitas (há dez telas iguais a apresentada):



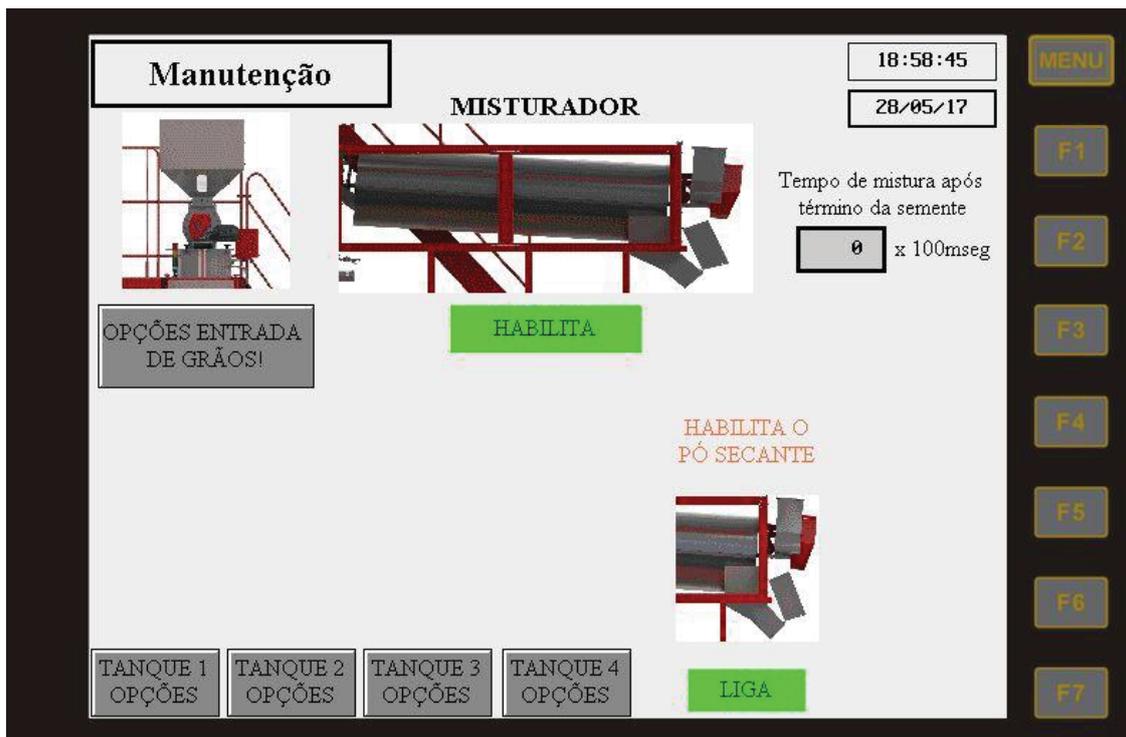
Tela de monitoramento e histórico de alarmes:



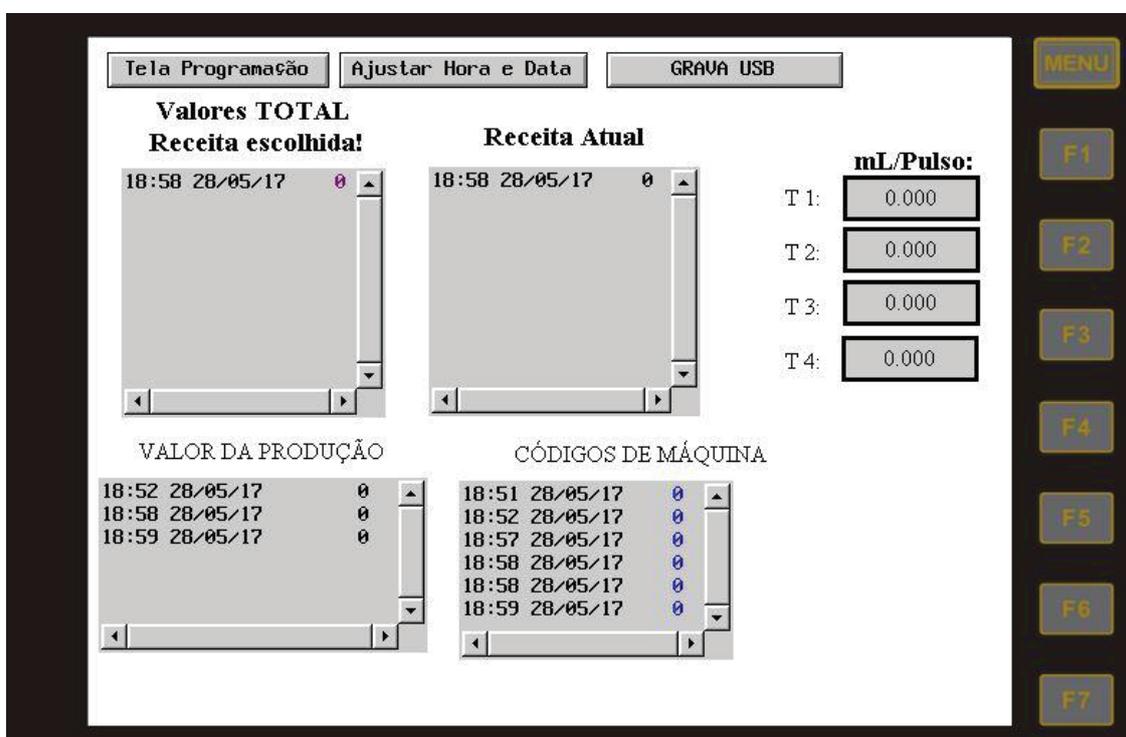
Tela de limpeza do sistema:



Tela de manutenção (sistema em manual):



Tela de ajustes de calibração e códigos de máquina:



Agosto August Agosto August

DISTRIBUIDORES

syngenta®

Certificado de Análise HPLC COA N°371

THE
SEEDCARE
INSTITUTE™

Laboratório de Qualidade Assegurada

Informações das amostras

| | | | |
|--|--------------------------------------|---|---|
| Solicitante: Fabio Siebeneichler (Van Ass) | | Local de tratamento: UBS Granja União - Condor/RS | |
| Cultura: Soja | | Método de análise: HPLC | |
| Acondicionado em: Sacos de papel | | Temperatura de armazenamento: 25°C | |
| Receita: Conforme relação abaixo | | Número de amostras analisadas: 6 | |
| Período | Recebimento das amostras: 08/09/2016 | Entrega de resultado: | Período entre recebimento das amostras e entrega dos resultados: 5 dias úteis |
| Coleta: 24/08/2016 | | 15/09/2016 | |

| Controle Interno QA | Híbrido / Cultivar | Lote | Data do tratamento de sementes | Receita | Resultado Referência g de TMX/Kg de sem. | Intervalo de aceitação | Resultado Obtido g de TMX/Kg de sem. | % Acerto | Conclusão da Análise HPLC |
|---------------------|--------------------|------|--------------------------------|--|--|------------------------|--------------------------------------|----------|---------------------------|
| SCI-4549-2016 | TMG 7262 RR | 1147 | NI | Maxim Advanced (100ml) + Cruiser 350 FS (250ml) + L232 (100ml) + Fluidos F028 (200 gr) + CoMo (100 ml) | 0,88 | 0,79 a 0,96 | 0,87 | 98 | Aprovado |
| SCI-4550-2016 | TMG 7262 RR | 1129 | NI | Maxim Advanced (100ml) + Cruiser 350 FS (250ml) + Liko Seed 1452 (100ml) + Fluidos F028 (200 gr) + CoMo (100 ml) | 0,88 | 0,79 a 0,96 | 0,86 | 98 | Aprovado |
| SCI-4551-2016 | TMG 7062 IPRO | 1077 | NI | Maxim Advanced (100ml) + Cruiser 350 FS (250ml) + L232 (100ml) + Fluidos F028 (200 gr) + CoMo (100 ml) | 0,88 | 0,79 a 0,96 | 0,81 | 91 | Aprovado |
| SCI-4552-2016 | TMG 7062 IPRO | 1081 | NI | Maxim Advanced (100ml) + Cruiser 350 FS (200ml) + Annulet (100ml) + L232 (100ml) + Fluidos F028 (200 gr) + CoMo (100 ml) | 0,70 | 0,63 a 0,77 | 0,65 | 93 | Aprovado |