

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MICHELE MENEZES CUSTÓDIO

**PROJETO DE AUTOMAÇÃO MODULAR PARA CONTROLE DE RECURSOS NA
PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS**

**Alegrete
2018**

MICHELE MENEZES CUSTÓDIO

**PROJETO DE AUTOMAÇÃO MODULAR PARA CONTROLE DE RECURSOS NA
PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Mauricio Paz França.

**Alegrete
2018**

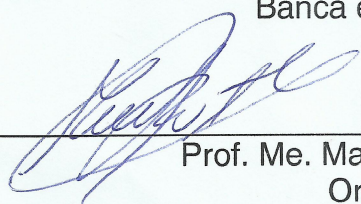
MICHELE MENEZES CUSTÓDIO

**PROJETO DE AUTOMAÇÃO MODULAR PARA CONTROLE DE RECURSOS NA
PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS**

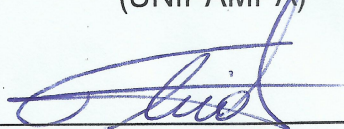
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:
04 de dezembro de 2018

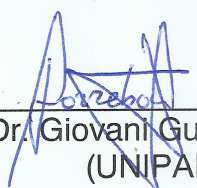
Banca examinadora:



Prof. Me. Mauricio Paz França.
Orientador
(UNIPAMPA)



Prof. Me. Thiago da Silveira
(UNIPAMPA)



Prof. Dr. Giovanni Guarienti Pozzebon
(UNIPAMPA)

AGRADECIMENTO

A graduação, uma das fases mais importantes da minha vida, onde pude converter muitos dos meus erros e acertos em experiências. Uma fase com momentos difíceis, mas com muitas oportunidades.

Conheci pessoas incríveis, algumas distribuíram conhecimentos, paciência e sabedoria, outras histórias. Uma das melhores parcelas dessa trajetória foram os amigos, Marcelo Fonseca, Taciana Albring, Matheus Momolli, Luis Fernando Camponogara, Carolina Fernandes, entre outros. Tantas conversas, acontecimentos, relatos, correria dos trabalhos em grupo.

Aos professores o reconhecimento pelas oportunidades que me proporcionaram, aprendi muito. Em especial ao professor Alessandro Girardi, pelo trabalho de extensão (que ajudou a trabalhar meu problema com timidez), ao professor Wang Chong, por disponibilizar meu acesso ao Lab. 105 (lugar onde construí minha história acadêmica) e ao professor Mauricio França, por sua disponibilidade e pela confiança depositada em mim.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais, que me incentivaram a ter persistência e inspiraram todo meu esforço em seguir em frente, nas ocasiões de fracasso ou de sucesso, ofereceram consolo e segurança, sou eternamente grata. Espero um dia retribuir todo o carinho e amor que depositaram em mim, pois foi pelo incentivo de todos que posso comemorar a conclusão de mais uma etapa, a minha formação em um curso superior.

“A persistência é o caminho do êxito”.

Charles Chaplin

RESUMO

Este trabalho traz o desenvolvimento de um projeto de produto, baseando-se nos métodos e conceitos de projeto conceitual e detalhado, direcionado a concepção de um sistema de automação de estufas com plantio *indoor* e modular. O problema em questão é a inexistência de um produto com finalidade de executar a tarefa proposta por este trabalho. A proposta deste trabalho visa solucionar essa demanda existente através da elaboração e testes de um projeto de automação modular para controle de recursos na produção de hortaliças. O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um projeto de sistema de automação que tenha capacidade de executar de modo automático a produção de hortaliças em estufas. Como método utilizado, fez-se o uso da pesquisa experimental, baseando-se nas informações coletadas na revisão bibliográfica. Com o método teoria geral de projeto conceitual e de projeto detalhado, fez-se o desenvolvimento de uma estufa de testes para acompanhamento e mensuração dos resultados alcançados. Como conclusão, conseguiram-se reduções consideráveis no uso dos recursos, de 23,4% no consumo de energia elétrica e 16,8% no consumo de água.

Palavras-chave: Automação; Plantio em estufas; Controle de sistemas.

ABSTRACT

This work brings the development of a product design, based on the methods and concepts of conceptual and detailed design, directed to the design of a system of automation of greenhouses with indoor and modular planting. The problem in question is the inexistence of a product with the purpose of performing the task proposed by this work. The purpose of this work is to solve this existing demand through the elaboration and testing of a modular automation project to control resources in the production of vegetables. The main objective of this work is to develop an automation system design that has the ability to automatically run vegetable production in greenhouses. As a method used, the experimental research was done, based on the information collected in the bibliographic review. With the method used, general theory of conceptual design and detailed design, a test greenhouse was developed to follow up and measure the results achieved. As a conclusion, considerable reductions in the use of resources were achieved, of 23.4% in electric energy consumption and 16.8% in water consumption.

Keywords: Automation; Planting in greenhouses; Control systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Caracterização de plantio modular no Brasil.....	18
Figura 2 – Sistemas SISO e sistemas MIMO.....	19
Figura 3 – Exemplo do uso de automação industrial na agricultura.....	20
Figura 4 – Automação de irrigação em ambiente protegido.....	21
Figura 5 – Diagrama de um sistema de bombeamento.....	22
Figura 6 – Diagrama de desenvolvimento de um produto.....	23
Figura 7 – Método de planejamento de produto seguindo o modelo PRODIP.....	24
Figura 8 – Definição da área de controle e número de módulos máximo do sistema.....	26
Figura 9 – Desmembramento da função global.	30
Figura 10 – Desmembramento de funções abaixo do plano de atuação.....	31
Figura 11 – Desmembramento de funções abaixo do plano de leituras.....	32
Figura 12 – Fluxograma inicial do desenvolvimento do objetivo.....	34
Figura 13 – Detalhamento das tarefas, prazos e pré-requisitos no andamento do projeto.....	35
Figura 14 – Desmembramento dos SSC's.....	36
Figura 15 – Subsistema de controle detalhado.....	36
Figura 16 – Detalhamento do subsistema de bombeamento.....	37
Figura 17 – Detalhamento do subsistema de sensoriamento.....	37
Figura 18 – Detalhamento do sistema de atuação.....	37
Figura 19 – Sistema de controle elétrico.....	38
Figura 20 – Sistema de interface e comunicação.....	38
Figura 21 – Placa de controle <i>Arduino DUE</i>	39
Figura 22 – Diagrama simplificado das ações em termos de rede elétrica.....	40
Figura 23 – Módulo de relés com 16 canais.....	41

Figura 24 – Ligação elétrica do módulo de relés, do <i>Arduino</i> até a placa.....	41
Figura 25 – Ligação das motobombas.....	42
Figura 26 – Válvula <i>solenóide</i> para controle de fluxo.....	44
Figura 27 - Quadro de controle do E-tech.....	46
Figura 28 – Definição de um módulo no E-Tech.....	47
Figura 29 – Modo de irrigação emergencial.....	48
Figura 30 – Imagens do protótipo.....	48
Figura 31 – Arquivo gerado com o <i>Arduino Datalogger Shield</i>	49
Figura 32 – Estufa de testes em fase de construção.....	50
Figura 33 – Alface em fase avançada de desenvolvimento.....	51
Figura 34 – Tomate já em desenvolvimento avançado, dias antes da colheita.....	52
Figura 35 – Comparativo de desvio padrão das leituras de umidade em diferentes pontos do módulo cultivado.....	52
Figura 36 – Comparativo entre o consumo elétrico dos dois métodos.....	53
Figura 37 – Comparativo do consumo de água nos 10 meses de teste.....	54
Figura 38 – Diâmetro máximo dos tomates cultivados no plantio.....	55
Figura 39 – Tomates colhidos no sistema controlado.....	55
Figura 40 – Alface cultivado em modo convencional.....	56
Figura 41 – Alface cultivado no modo controlado.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos de projeto.....	28
Tabela 2 – Análise das necessidades do pós-vendas.....	33

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1 INTRODUÇÃO	14
1. 1 Objetivos do trabalho.....	15
1. 2 Definição e delimitação do problema de pesquisa.....	16
1. 3 Justificativa	16
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	17
2. 1 O uso de automação na agroindústria.....	17
2. 2 Plantio modular de hortaliças em estufas.....	17
2. 3 Controle de sistemas e processos.....	18
2. 4 Automação industrial na agricultura.....	19
2. 4. 1 Projetos de automação agrícola.....	20
2. 5 Dimensionamento de sistemas de bombeamento e irrigação	21
2. 5. 1 Cálculos de instalações de bombeamento.....	22
2. 6 Planejamento de produtos.....	22
2.7 Sensores e controladores para automação	24
3 METODOLOGIA	25
3. 1 Ordenamento das ações.....	25
3. 2 Definição da área de controle do sistema.....	26
3. 3 Escolha das variáveis de controle do sistema	26
3. 4 Métodos utilizados para a elaboração do projeto conceitual	27
3. 4. 1 Desmembramento da função global	28
3. 4. 2 Preparo do plano de pós-vendas (conceitual).....	33

3. 5 Fluxograma de desenvolvimento do projeto	33
3. 6 Projeto detalhado do sistema.....	35
3. 6. 1 Detalhamento do SSC's (Sistemas, Subsistemas e componentes).....	35
3. 6. 2 Análise de variáveis não mensuráveis	38
3.7 Dimensionamento do hardware do protótipo utilizado nos testes.....	39
3.7.1 Escolha do controlador	39
3.7.2 Sistema de acionamentos e cabos	40
3.7.3 Moto bombas.....	42
3.7.4 Sensoriamento	43
3.7.5 Solenóides de controle de líquido e sistema de bombeamento	43
3.8 Mensuração e qualificação dos resultados	44
4 RESULTADOS	46
4.1 Sistema de controle.....	46
4.1.1 Algoritmo de controle	46
4.1.2 Datalogger e ações de emergência	47
4.3 O desempenho do controle da estufa no caso real – Estufa de testes no IFF-SVS.....	49
4.4 Impacto do controle no consumo de energia e água	53
4.4.1 Economia e recursos	54
4.5 Resultados obtidos no produto final e análise de custo.....	55
4.6 Projeto modular para controle automatizado em ambiente protegido	56
4.6.1 Montagem do controle.....	57
4.6.2 Algoritmo de controle	57
5. CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS	60
ANEXO 1	64
ANEXO 2	85

ANEXO 3

86

ANEXO 4

ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

1 INTRODUÇÃO

Em tempos de crise financeira, qualquer que seja a proposta de melhora no manejo de uma produção deve ser criteriosamente analisada. Corriqueiramente, as melhoras envolvem um racional uso dos recursos utilizados para a produção de um produto final (GRAH, 2012).

No Brasil, culturalmente atrasado em termos de automação e automatização de sistemas, o uso da tecnologia no meio rural demorou a ter um crescimento expressivo, começando a abertura desse mercado por volta do ano 2000. Esse atraso acarretou um grande prejuízo de produção na década 90, quando países em fase semelhante ao Brasil de desenvolvimento já adotavam tecnologias para o controle de produção rural (TSCHIEDEL, 2002).

Sistemas automatizados tem ganhado espaço no mercado agropecuário, mercado este que gira, em termos de capital, quase 5% do PIB (produto interno bruto) brasileiro. Empreendedores do setor de automação estão entre os 10 profissionais que apresentam maior crescimento profissional no país desde o ano de 2010 (IBGE, 2017).

Além disso, pesquisas apontam que o uso de sistemas automatizados voltados para a agricultura consegue trazer reduções significativas no uso de água e energia elétrica para bombeamento, além de um considerável aumento no controle de qualidade e repetitividade no resultado final (EMBRAPA, 2017).

O Brasil tem como característica ter uma grande área cultivável inerte, que poderia ser aproveitada para o plantio de hortaliças em estufa com controle automatizado, o que aliaria uma menor necessidade de conhecimento técnico, referente ao plantio e cuidados, junto a uma geração de renda para o produtor (MALUF, 2004).

Falando especificamente do mercado agroindustrial em automação, o Brasil possui apenas duas empresas com produtos para estufas, sendo que a maior delas detém de 72% desse mercado. Os produtos, de ambas as empresas, caracterizam-se por um alto custo de implantação, necessidade de conhecimento técnico sobre o equipamento e cultivo, além de ter um uso bastante complexo (Revista Globo Rural, março de 2017).

O nicho de mercado para a automação agroindustrial é bem definido: carece de produtos de baixo custo de aquisição, facilidade na operação e rápida

substituição em termos de manutenção. Ainda existe uma determinada resistência por parte dos agricultores para a tecnologia, porém cabe frisar que este cenário tem mudado, principalmente motivado pelas constantes abordagens em feiras e *workshops* voltados para a introdução da automação na produção agrícola (EMATER, 2016).

Para a EMBRAPA, o controle de apenas 3 variáveis envolvidas no cultivo de hortaliças resume-se no principal cuidado à se ter. Este cuidado diz respeito à umidade do solo (controle da irrigação), a concentração de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) no solo (possível controle por irrigação, se o NPK for solúvel) e temperatura (controle da ventilação).

1. 1 Objetivos do trabalho

O objetivo principal deste trabalho é: Elaborar um projeto de automação para controle de irrigação, adição de NPK e controle da temperatura, que tenha capacidade de exercer, de modo automatizado, a produção de hortaliças em estufas.

Diante do objetivo principal, é necessário que objetivos específicos sejam definidos. Estes são:

- a) Criar um plano de execução, com base nos conceitos de projeto de produto, para a elaboração de um produto comercial, que basicamente trata da metodologia do trabalho, com a motivação de reduzir o uso dos recursos utilizados, como água e energia elétrica;
- b) Desenvolver o sistema de controle, tal como o dimensionamento dos itens secundários necessários a este sistema;
- c) Detalhar os resultados alcançados com o uso de automação no uso de recursos da produção e;
- d) Apresentar um projeto modular para implantação da automação para controle destes recursos.

1. 2 Definição e delimitação do problema de pesquisa

O problema em questão é a inexistência de um produto com finalidade específica para automação de estufas. A pesquisa delimita-se ao projeto detalhado de um sistema de automação, testado em uma área de 240 m², com plantio *indoor* e modular no interior da cidade de São Vicente do Sul, no estado do Rio Grande do Sul, entre setembro de 2017 e agosto de 2018.

1. 3 Justificativa

A pesquisa e desenvolvimento realizados neste trabalho justificam-se pelos seguintes fatos:

- Existe um setor de mercado em aberto, onde o produto a ser desenvolvido neste trabalho pode apresentar os requisitos básicos para ingresso e sucesso neste nicho;
- Não existe um sistema parecido no Brasil;
- A possibilidade de implantação do sistema pode trazer significativa renda extra aos produtores, pois o investimento tem rápido retorno, além de fomentar a cadeia de produção alimentar regional. As hortaliças têm como principal característica de produção uma grande distância entre o polo produtor e o polo consumidor, atualmente.
- Equipamentos automatizados, principalmente os ligados a produção de alimentos, tendem a gerar um produto com um controle de qualidade mais rigoroso (ZÜGE, 2014).

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Neste trecho do trabalho será feito um breve *overview* sobre a história do progresso da tecnologia de automação na agroindústria, seguido de conceitos básicos sobre plantio modular em estufas, controle de sistemas e processos, automação industrial, dimensionamento de sistemas de bombeamento e distribuição de fluídos, metodologias de planejamento e execução de projeto de produto.

2.1 O uso de automação na agroindústria

Os processos de automação, tocante à indústria, começaram a ganhar força no Brasil por volta da década de 80. Nesta época, no campo, quase nula era a presença de qualquer tecnologia no meio rural. Na década de 90 começou-se uma guerra tecnológica, muito presente nas máquinas (que já traziam processos automatizados eletronicamente) (RIBEIRO, 1998).

Também na década de 90, empresas que produziam quadros elétricos de controle começaram a investir em tecnologias para o campo, principalmente para a automatização da irrigação, onde a era dos motores elétricos começara a ganhar força perante os ultrapassados motores diesel (LOPES, 2012).

Nos anos 2000, com o crescente uso dos micro controladores na indústria, a automação começa a ser alvo de investimentos por produtores de diferentes potenciais financeiros, e este é o “termômetro” para uma revolução tecnológica rural: a presença desde a pequena até a grande propriedade (PERES, 2012).

2.2 Plantio modular de hortaliças em estufas

O plantio de hortaliças em estufas já é uma técnica antiga no meio rural. Têm-se registros de plantios *indoor* desde a década de 60. A técnica de plantio em estufas garante um controle melhor sobre determinadas variantes que envolvem o crescimento biológico de várias culturas (PURQUERIO, 2006).

Em conjunto com o plantio protegido, termo técnico utilizado para plantio em estufas, usa-se atualmente o plantio modular. Este tipo de plantio consiste no

manejo constante de múltiplas culturas em um mesmo ambiente, onde cada módulo abriga uma cultura, de maneira ordenada e individual. A Figura 1 ilustra um exemplo.

Figura 1 – Caracterização de plantio modular no Brasil.



Fonte: Acervo do autor.

A significativa melhora de qualidade de hortaliças cultivadas em ambiente protegido é a tese que promove um aumento no uso de sistemas automáticos para alimentação da planta, pois cria-se um volume de controle muito definido para o correto desenvolvimento biológico da mesma (TRANI, 2014).

A principal vantagem do cultivo em ambiente protegido na forma modular está na resposta produtiva das culturas quanto ao controle de variáveis básicas (água e luz). Conseguem-se resultados excelentes neste tipo de produção, tanto na taxa de aproveitamento quanto na qualidade (SANTOS, 2010).

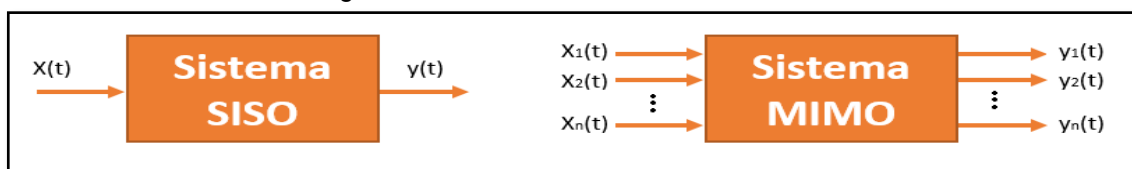
2. 3 Controle de sistemas e processos

Para Miyagi (2001), processo é definido como um evento qualquer, ligar uma lâmpada, abrir uma porta, sorrir e etc. Sistema, no entanto, trata-se da combinação de eventos para que o processo se realize. No caso de ligar uma lâmpada: a lâmpada estar desligada, a presença de energia elétrica e fiação necessária e a decisão de ligá-la.

Além disso, pode-se caracterizar o controle em dois tipos: o controle contínuo e o controle descontínuo. A diferença entre esses dois tipos de controle pode ser explicado pelo exemplo do controle de temperatura de um aquário através de uma resistência elétrica. No controle contínuo existe uma atuação de forma “inteligente”, onde a corrente é controlada de forma analógica, sendo sua potência controlada. No controle descontínuo, a resistência é ligada ou desligada, e a corrente é sempre zero ou máxima. (DE CAMPOS, 2001)

Ainda dentro da classificação destes sistemas, podem ser classificados como sistemas SISO (Single Input, Single Output) e MIMO (Multiple Inputs, Multiple Outputs) e ainda uma mistura de ambos. A Figura 2 demonstra a explicação (DE MORAES, 2000).

Figura 2 – Sistemas SISO e sistemas MIMO.



Fonte: DE MORAES, 2000.

Logicamente, sistemas de controle contínuo são ligeiramente mais complexos de serem elaborados e implementados. Porém, o resultado da resposta destes sistemas no tempo é muito mais precisa. Cabe ao projetista avaliar a necessidade de cada sistema a ser controlado, para que fique clara a teoria de controle a ser utilizada (ALVES, 2000). O trabalho em questão utiliza um sistema MIMO.

2. 4 Automação industrial na agricultura

Automação industrial, no termo puro da palavra, consiste em mecanismos de sensoriamento e atuação, que em conjunto, executam determinada tarefa antes executada de maneira manual (DE MORAES, 2000).

Para Martins (2010), automação industrial resume-se no uso de tecnologias eletro-eletrônicas, ou conjunto de mecanismos, em busca da elaboração de tarefas de maneira contínua e automática.

Aplicando estes conceitos na agroindústria, tema do presente trabalho, a automação teve início em sistemas de irrigação, e atualmente está presente em vários setores deste mercado (GOMIDE, 2001).

Nestes sistemas de irrigação, o controle ainda é feito de maneira lógica: não existe um controle de quanto está sendo vazado de água ou aditivo, apenas por quanto tempo o bombeamento é realizado. Realidade esta que vem mudando, onde os sistemas atuais já fazem uma leitura da umidade do solo e equilibram a vazão. A Figura 3 mostra um exemplo de automação na irrigação (MENEZES, 2012).

Figura 3 – Exemplo do uso de automação industrial na agricultura.



Fonte: MENEZES, 2012.

2. 4. 1 Projetos de automação agrícola

Já no ano de 1998, a automação agrícola mostrava-se uma promessa tanto na visão de empreendedorismo quanto na de aplicação por parte do produtor. Castro (1998) afirma que quase a totalidade das cadeias produtivas agrícolas são voltadas para o consumo alimentício, e este consumo só aumenta ao passar do tempo.

Edan (2009) classifica os projetos de automação agrícola em quatro grandes grupos:

- Os experimentais: aqueles que têm significado puramente científico;
- Os aplicáveis: aqueles que têm uma provável viabilidade econômica, mas ainda não experimentados em larga escala;

- Os promissores: bons resultados *in campus* e rápido retorno financeiro e;
- Os tecnológicos: visão futurista, eficiente, de mínimo custo e altamente rentável.

Ainda nas palavras de Edan (2009) aliar tecnologia agrícola, com qualidade e quantidade de informação, são requisitos básicos para o sucesso de um projeto de automação agrícola. A Figura 4 mostra um projeto de controle de estufa, similar ao tema deste trabalho.

Figura 4 – Automação de irrigação em ambiente protegido.



Fonte: Edan, 2009.

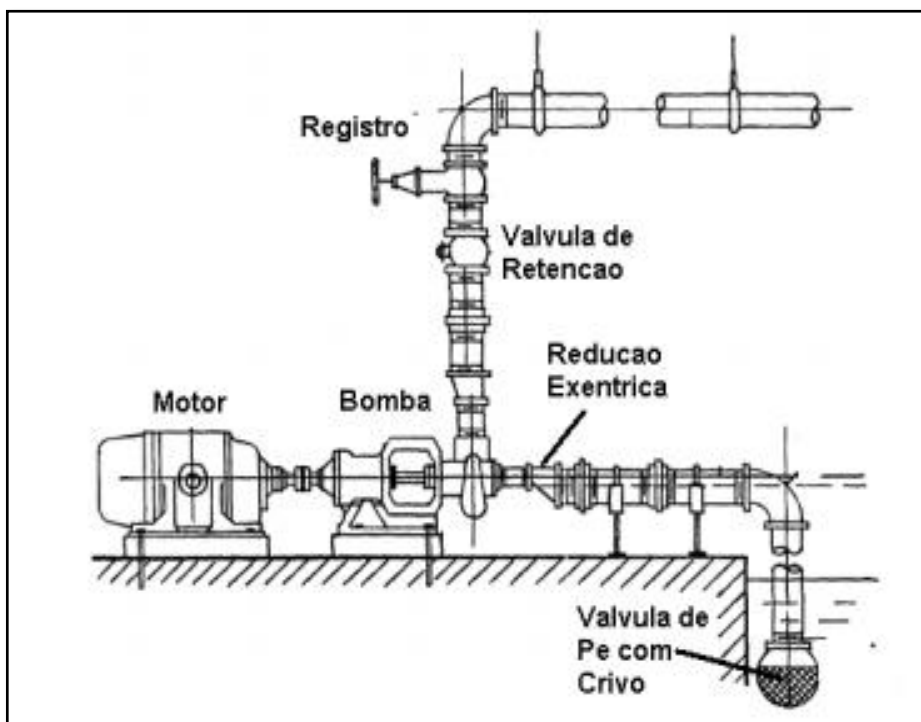
2. 5 Dimensionamento de sistemas de bombeamento e irrigação

Gomes (2009) define que para o cálculo de sistemas de bombeamento é fundamental ter conhecimentos dos seguintes itens:

- O que se deseja bombear;
- A vazão necessária neste bombeamento;
- A potência máxima para o acionamento;
- A eficiência do conjunto motor-bomba e;
- As perdas de carga envolvidas no sistema.

O sistema de bombeamento é composto por vários itens, alguns mecânicos, outros elétricos. A Figura 5 mostra um sistema de bombeamento simples.

Figura 5 – Diagrama de um sistema de bombeamento.



Fonte: Melconian, 2014.

2. 5. 1 Cálculos de instalações de bombeamento

Como no caso deste trabalho as instalações hidráulicas de bombeamento já existiam, não foi necessário realizar todo o dimensionamento do sistema. Porém, é muito importante citar no trabalho que as instalações já existentes foram projetadas e construídas seguindo as normas NBR-14312 (para os tubos rígidos de PVC) e NBR-14654 (para os tubos agropecuários).

2. 6 Planejamento de produtos

Para Baxter (2000) o planejamento de um produto deve responder, com clareza, aos seguintes itens:

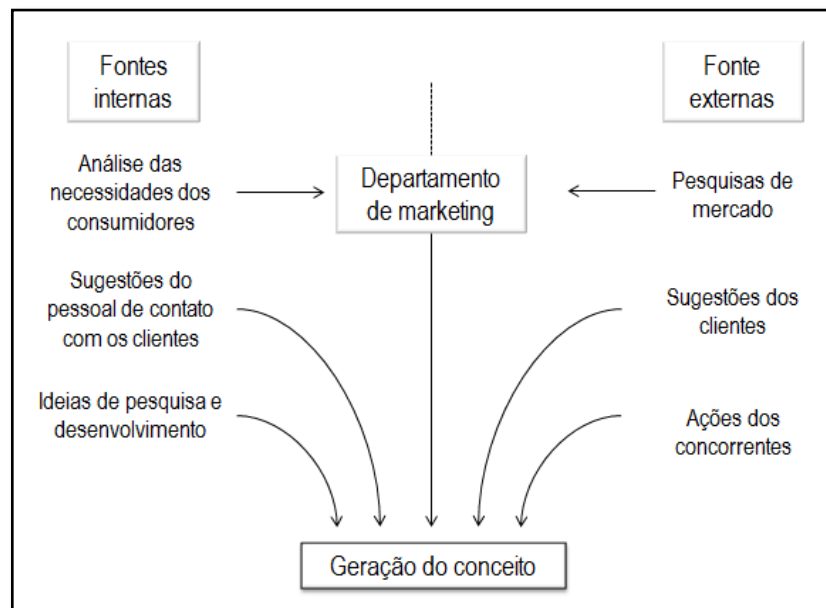
- Para que serve o produto;
- Para quem é destinado o produto;
- O que o público alvo espera e;
- Por quanto será adquirido.

Neste sentido, existe toda uma teoria que envolve cada etapa de um projeto, e este se separa em dois grandes grupos:

- O projeto conceitual e;
- O projeto detalhado.

Cada fase do projeto, nas palavras de Gomes (2001), deve ter clara a necessidade final, que trata do objetivo principal do projeto. Para isso uma das ferramentas mais eficazes é a pesquisa de campo, onde coleta-se o maior número de informações possível sobre o produto a ser planejado, o mercado concorrente e as possibilidades ainda não testadas. A Figura 6 mostra o diagrama simplificado deste processo.

Figura 6 – Diagrama de desenvolvimento de um produto.

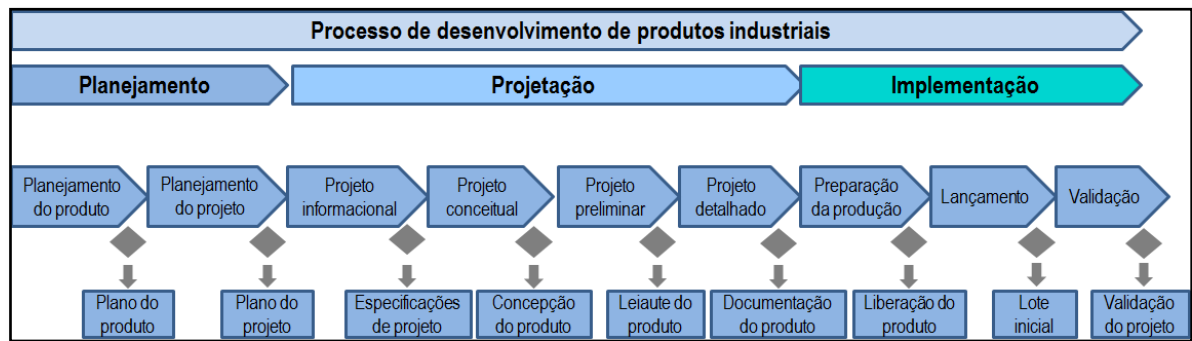


Fonte: Adaptado de Gomes, 2001.

Ferreira (2010) define também que os recursos devem ser criteriosamente analisados antes do início de cada projeto. Deve-se ter em mente tudo que há disponível, em curto tempo, para o correto e ágil desenvolvimento do produto.

Barbosa Filho (2000) resume o planejamento de um produto, nos moldes PRODIP, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Método de planejamento de produto seguindo o modelo PRODIP.



Fonte: Adaptado de Romano (2003) e Back *et al* (2008).

2.7 Sensores e controladores para automação

Existe uma variedade de sensores comerciais comuns. Cada sensor tem sua finalidade, custo, precisão e capacidade bem definida. O **ANEXO 1** trata somente deste assunto.

3 METODOLOGIA

Neste trecho do trabalho serão apresentados todos os métodos, materiais utilizados e decisões tomadas para a realização da pesquisa.

3.1 Ordenamento das ações

De modo que, se tenha o problema de pesquisa definido para a elaboração do produto são necessárias várias decisões iniciais que delimitam as infinitas possibilidades.

Assim, para compreender melhor os passos dados na pesquisa, divide-se a mesma em duas partes. A primeira parte da pesquisa foi puramente laboratorial, sem testes *in campus*, e pode ser delineada da seguinte forma:

- Definição dos MRP (Mínimos requisitos de projeto);
- Mensuração dos recursos disponíveis;
- Criação de parcerias necessárias¹ para o desenvolvimento do produto;
- Criação de um plano de desenvolvimento de produto;
- Coleta de informações necessárias ao projeto;
- Desenvolvimento do projeto conceitual;
- Criação do primeiro protótipo e;
- Testes de eficácia e funcionamento do sistema.

A segunda parte da pesquisa contou com o apoio do Instituto Federal Farroupilha, *campus* São Vicente do Sul, que cedeu um Engenheiro Agrônomo para acompanhar o desenvolvimento e resultados. Nesta segunda etapa, os testes foram realizados em campo e em escala real. Nesta etapa, delinea-se a pesquisa como:

- Criação da estufa de testes;
- Instalação do sistema na estufa;
- Testes e mensuração da precisão do sistema;

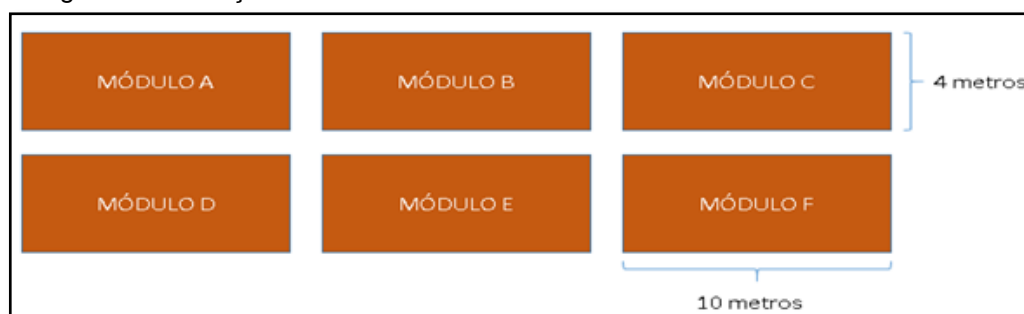
¹ Como o objeto de trabalho da pesquisa, que são as hortaliças, foge totalmente de qualquer tema debatido durante a graduação em Engenharia Mecânica, fez-se necessária a procura por parcerias técnicas que pudessem mensurar os resultados obtidos, a fim de solidificar a pesquisa.

- Testes de estabilidade dos componentes do sistema;
- Mensuração e acompanhamento dos resultados;
- Análise dos resultados e;
- Conclusão sobre o trabalho.

3. 2 Definição da área de controle do sistema

Diante da criação dos MRP, fez-se necessário para validação dos resultados a criação de um “volume de controle” para as ações do equipamento. Determinaram-se como padrão as medidas utilizadas pela EMBRAPA para construção de ambientes protegidos. A Figura 8 ilustra a definição da área de controle.

Figura 8 – Definição da área de controle e número de módulos máximo do sistema.



Fonte: Acervo do autor.

Portanto, o modelo apresentado tem capacidade de controle de seis módulos (6 culturas diferentes simultaneamente) com área de 40 m² cada.

3. 3 Escolha das variáveis de controle do sistema

Em todo sistema de controle deve-se separar e detalhar quais são as variáveis que se deseja controlar. No caso deste trabalho, seguindo orientações da equipe de apoio do Instituto Federal Farroupilha (IFF), as variáveis de controle foram definidas como:

- Vazão de água por m² de cada módulo (6 variáveis de vazão, já que cada módulo é irrigado individualmente);
- Vazão de NPK solúvel por m² de cada módulo (também 6, já que é controlado individualmente);

- Temperatura do ambiente;
- Umidade do ar local;
- Umidade do solo para módulo (6 variáveis);
- Ventilação do módulo (6 variáveis);
- Quantidade de luz no ambiente;
- Iluminação individual dos módulos (6 variáveis)
- Bomba de alimentação da água;
- Bomba de alimentação de NPK e;
- Leitura do pH da água.

Diante do exposto, tem-se que o total de variáveis a serem utilizadas no sistema é 36. Ou seja, o módulo deve ter capacidade de processar 36 entradas/saídas.

3. 4 Métodos utilizados para a elaboração do projeto conceitual

O projeto conceitual envolve inúmeras atividades. Foram aqui citadas às que tem maior relevância no produto final. Portanto, o projeto conceitual envolveu:

- a. Nome do projeto;
- b. Definição do público alvo e dos requisitos de projeto;
- c. Projeto informacional;
- d. Análise da função global do produto;
- e. Desmembramento da função global em funções elementares e;
- f. Desenvolvimento do conceito.

Para os requisitos de projeto, tem-se a Tabela 1. Poderiam ser elencados inúmeros outros que foram analisados, porém na tabela abaixo se encontram apenas os mais importantes.

Tabela 1 – Requisitos de projeto. Legenda: (I) Indispensável; (D) Desejável.

Avaliação	Item
I	Durabilidade
I	Facilidade de configuração
I	Facilidade de operação
I	Segurança ao operador
D	Desempenho
D	Garantia
I	Pós-vendas

Fonte: Autor.

3. 4. 1 Desmembramento da função global

A função global de um dado sistema é aquela que generaliza o mesmo (Baxter, 2000). No presente caso, a função global do produto é controlar e automatizar uma estufa de hortaliças. A lógica seguida para o desmembramento das funções segue os questionamentos de exemplo abaixo:

- A função global do sistema está totalmente definida?
- Quais são as funções de segundo plano necessárias?
- Como as funções de segundo plano serão executadas?
- Existem funções de terceiro, quarto ou quinto plano?

Para responder os questionamentos acima citados, foi necessário o desmembramento da função global em subfunções, que também foram desmembradas em funções elementares menores.

As Figuras 9, 10 e 11, das próximas páginas, mostram o desmembramento da função global até planos que tornem todas as ações funções elementares. Poderiam ser feitos outros desmembramentos, para se chegar a planos mais baixos, porém ao nível que foi feito já foi possível ter uma visão completa do problema em questão.

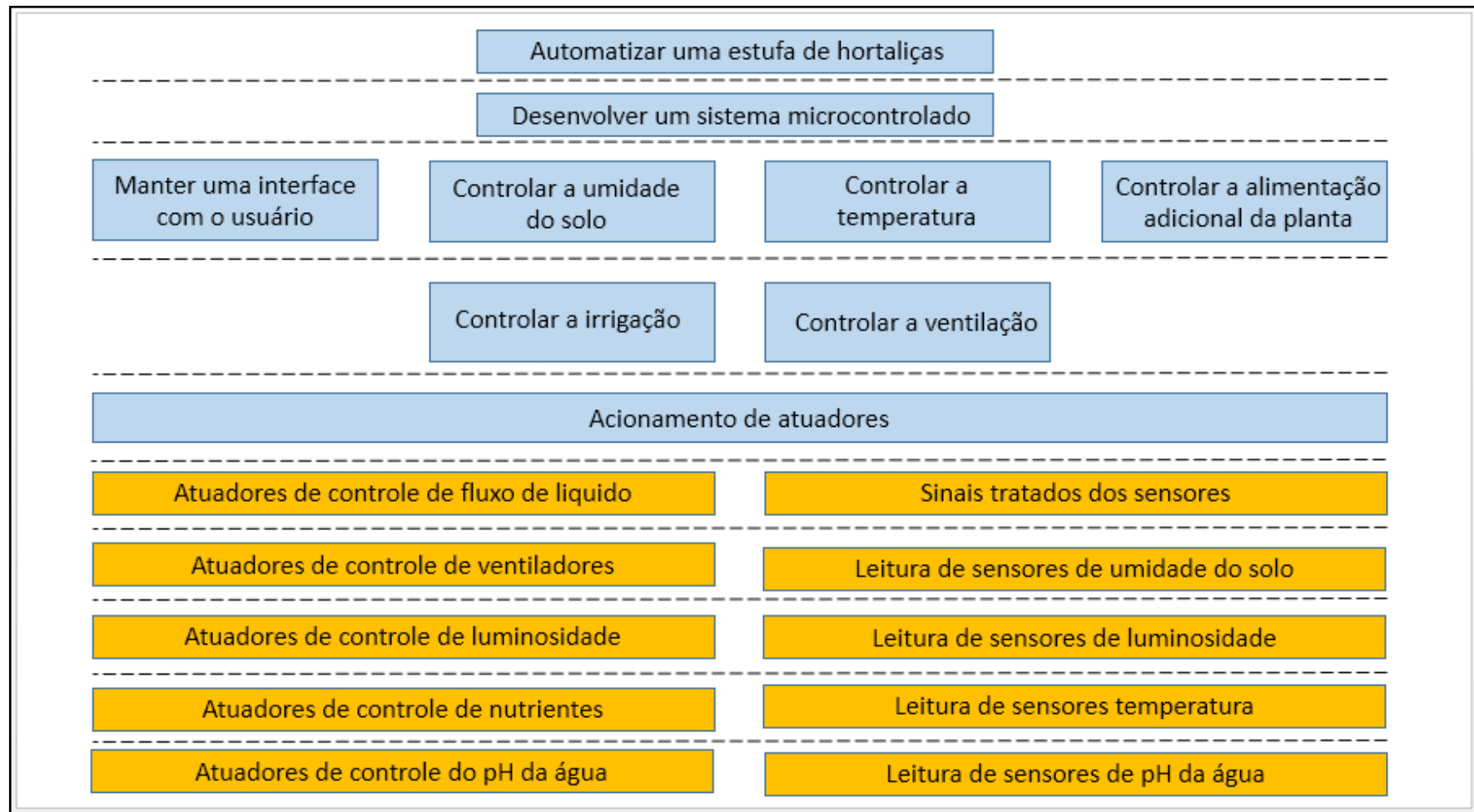
É interessante que fique claro um ponto neste trabalho: chegar a níveis elementares de funções necessárias para a execução da global depende da análise pessoal e individual de cada um. Ou seja: aquele nível que é dito elementar para uma pessoa, ainda pode parecer muito complexo para as demais. Mas onde é o ponto de equilíbrio? Talvez o ponto de equilíbrio não exista, portanto quanto mais

elementar for o desmembramento, melhor será a interpretação do problema global. (Baxter, 2000; Back, 2008)

Toda a organização do desenvolvimento do projeto depende do desmembramento inicial. Fluxogramas, gerenciamentos de projeto e o desenvolvimento em si deste trabalho foram baseados nele.

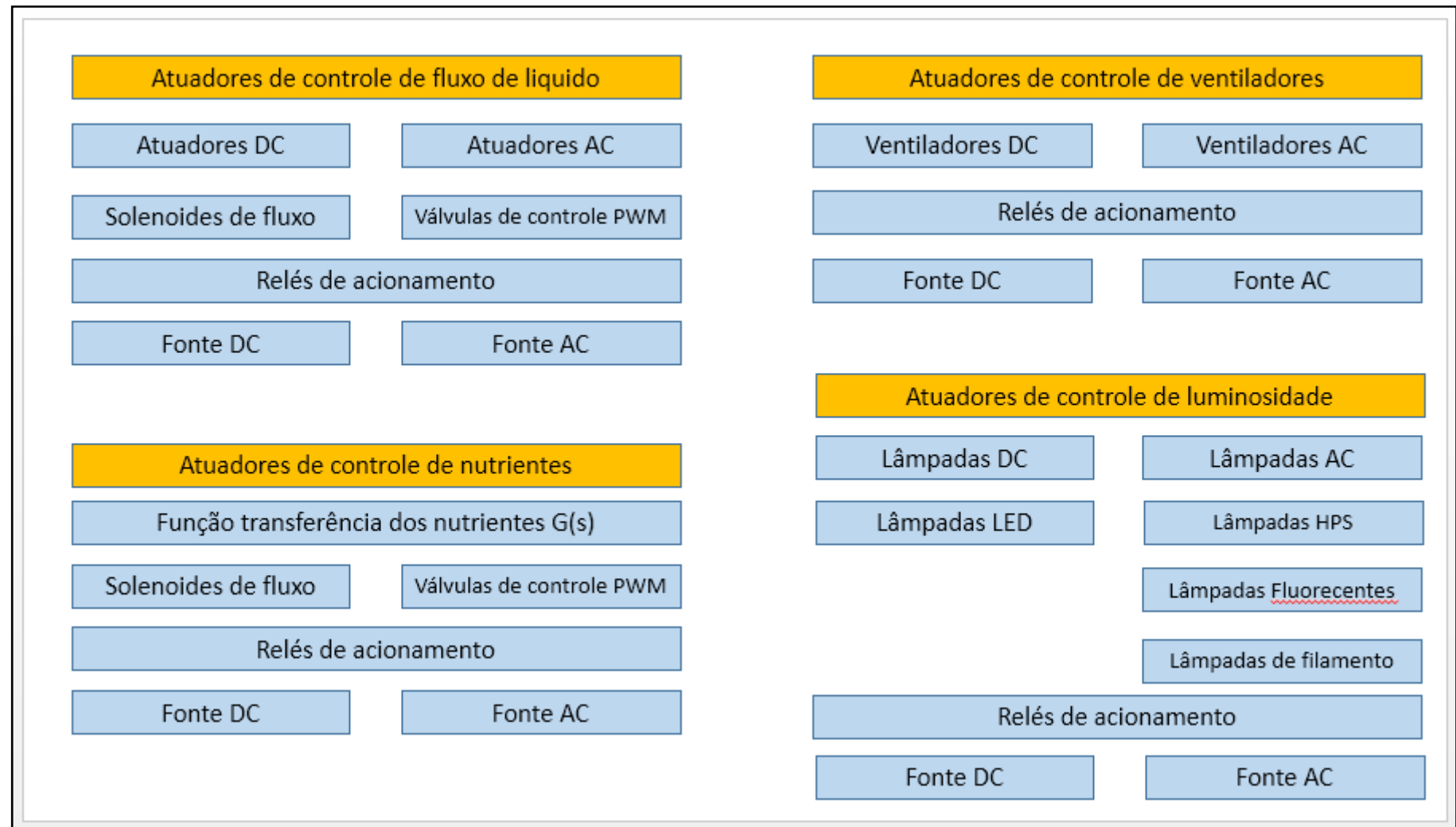
Ainda segundo os autores Back (2008) e Baxter (2000), para o bom desempenho de um projeto (leia-se desempenho como execução no menor tempo, com o menor custo), precisa-se saber, claramente, *de onde deve-se partir e onde quer-se chegar*.

Figura 9 – Desmembramento da função global. Obs: as funções em laranja foram subdivididas, e a sequência está nas Figuras 10 e 11.



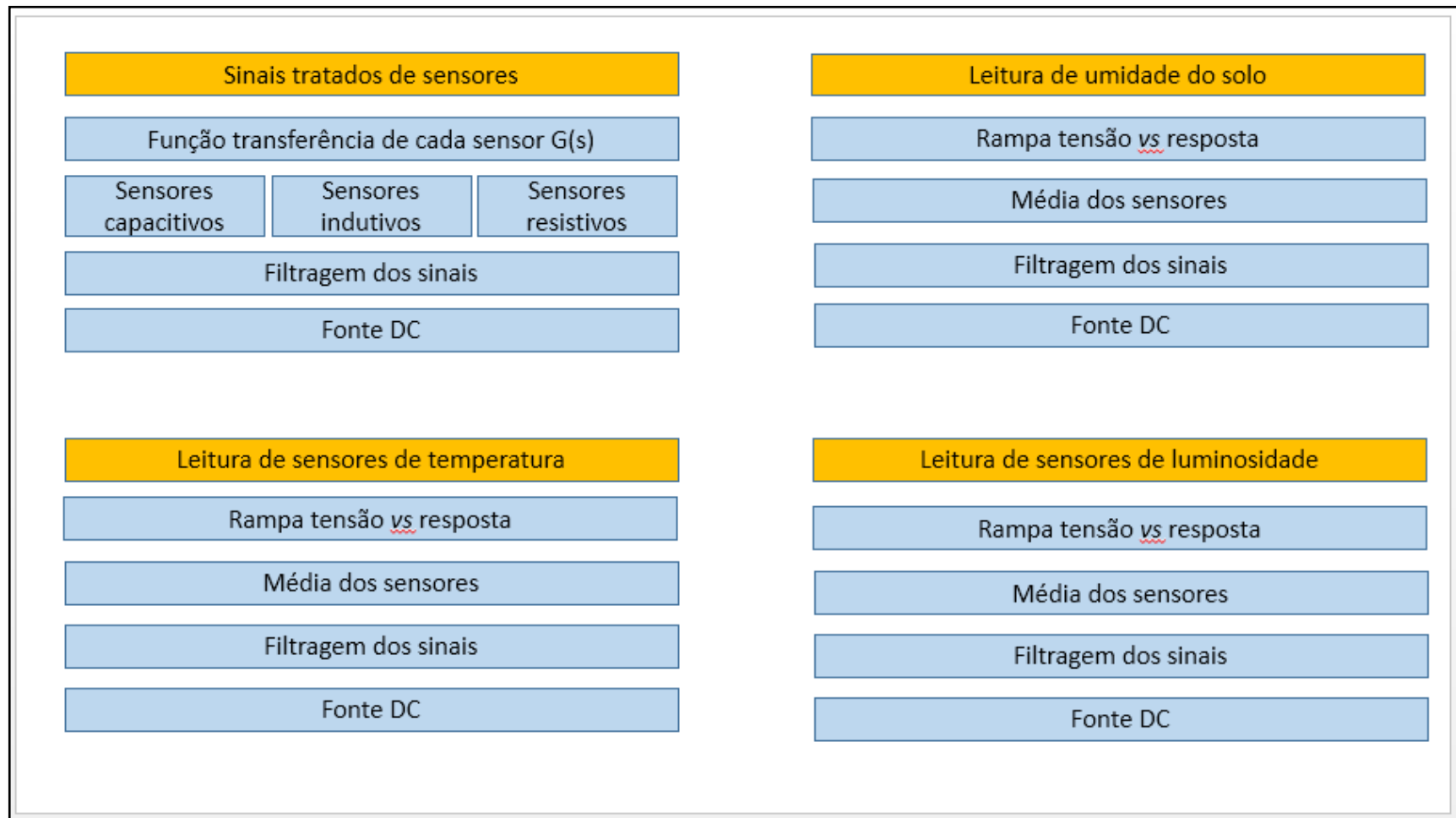
Fonte: Acervo do autor.

Figura 10 – Desmembramento de funções abaixo do plano de atuação.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 11 – Desmembramento de funções abaixo do plano de leituras.



Fonte: Acervo do autor.

3. 4. 2 Preparo do plano de pós-vendas (conceitual)

Como se trata de um produto novo, que aparentemente não possui concorrentes diretos, a criação de um plano de pós-vendas eficiente e confiável foi uma preocupação no projeto. A primeira tarefa estava atrelada a identificar as necessidades básicas do plano, que se baseou na identificação do público alvo.

A Tabela 2 mostra a análise de necessidades, baseada na metodologia de Johnston (2002) e Lovelock (2002).

Tabela 2 – Análise das necessidades do pós-vendas.

Item	Grau de importância
Treinamento de uso do produto	Alto
Acompanhamento do desempenho	Alto
Atualizações do <i>software</i>	Médio
Contato direto cliente – empresa	Alto
Venda de subitens aplicáveis ao produto principal	Médio
Manutenção do sistema em caso de defeito de fabricação	Alto
Manutenção em caso de defeito por mau uso	Alto
Visitação periódica	Baixo
Treinamento da equipe do pós-vendas	Alto
Criação de canais de contato	Médio

Fonte: Autor.

Com base nos itens listados na Tabela 2, buscou-se o desenvolvimento de uma estratégia eficiente. Para isso, também intrínseco ao desenvolvimento do pós-vendas, um roteiro de logística foi necessário.

O roteiro de logística do pós-vendas seguiu a metodologia de Corrêa & Caon (2002). Resumidamente, esta metodologia procura seguir os seguintes passos:

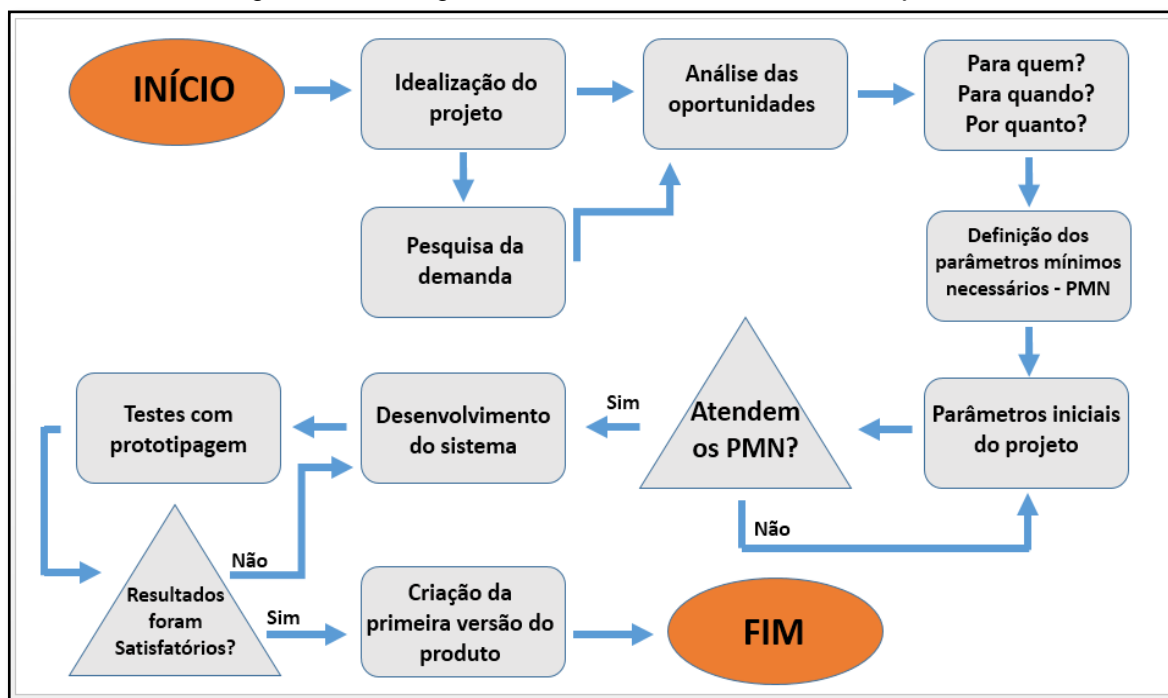
- Identificar os recursos disponíveis para aplicação da logística;
- Ter conhecimento claro das demandas esperadas;
- Desenvolver um prognóstico de crescimento fiel à realidade e;
- Contar com todos os tipos de imprevistos possíveis.

3. 5 Fluxograma de desenvolvimento do projeto

O fluxograma inicial de decisões, escolhas e definições sobre toda a metodologia utilizada pode ser analisado na Figura 12. Todo o fluxograma foi

desenvolvido a partir do desmembramento. O fluxograma inicial foi a base para a organização do próximo item da metodologia.

Figura 12 – Fluxograma inicial do desenvolvimento do objetivo.



Fonte: Acervo do autor.

Para que todo projeto possa ser executado no menor tempo possível, primeiramente é necessário fazer uma organização das atividades necessárias para que este projeto se conclua.

Além disso, buscou-se, através do Diagrama de Gantt², analisar possíveis gargalos que atrasariam o desenvolvimento deste projeto. Existiam, também, tarefas que podiam ser iniciadas sem nenhum requisito ter sido desenvolvido, o que diminuiria o tempo de execução do estudo significativamente. Para esta etapa, foi utilizado o *software* MS Project da empresa americana *Microsoft*.

Dentro de cada item do fluxograma, existiam subitens que foram adicionados nas tarefas a serem executadas. O prognóstico de tempo de cada atividade foi previamente definido pelo autor. A Figura 13 apresenta o detalhamento das tarefas.

² O **diagrama de Gantt** é um gráfico usado para ilustrar o avanço das diferentes etapas de um projeto. Os intervalos de tempo representando o início e fim de cada fase aparecem como barras coloridas sobre o eixo horizontal do gráfico.

Figura 13 – Detalhamento das tarefas, prazos e pré-requisitos no andamento do projeto.

	Modo da	Nome da Tarefa	Duração	Predecessoras
1		Desenvolver um sistema de controle para estufas	44 dias	
2		Medologia a ser aplicada	44 dias	
3		Idealização do projeto	21 dias	
4		Estudo da demanda	7 dias	
5		Análise das oportunidades	7 dias	4
6		Definição dos PMN	7 dias	5
7		Parâmetro iniciais do projeto	4 dias	
8		Definição das variáveis de entrada	3 dias	6
9		Definição das variáveis de saída	3 dias	6
10		Definição dos parâmetros configuráveis pelo usuário	4 dias	6
11		Desenvolvimento do sistema de controle	7 dias	
12		Definição das funções transferência	7 dias	6;7
13		Definição dos atuadores utilizados para testes	7 dias	7
14		Definição dos sensores a serem utilizados nos testes	7 dias	7
15		Testes com prototipagem	7 dias	
16		Testes de estabilidade do sistema	7 dias	11
17		Testes de estabilidade dos filtros de sensores	7 dias	11
18		Testes de estabilidade dos relés de acionamento	7 dias	11
19		Testes em campo do produto	5 dias	
20		Estabilidade do sistema perante flutuação de tensão	5 dias	15

Fonte: Acervo do autor.

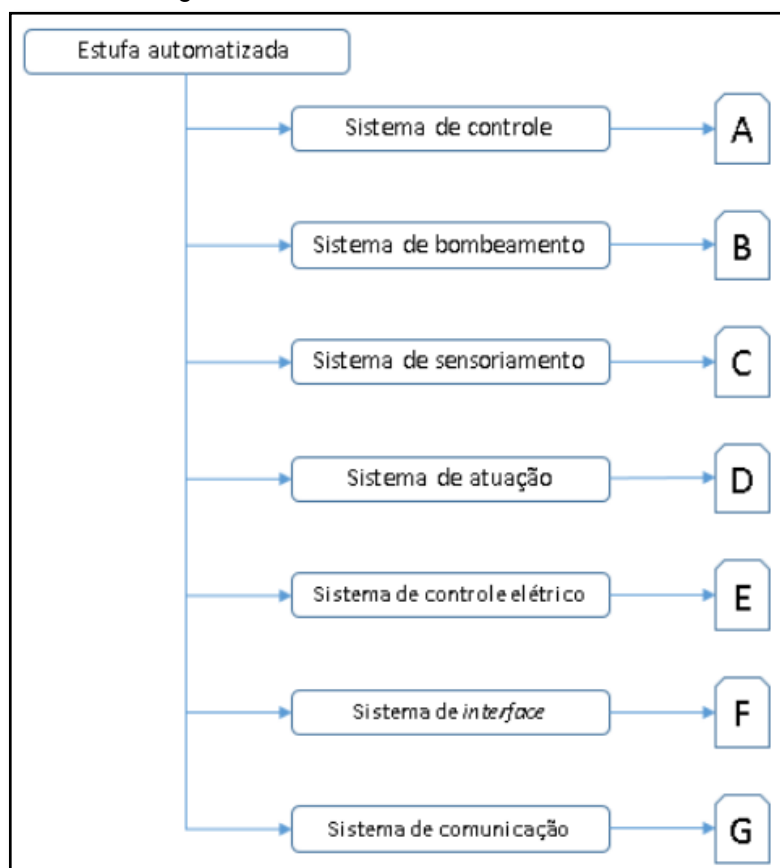
3. 6 Projeto detalhado do sistema

Dentro de todas as atividades envolvidas no projeto detalhado, selecionaram-se as de maior importância para descrever o desenvolvimento do projeto.

3. 6. 1 Detalhamento do SSC's (Sistemas, Subsistemas e componentes)

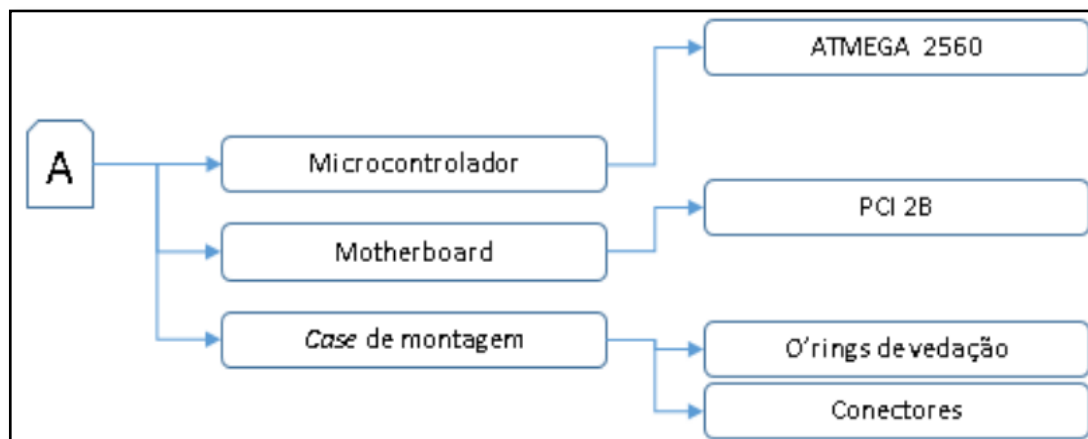
Junto ao desmembramento da função global, faz-se algo parecido com os SSC's. Como mostram as Figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20.

Figura 14 – Desmembramento dos SSC's.



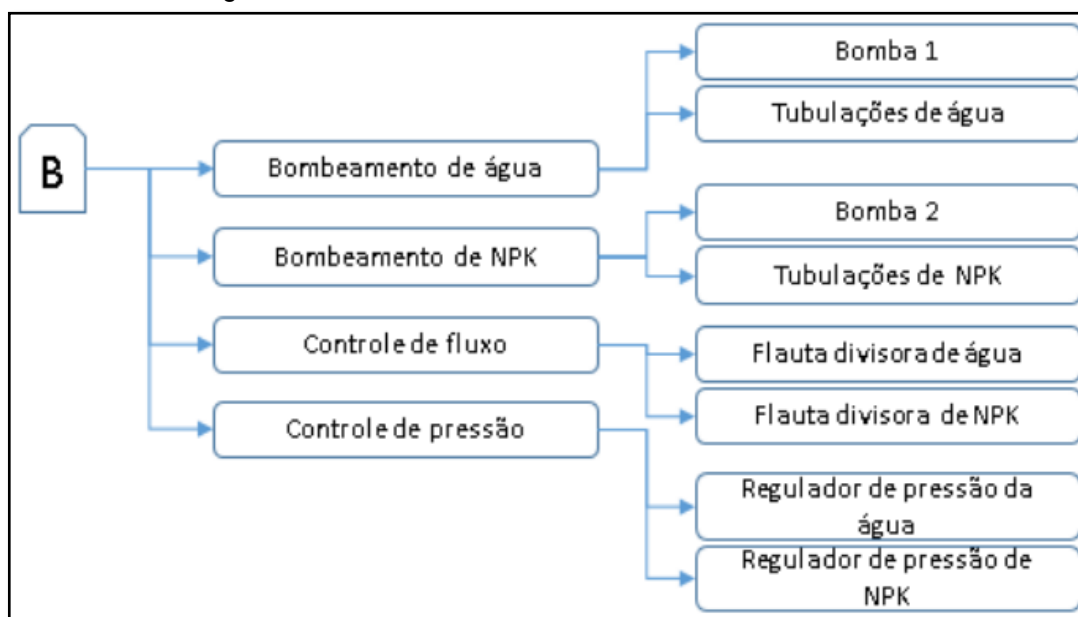
Fonte: Acervo do autor.

Figura 15 – Subsistema de controle detalhado.



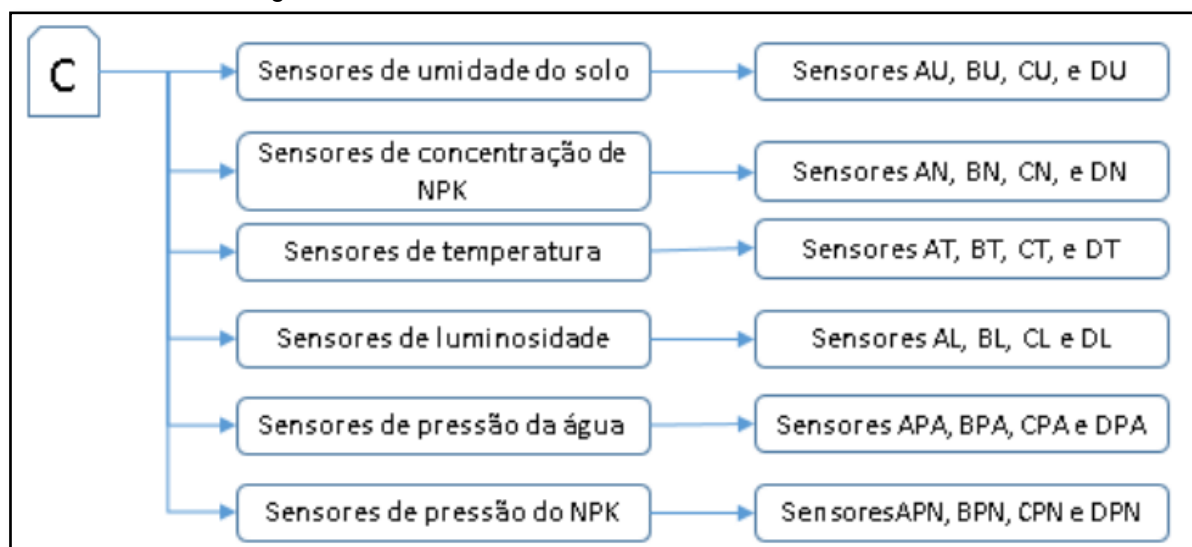
Fonte: Acervo do autor.

Figura 16 – Detalhamento do subsistema de bombeamento.



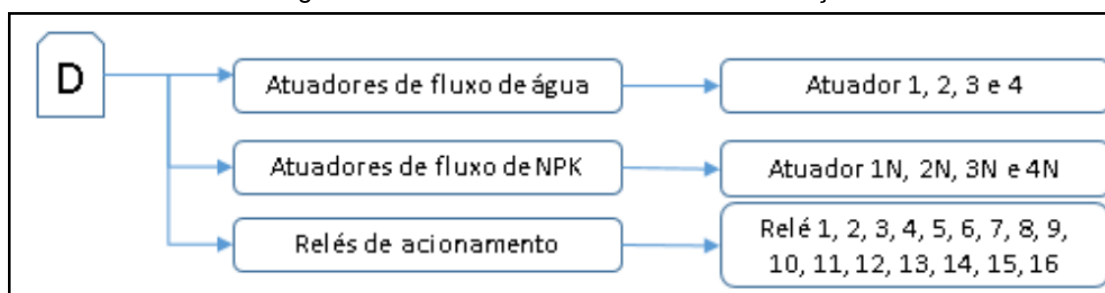
Fonte: Acervo do autor.

Figura 17 – Detalhamento do subsistema de sensoriamento.



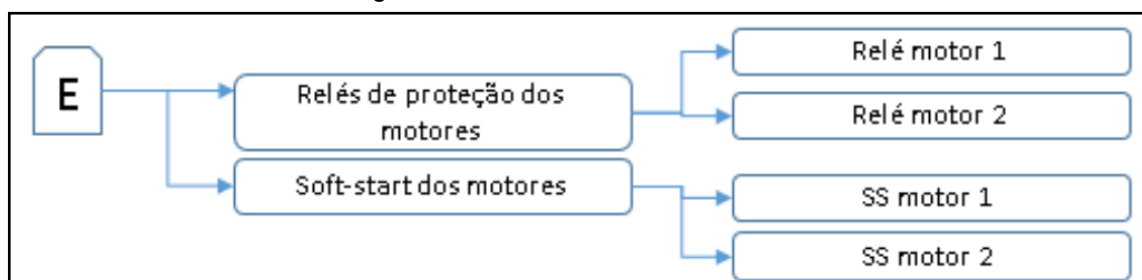
Fonte: Acervo do autor.

Figura 18 – Detalhamento do sistema de atuação.



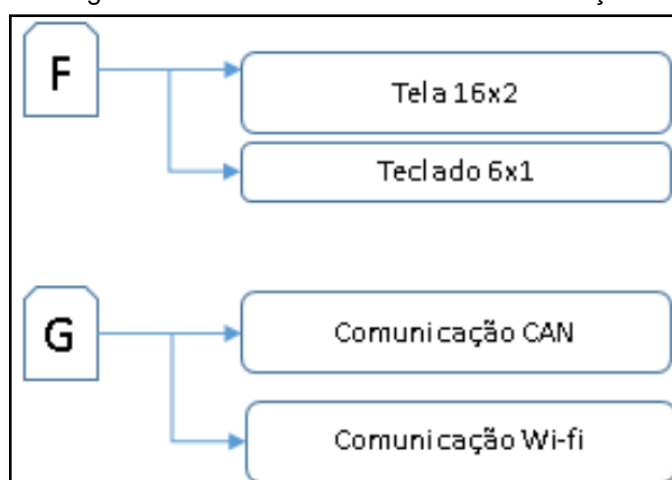
Fonte: Acervo do autor.

Figura 19 – Sistema de controle elétrico.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 20 – Sistema de interface e comunicação.



Fonte: Acervo do autor.

3. 6. 2 Análise de variáveis não mensuráveis

Alguns parâmetros necessários para o perfeito funcionamento do sistema não são mensuráveis com os sensores encontrados no mercado. As variáveis em questão tratam-se do aditivo NPK.

Porém, mesmo não podendo mensurar a concentração de NPK, a bibliografia existente já demonstra a necessidade de cada espécie por tempo finito. Ou seja: sabe-se quanto é necessário por dia-vida para a planta. Sendo estes aditivos solúveis em água, e sabendo da vazão que o sistema proporciona, pode-se dosar esse aditivo em função de “tempo vs necessidade”.

Buscou-se na bibliografia a necessidade de cada espécie normalmente cultivada no país, em estufas. Através disso, pode-se desenvolver um algoritmo que depende de poucos parâmetros de entrada para que funcione corretamente.

Tendo conhecimento das necessidades e dos recursos disponíveis para a efetividade do sistema, desenvolveu-se uma equação (ou função transferência) do

sistema que, automaticamente, com base no tempo, executasse a alimentação de nutrientes necessários para cada planta, em cada módulo.

3.7 Dimensionamento do *hardware* do protótipo utilizado nos testes

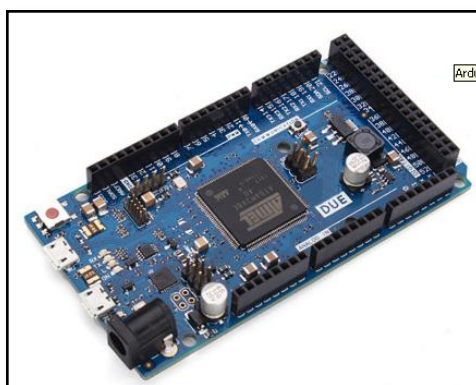
Aqui será debatido o principal assunto do trabalho, como foram conduzidas as ações para criação do protótipo/produto da pesquisa. Os tópicos estão organizados em modo cascata, ou seja, da menor ação de controle até a ação física.

3.7.1 Escolha do controlador

Dentre as opções contidas no **ANEXO 1** deste trabalho, optou-se pelo controlador *Arduino Due*. A escolha baseia-se pelos seguintes argumentos:

- Da família *Arduino*, o *Due* é o único com processador, ao invés dos já ultrapassados microcontroladores;
- Tem *clock* de 84Mhz, sendo o mais rápido da *Arduino*;
- Tem duas portas já com protocolo I2C³;
- Fazendo uma análise de impacto econômico no preço final do produto, a adoção do *Due* ao invés do *Arduino* que está abaixo dele (o Mega 2560), tem-se um acréscimo de 14% no preço final, mas sua capacidade de controle é ampliada em duas vezes. Na Figura 21 tem-se a imagem da placa *Due*.

Figura 21 – Placa de controle *Arduino DUE*.



Fonte: <https://www.filipeflop.com/blog/arduino-due-atmel-arm-32bits/>.

³ Protocolo I2C, basicamente, é uma comunicação de dois fios onde é possível, em controladores e processadores, uma ampliação na capacidade de portas, ou seja: uma porta física pode comunicar-se com uma placa, que possui até 32 portas físicas digitais de controle.

3.7.2 Sistema de acionamentos e cabos

O ordenamento das ações em um sistema de automação geralmente obedece ao mesmo padrão, como mostra a Figura 22.

Figura 22 – Diagrama simplificado das ações em termos de rede elétrica.



Fonte: Autores, adaptado de FRANCHI (2018).

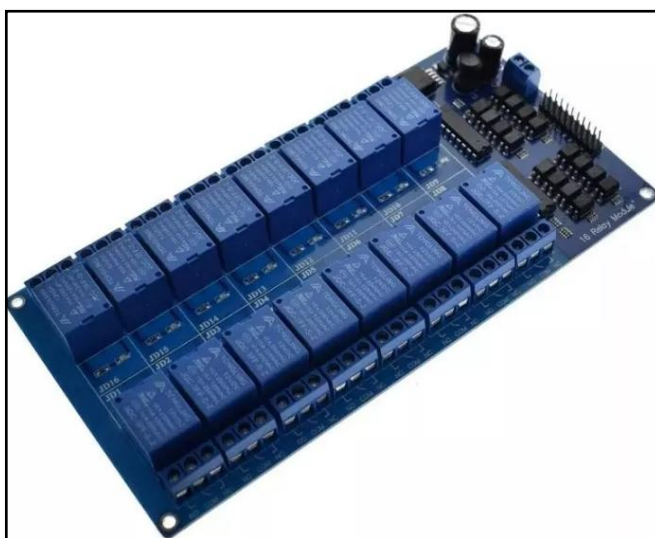
Basicamente, toda esta etapa do trabalho fundamentou-se na teoria apresentada por Franchi (2018), utilizada largamente na indústria de automação. Os acionamentos, em específicos, podem ser divididos em três escalões:

- Primeiro: controlador enviando sinal lógico analógico até a placa de controle;
- Segundo: relés e transistores de baixa carga acionam relés de potência, acionamentos *soft-starter*⁴ e afins;
- Terceiro: consumidores de alta potência e alta corrente elétrica.

Para facilitar a confecção do primeiro protótipo de testes, optou-se por utilizar relés já embarcadas em placas compatíveis com a plataforma *Arduino*. Com isso, utilizou-se para os testes um módulo de relés de 16 canais, próprio para *Arduino*, como mostra a Figura 23.

⁴ Acionamento *soft-starter* permite controlar, de forma gradual e crescente, a corrente elétrica emotores elétricos no momento da partida. Reduz significativamente o risco de danos ao enrolamento do motor elétrico.

Figura 23 – Módulo de relés com 16 canais.



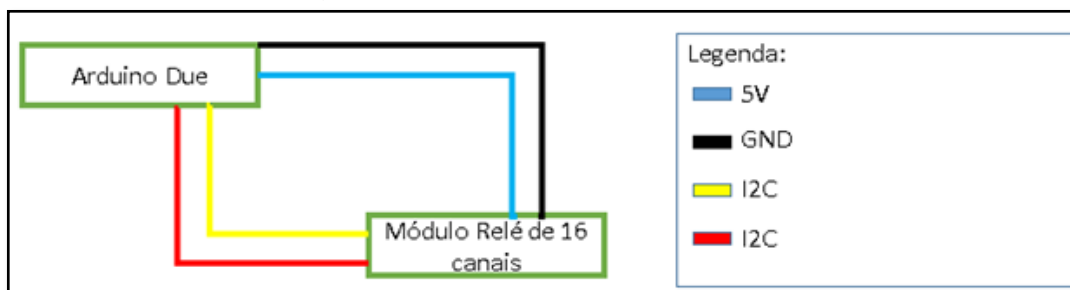
Fonte: www.arduino.cc

A ligação elétrica desta placa, até o console (*Arduino Due*) pode ser feita de duas maneiras, ambas necessitando de alimentação 5 volts DC:

- Um fio com sinal digital para cada canal do módulo de relés (necessários 16 saídas no *Arduino*) ou;
- Uma porta I2C controlando as 16 portas digitais do módulo.

Visando a economia de portas do *Arduino*, optou-se pela segunda opção, assim somente uma porta seria ocupada. Portanto a ligação resultante foi como a mostrada na Figura 24.

Figura 24 – Ligação elétrica do módulo de relés, do *Arduino* até a placa.



Fonte: Acervo do autor.

De acordo com tabelas contidas no livro *Instalações Elétricas* de autoria de Creder (2007), tabela esta que se encontra no **ANEXO 2**, os condutores utilizados no circuito citado na Figura 24 podem ser de 1,5 mm para todas as vias.

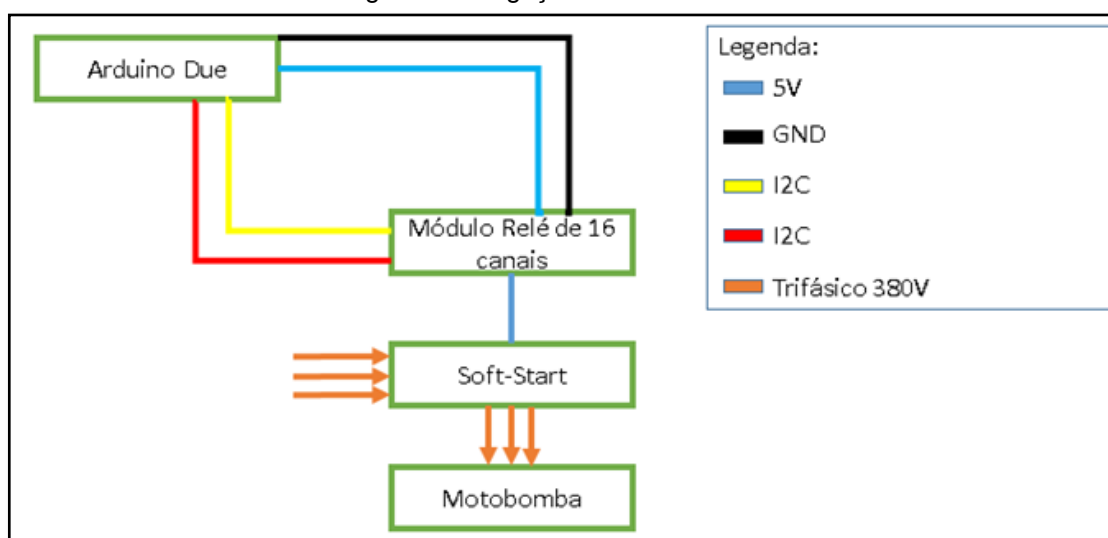
As ligações de potência também obedeceram às tabelas contidas na bibliografia de Creder (2007), sempre arredondando para cima (aumentando o FS – Fator de Segurança).

Para acionamento dos motores das bombas, utilizou-se o que já havia no local: Dois quadros de controle individuais com *soft-start* BRSSW070130T5SZ da WEG.

Os cabos de potência já existente no local foi utilizada. Conferida e confrontada com as tabelas de Creder (2007), o menor FS encontrado foi de 1,4. Portanto, a decisão tem amparo técnico.

A ligação dos *soft-start* dos motores de água e aditivo, respectivamente, foi feita como mostra a Figura 25.

Figura 25 – Ligação das motobombas.



Fonte: Acervo do autor.

Todos os cabos de sensoriamento e acionamento de *solenóides* também foi feita com fio 1,5 mm.

3.7.3 Moto bombas

As duas motobombas utilizadas já pertenciam ao IFF, e como os recursos financeiros da pesquisa não permitiam a troca, utilizaram-se as moto bombas modelo THEBE P-15/2: Moto bomba centrífuga multiestágio monobloco e mancalizada – 3500 rpm - bocais rosqueados sucção 1.1/2" x recalque 1.1/2".

Montagem até 03 estágios sucção frontal (em balanço) e montagem de 04 a 07 estágios sucção lateral (mancal biapoiado) - utilizada para água limpa. Vazão máxima até 18,4 m³/h. E pressão máxima 266 mc.a (26,6 bar). A vazão destas, quando comparadas à vazão necessária para os testes, teve FS de 2,04.

3.7.4 Sensoriamento

Os sensores forem escolhidos seguindo dois critérios, o técnico, que envolvia a capacidade do mesmo, e o financeiro, disponibilidade e condições de compra e preço. Abaixo estão todos listados, seguidos da quantidade requerida.

- Sensores de vazão: Marca ICOS, modelo FG20B02. Capacidade de medição de até 100 L/min – 01 por módulo;
- Sensores de temperatura do solo e ar: LM35 para *Arduino* – 01 por módulo, 01 para temperatura externa e 01 para temperatura interna da estufa;
- Sensor de umidade do ar: modelo DHT11 – 01 por estufa;
- Sensor de umidade do solo: SHT20 – 01 para cada módulo da estufa;
- Sensor de iluminação do ambiente: TEMT6000 Sparkfun – 01 por módulo e 01 para o ambiente.
- Sensor de pH da água: Sonda PH1401 Sparkfun – 01 para o reservatório de NPK e 01 para o reservatório de água.

3.7.5 Solenóides de controle de líquido e sistema de bombeamento

O sistema de bombeamento utilizado foi o que já estava implantado na estufa dos testes. É um sistema de dupla via, que pode realizar irrigação por gotejamento⁵ e por pulverização⁶. Foi utilizado, predominantemente no protótipo, o sistema de gotejamento e, para pequeno teste, o de pulverização.

⁵ Irrigação realizada por via subterrânea, geralmente tubo ou manga com furos onde a água é bombeada e vazada em gotas.

⁶ Sistema que utiliza líquido sob pressão, passando por esquichos, pulverizando uma área, geralmente circular, de forma uniforme.

Os *solenóides* de controle de fluxo que foram utilizados são os VS1/2-1/2:220 Dayco, como mostra a Figura 26. São de baixo custo e fáceis de encontrar no mercado.

Figura 26 – Válvula *solenóide* para controle de fluxo.



Fonte: www.dayco.com.

3.8 Mensuração e qualificação dos resultados

Se esta pesquisa fosse replicada utilizando exatamente os mesmos critérios, materiais e métodos, os resultados tendem a convergir. O mais importante, na interpretação desta pesquisa, é avaliar o impacto da adoção da automatização no consumo de água, energia elétrica e resultado final do produto.

A mensuração do consumo de água e energia já tinha um considerável acervo técnico armazenado, ao longo de 08 anos de plantio convencional no IFF. Cada moto bomba possui um contador de litros individual, sendo a estufa equipada com um contador elétrico de uso exclusivo.

Foi feita uma comparação direta entre os dados de consumo de água e energia no período de 10 meses (iniciando em 25/10/2017). Quanto ao produto e suas possíveis alterações de características após o uso da automatização, foram usados três fatores pontuáveis:

- Peso por unidade;
- Aparência estética e;
- Repetitividade dos resultados.

Com exceção da análise de consumo de água e energia elétrica, os dados referentes a culturas plantadas foram coletados e analisados pelo setor de agronomia do IFF-SVS, por não ser um assunto ligado ao tema do trabalho.

4 RESULTADOS

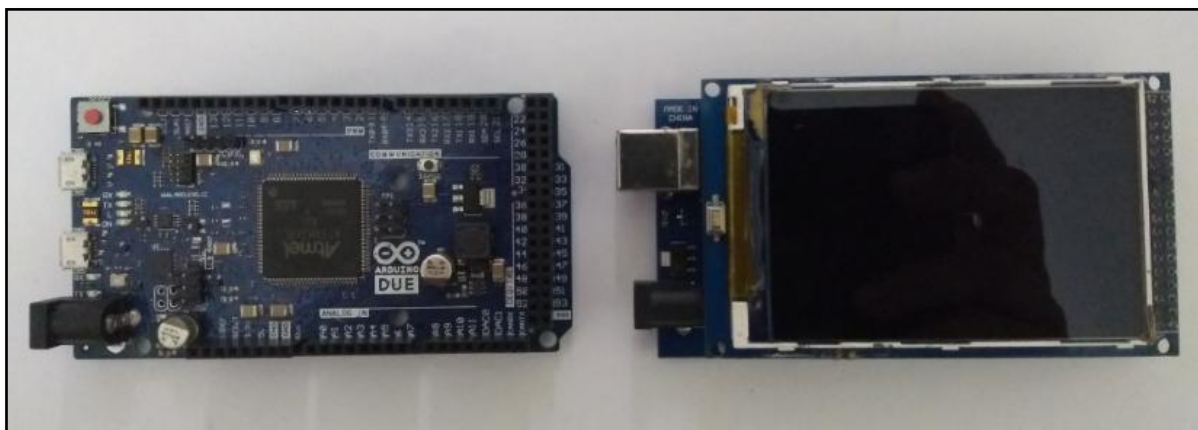
Neste trecho estão listados os resultados alcançados, na mesma ordem em que foram apresentados os objetivos específicos do trabalho.

4.1 Sistema de controle

Aplicada toda a metodologia descrita entre os itens 3.1 a 3.8 do trabalho, confeccionou-se o primeiro protótipo, chamado de E-Tech. O protótipo tem capacidade de exercer, simultânea e individualmente até 32 módulos com 6 canais cada, sendo que destes 6 canais, 4 podem ser designados como analógicos.

A Figura 27 mostra o quadro de controle do E-Tech. O módulo possui *display* de 3,2 polegadas, com sistema *touchscreen*. Ademais, faz comunicação com o quadro de comando elétrico por comunicação IoT (*Internet of Things*). Toda a programação do algoritmo instalado no *Arduino Due* foi feita em linguagem C++.

Figura 27 – Quadro de controle do E-Tech.



Fonte: Acervo do autor.

4.1.1 Algoritmo de controle

O algoritmo desenvolvido para o protótipo necessita de alguns dados de entrada que devem ser definidos pelo usuário. Como exemplo, e maneira de demonstrar melhor a programação do sistema, estão apresentados os dados a serem inseridos no algoritmo.

Todo o algoritmo trabalha em cima de uma linha do tempo, ou seja, os sensores são detectados, as informações são tratadas, as decisões, que com base em testes lógicos, são tomadas e a ação é realizada. Este trabalho é, portanto, sempre em função de um intervalo de tempo, informado em horas, minutos e segundos pelo usuário, interpretado em milissegundos pelo sistema.

A Figura 28 mostra a definição de um módulo no E-Tech. Essa definição deve ser feita pelo usuário através da tela do sistema, no modo de configuração.

Figura 28 – Definição de um módulo no E-Tech.

Configurações > Setup de módulos > Módulo A> 1/4		Configurações > Setup de módulos > Módulo A> 2/4	
Cultura	Alface A1	Vazão bicos água (l/min)	8,1
Quantidade de água por rega (l/m ²)	2,3	Alcance do leque da água (m ²)	0,9
Quantidade de NPK diário (g/m ²)	0,8	Quantidade de bicos no módulo	4
Fatiamento de rega	OFF	Saída da solenoide de água	Branco 1
Fatiamento de NPK	3	Dia do plantio	--
Intervalo de adição de NPK (horas)	8	pH de contenção	9,5
07/12/2018 14:29		07/12/2018 14:29	

Configurações > Setup de módulos > Módulo A> 3/4		Configurações > Setup de módulos > Módulo A> 4/4	
Vazão bicos água (l/min)	8,1	Vazão dos bicos de NPK (l/min)	0,3
Alcance do leque da água (m ²)	0,9	Alcance do leque de NPK (m ²)	0,9
Quantidade de bicos no módulo	4	Quantidade de bicos no módulo	4
Saída da solenoide de água	Branco 1	Saída da solenoide de NPK	Branco 4
Dia do plantio	--	Concentração de NPK (g/l)	--
pH de contenção	9,5	Datalogger do módulo	9,5
07/12/2018 14:29		07/12/2018 14:29	

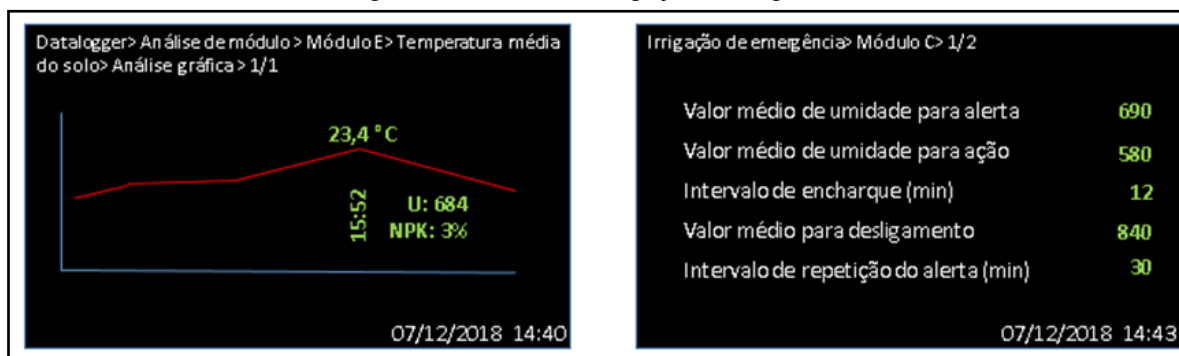
Fonte: Acervo do autor.

4.1.2 Datalogger e ações de emergência

O algoritmo de controle também tem capacidade de armazenar os dados dos módulos, e exibi-los no display em uma linha do tempo, informando hora e outras variáveis em conjunto. No exemplo da Figura 29, tem-se a análise gráfica da temperatura média do solo, no módulo E.

Também na Figura 29, tem-se o modo de irrigação emergencial, uma ação tomada a partir de dados definidos pelo usuário, confrontados com o estado atual de cada módulo.

Figura 29 – Modo de irrigação emergencial.



Fonte: Acervo do autor.

Tendo sido feita a montagem do protótipo, foram feitos alguns testes para validar a funcionalidade do mesmo. Na Figura 30 fez-se a montagem em pequena escala.

Figura 30 – Imagens do protótipo.



Fonte: Acervo do autor.

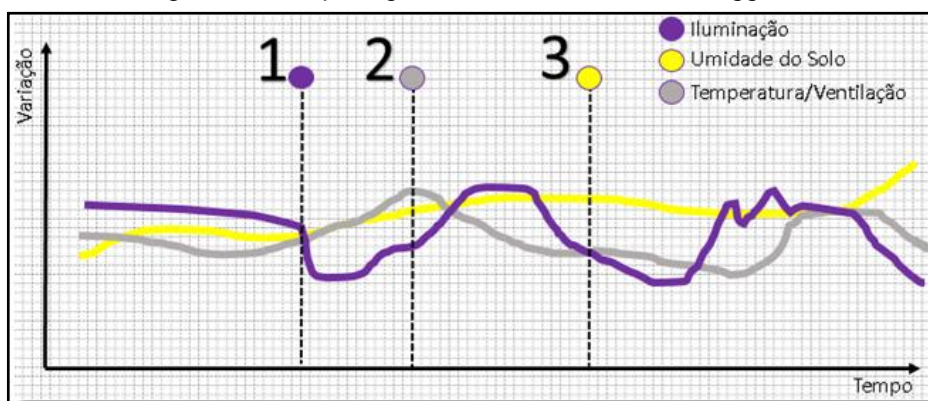
O controlador foi definido para acionar ventilação com temperatura acima de 32°C, acionar irrigação com valores inferiores a 680⁷, iluminação com sensores definidos a 60%.

O gráfico da Figura 31, abaixo, é um arquivo gerado com o *Arduino Datalogger Shield*⁸.

⁷ É um valor de linguagem máquina, que varia de 0 a 1023. Para os sensores utilizados, 680 é um valor já considerável para solo seco.

⁸ Sistema embarcado utilizado na família Arduino. Faz aquisição e tratamento de dados alocados em uma linha do tempo finita.

Figura 31 – Arquivo gerado com o *Arduino Datalogger Shield*.



Fonte: Acervo do autor.

Percebe-se, sequencialmente, que nos pontos 1, 2 e 3 do gráfico contido na Figura 30, os acionamentos da iluminação, irrigação e ventilação ocorreram quase que instantaneamente após a condição programada ser satisfeita, mostrando que o sistema era funcional nos testes de bancada.

4.3 O desempenho do controle da estufa no caso real – Estufa de testes no IFF-SVS

De modo geral, o sistema apresentou um bom desempenho. Alguns imprevistos durante os 10 meses de testes eram esperados, outros não. Em termos de desenvolvimento do produto, selecionou-se o que era mais relevante:

- O controlador atuou durante os 10 meses sem falhas de programação, travamento ou erro aleatório;
- Os sensores de umidade do solo apresentaram defeitos em grande número. Quatro dos seis precisaram ser substituídos por outros de mesmo modelo;
- No começo dos testes, a interferência eletromagnética causada pelos cabos de potência interferiu nos sinais dos sensores. Defeito este que foi solucionado com blindagem e aterramentos.
- Os sensores de fluxo precisavam ser limpos com frequência, devido à concentração de calcário presente na água da rede potável da cidade de São Vicente do Sul;

- O sistema conseguia retomar as atividades com organização, sem erros, mesmo em momentos de falta de energia elétrica,
- Foi notável a diferença de padronização dos produtos, principalmente da alface.

Na Figura 32, tem-se a estufa em fase de construção. Ainda sem elementos de irrigação, sensores e controlador. Ao lado direito da Figura 32, o método convencional, enquanto que ao centro, a área selecionada para ser controlada.

Figura 32 – Estufa de testes em fase de construção.



Fonte: Acervo do autor.

A principal dificuldade encontrada na implantação do sistema na estufa foi a capacitação de recursos humanos para exercer o controle e programação. Mesmo que em ambiente tecnológico, e que a ideia seja simples, houve uma significativa resistência até a adaptação com o produto.

Depois de inserido, já com as culturas implantadas e em fase de crescimento, o sistema atuou diariamente durante os dez meses de uso. A Figura 33 mostra o desenvolvimento da Alface durante o teste.

Figura 33 – Alface em fase avançada de desenvolvimento.



Fonte: Acervo do autor.

Já no caso do tomate, os resultados mesmo que melhores que no plantio convencional, não foram expressivos, e ficaram abaixo dos 15%. Isso é explicável pelo fato do tomate utilizar irrigação subterrânea do tipo gotejamento. A precisão neste tipo de rega é razoavelmente ruim. A Figura 34 mostra o tomate já em desenvolvimento.

Figura 34 – Tomate já em desenvolvimento avançado, dias antes da colheita.

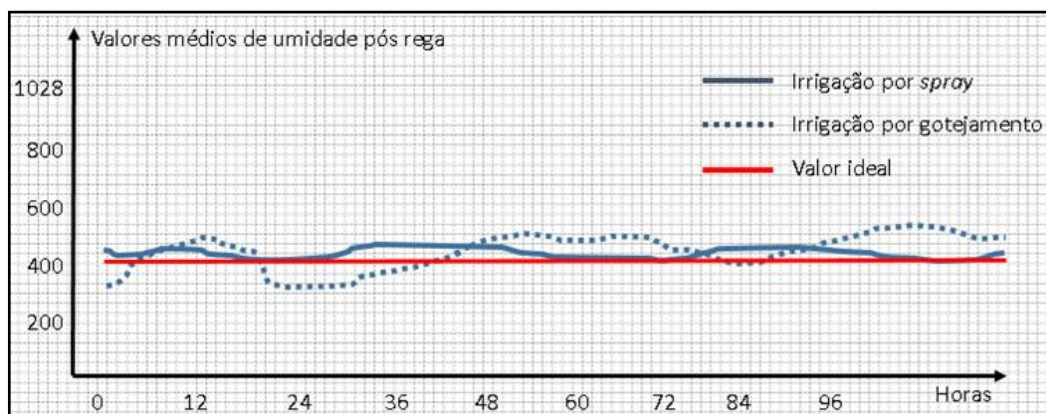


Fonte: Acervo do autor.

Isso é explicado através do gráfico contido na Figura 35, que mostra o comparativo de desvio padrão das leituras de umidade em diferentes pontos do módulo cultivado, indicando quão precisa está a rega.

O gráfico da Figura 35 tem significativa importância na mensuração da precisão do controle de umidade do solo nos diferentes tipos de irrigação adotados para controlar.

Figura 35 – Comparativo de desvio padrão das leituras de umidade em diferentes pontos do módulo cultivado.



Fonte: Acervo do autor.

Como a intenção é de que o projeto venha a virar produto comercial, este é um assunto que deve ser amplamente debatido com o investidor, pois a precisão do sistema também depende do equipamento de rega utilizado.

4.4 Impacto do controle no consumo de energia e água

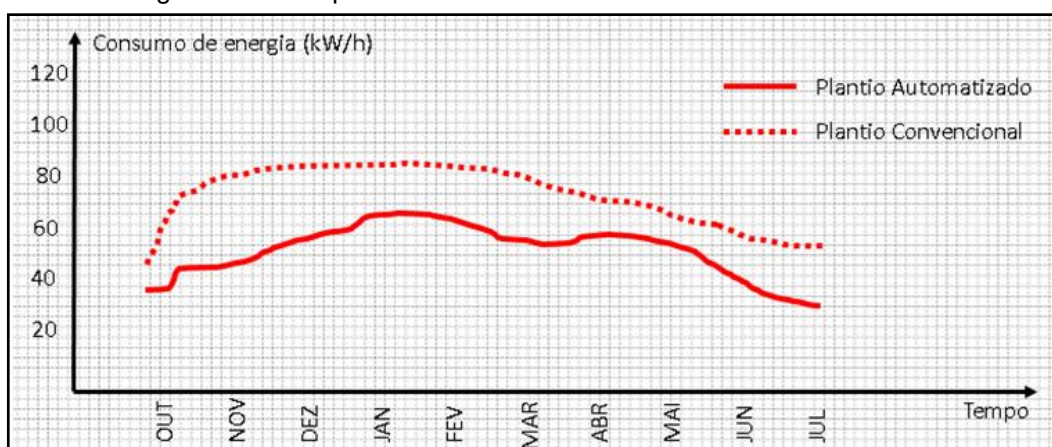
Desde o começo da pesquisa, estes resultados eram os que realmente iriam validar o uso do controle na estufa, e analisar assim a sua viabilidade econômica.

O mais impactante dos dois fatores, água e energia, é a energia elétrica, pois tem um peso maior no valor final do produto (pensando em um investidor que tenha como principal produto um hortifrúti).

O consumo de energia elétrica reduziu em todos os 10 meses de teste comparando diretamente o consumo elétrico dos meses, com a mesma área plantada, no plantio convencional e no plantio controlado.

O gráfico contido na Figura 36 mostra o comparativo entre o consumo elétrico dos dois métodos.

Figura 36 – Comparativo entre o consumo elétrico dos dois métodos.

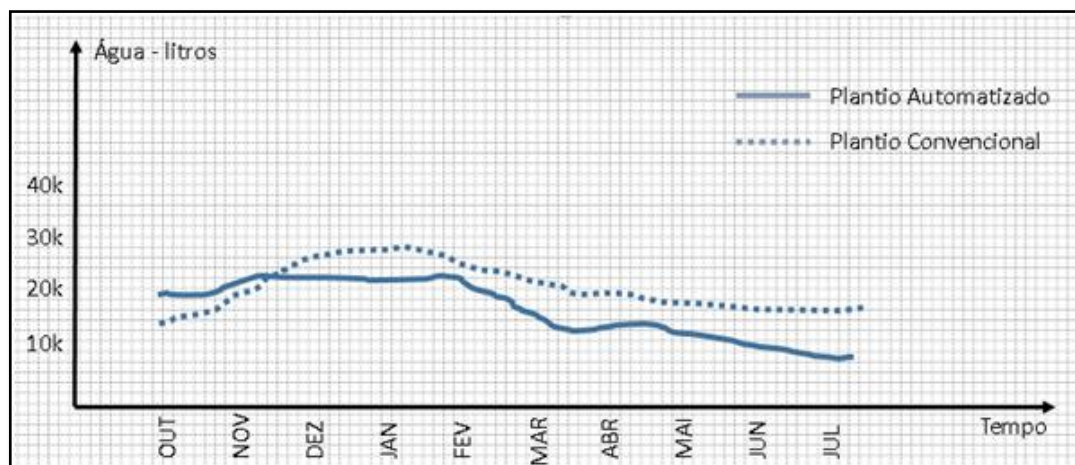


Fonte: Acervo do autor.

Entre outubro e fevereiro, como se pode ver na Figura 36, o consumo de energia elétrica é mais elevado, causado pela maior necessidade de acionamento das bombas de NPK e água. Logicamente, o consumo de água também deveria ser mais expressivo nestes meses, mas era de interesse da pesquisa avaliar quanto de água pode-se economizar com a automação.

Na Figura 37 tem-se o comparativo de consumo de água entre o método convencional e o método de controle adotado.

Figura 37 – Comparativo do consumo de água nos 10 meses de teste.



Fonte: Acervo do autor.

No gráfico do consumo de água, na Figura 37, no começo dos testes, nos meses de outubro e novembro, houve um consumo maior de água comparado ao sistema convencional, esse consumo elevado deve-se a uma má configuração do sistema, que adicionou mais água do que realmente era necessário. Após os ajustes, nota-se uma melhora significativa no consumo de água. Consumo este sempre menor que no método convencional.

4.4.1 Economia e recursos

Seria muito trabalhoso, e foge do assunto do trabalho, apresentar minuciosamente os resultados alcançados na economia dos recursos. Porém, fez-se uma análise de economia de energia e água por m² plantado.

Assim, após a implantação do sistema automatizado, teve-se uma redução média de 23,4% de consumo de energia elétrica e de 16,8% no consumo de água. Tais números podem não parecerem tão expressivos, mas no caso da energia elétrica o impacto financeiro em uma propriedade cultivadora pode, dependendo da área plantada, recuperar os recursos investidos em menos de 6 meses. Em termos de pico, tiveram-se reduções de quase 40% na energia elétrica e acima dos 50% na água (vide gráficos da Figura 36 e da Figura 37).

4.5 Resultados obtidos no produto final e análise de custo

Todo este trecho do trabalho foi elaborado pelo Departamento de Agronomia do Instituto Federal Farroupilha⁹. Como já citado, mesmo que os resultados em economia de recursos não tenha sido expressivo no Tomate, a cultura apresentou significativa melhora na aparência física, além de maior homogeneidade.

Em números, o desvio padrão de peso dos Tomates cultivados em plantio convencional, era de 10,38%. Com o plantio automatizado, o desvio padrão resultou 6,91%. Na Figura 38, tem-se um exemplo do Tomate colhido no método convencional, e na Figura 39 o colhido no método controlador. Nota-se, além da diferença de tamanho, diferença na estrutura interna. Motivada pela melhor distribuição de nutrientes entre pés.

Figura 38 – Diâmetro máximo dos tomates cultivados no plantio



Fonte: Acervo do autor.

Figura 39 – Tomates colhidos no sistema controlado.



Fonte: Acervo do autor.

⁹ Como o trabalho é voltado para sistemas de automação, e os autores não possuem conhecimento técnico para avaliar os resultados alcançados no produto colhido, optou-se por ceder ao Agrônomo este espaço.

Já no caso da Alface, os resultados chamaram a atenção para a padronização do produto, que é um dos itens mais importantes na venda do mesmo: a menor diferença possível entre pés colhidos. Na Figura 40 tem-se a Alface cultivada em modo convencional, e na Figura 41 no método controlado. Além das folhas serem maiores no caso controlado, nota-se uma padronização no tamanho das mesmas, resultado de uma irrigação precisa.

Figura 40 – Alface cultivada em modo convencional.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 41 – Alface cultivada no modo controlado.



Fonte: Acervo do autor.

O desvio padrão, no cultivo convencional é de 13,28% no peso, já no método controlado o desvio padrão de peso foi de 5,72%. Uma análise mais criteriosa seria necessária para a avaliação de quais são os ganhos por pé ao final da produção, ou seja: quanto valoriza cada pé, ou cada kg (no caso do Tomate) após a automatização.

4.6 Projeto modular para controle automatizado em ambiente protegido

Poderíamos citar inúmeras pesquisas realizadas com o intuito de comprovar o bom desempenho de grandes áreas cultivadas em ambiente protegido, áreas estas

com 4 a 6 hectares para cada cultura. As pesquisas sempre definem: se bem controladas as condições de sobrevivência dessas culturas, os bons resultados ampliam-se na mesma proporção do aumento de área plantada.

Portanto a implantação do projeto de controle apresentado neste item do trabalho, em áreas maiores, com condições controladas, pode-se esperar por resultados semelhantes.

4.6.1 Montagem do controle

A listagem de peças, montagem do sistema, ligações elétrica e afins, estão contidas no **ANEXO 3** deste trabalho.

4.6.2 Algoritmo de controle

O algoritmo de controle e as instruções de como deve ser inserido ao controlador, estão contidos no **ANEXO 4**.

5 CONCLUSÕES

Os cursos de Engenharia Mecânica no Brasil ainda abordam de maneira muito superficial a automação de sistemas. Existem cursos superiores e técnicos dedicados a este assunto, porém é de grande valia que o Engenheiro Mecânico tenha conhecimento sobre esta área, de modo que abre-se um nicho de mercado interessante.

A automatização de sistemas de produção da cadeia alimentar cresce anualmente, e sistemas cada vez mais complexos estão sendo desenvolvidos nas áreas de controle.

Por mais simples que pareça a tarefa de automatizar uma estufa, lembremos que a programação necessária para rodar o algoritmo de controle sem erros ocupou, aproximadamente, 350 linhas de comandos, todos ordenados em tempo e dia.

O maior êxito do trabalho foi conquistado: a implantação do sistema conseguiu reduzir o uso de recursos utilizados para o plantio. Uma análise financeira da adoção deste sistema em propriedades maiores foge muito do objetivo do trabalho, mas é uma das sugestões para trabalhos futuros.

A redução de quase $\frac{1}{4}$ do consumo de energia elétrica semeia um argumento: é possível reduzir em quase 20% o preço final do produto, ou utilizar esse recurso para melhorias no processo de cultivo, como no caso desta pesquisa.

Diante disto, selecionaram-se alguns fatores importantes para o finalização do trabalho:

- Uma pesquisa detalhada da demanda para este tipo de sistema de controle poderia melhorar o algoritmo, adicionando capacidade a este;
- A precisão e acurácia do sistema mostraram que o controle tem confiabilidade: em nenhum momento foi necessária intervenção humana;
- As reduções de 23,4% na energia elétrica, e 16,8% na água podem ser melhoradas, com uma análise mais favorável das necessidades de cada cultura;
- Podem ser adicionadas culturas a biblioteca de controle do sistema, abrangendo um maior número;

- Os sensores utilizados para mensuração da umidade de solo precisam ser substituídos por outros, pois os utilizados na pesquisa apresentaram falhas constantes e
- Está em andamento uma melhoria no sistema, que é a comunicação do sistema com as plataformas *Android*.

REFERÊNCIAS

ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, Controle E Automação de Processos**. Grupo Gen-LTC, 2000.

BACK, Nelson et al. Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Malone, 2008.

BARBOSA FILHO, Antonio Nunes. **Projeto e desenvolvimento de produtos**. Editora Atlas SA, 2000.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. Edgard Blucher, 2000.

CASTRO, AMG de; LIMA, Snzana Maria Vaile; AF FILHO, **Análise de Cadeias Produtivas. Agropecuárias e Oportunidades para a Automação**. Revista Brasileira de Agroinformática, v. 1, n. 1, p. 53-65, 1998.

CORREA, Henrique L.; CAON, Mauro. **Gestão de serviços**. São Paulo: Atlas, p. 309-310, 2002.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. Livros Tecnicos e Cientificos, 2007.

DE CAMPOS, Mario Massa; SAITO, Kaku. **Sistemas inteligentes em controle e automação de processos**. Ciência Moderna, 2001.

DE MORAES, Cícero Couto; DE LAURO CASTRUCCI, Plínio. **Engenharia de Automação Industrial** . Grupo Gen-LTC, 2000.

EDAN, Yael; HAN, Shufeng; KONDO, Naoshi. Automation in agriculture. In: **Springer handbook of automation**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. p. 1095-1128.

EMATER – Serviço de Extensão Rural. Site: <http://www.emater.tche.br/site/>. Acessos entre setembro de 2017 e março de 2018.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Site: <https://www.embrapa.br/>. Acessos entre setembro de 2017 e março de 2018.

FERREIRA, Cristiano Vasconcellos. **Projeto do produto**. Elsevier, 2010.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos**. Editora Saraiva, 2018.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. **São Paulo**, v. 5, n. 61, p. 16-17, 2002.

GOMES, Heber P. Sistemas de bombeamento. **João Pessoa, Editora Universitária UFPB**, 2009.

GOMES, Luiz Vidal Negreiros. **Criatividade: projeto, desenho, produto**. SCHDs, 2001.

GOMIDE, R. L. et al. Importância da automação nos sistemas agrícolas irrigados, visando a irrigação inteligente e a agricultura de precisão. **MATSURA, EE; JAVAREZ JUNIOR, A.; GOMES, EP; SOUZA, CF (Ed.) Aplicações da técnica de TDR na agricultura. Campinas: UNICAMP**, p. 1-36, 2001.

GRAH, V. de F. et al. Solução alternativa para bombeamento de água e automação da irrigação sem o uso de energia elétrica. **Irriga, Botucatu**, p. 309-323, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Site: <https://www.ibge.gov.br/>. Acessos entre setembro de 2017 e março de 2018.

JOHNSTON, Robert; CLARK, **Graham**. Administração de Operações de Serviço. 2002.

LOPES, Maurício Antônio; CONTINI, Elisio. Agricultura, sustentabilidade e tecnologia. **Agroanalysis**, v. 32, n. 02, p. 27-34, 2012.

LOVELOCK, Christopher H.; WRIGHT, Lauren. **Principles of service marketing and management**. Prentice Hall, 2002.

MALUF, Renato Sergio. Mercados agroalimentares e a agricultura familiar no Brasil: agregação de valor, cadeias integradas e circuitos regionais. **Ensaio FEE**, v. 25, n. 1, 2004.

MARTINS, Geomar Machado. Princípios de automação industrial. **Santa Maria: UFSM**, 2010.

MELCONIAN, Sarkis. Sistemas fluidomecânicos: hidráulica e pneumática. **Editora Érica**, 2014.

MENEZES, Denison et al. Automação e controle de pulverização em máquinas agrícolas. **Revista Eletrônica eF@tec**, v. 2, n. 1, p. 14-14, 2012.

MIYAGI, Paulo Eigi. Controle programável: fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos. Edgard Blucher, 2001.

PERES, Antônio Daniel Catunda. Módulo de Controle Aplicado à Automação Agrícola. **Trabalho de Conclusão de Curso UFC. [Online]**, 2012.

PURQUERIO, LUIS FELIPE VILLANI; TIVELLI, Sebastião Wilson. Manejo do ambiente em cultivo protegido. **Manual técnico de orientação: projeto hortalimento. São Paulo: Codeagro**, p. 15-29, 2006.

Revista Globo Rural. Edição de março de 2017. Editora Globo.

RIBEIRO, Maria Alice Rosa. História, ciência e tecnologia: 70 anos do Instituto Biológico de São Paulo na defesa da agricultura, 1927-1997. 1998.

SANTOS, LUCAS LEÃO; SEABRA JÚNIOR, S.; NUNES, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 83-93, 2010.

ROMANO, Leonardo Nabaes et al. Estrutura para a Representação de Modelos de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Produtos. **IV Congr. Bras. Gestão e Desenv. de Produtos**-Gramado, RS, Brasil, v. 6, 2003.

TRANI, Paulo Espíndola. Calagem e adubação para hortaliças sob cultivo protegido. **Campinas: IAC–Instituto Agrônomo de Campinas, Centro Horticultura**, 2014.

TSCHIEDEL, Mauro; FERREIRA, Mauro Fernando. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, 2002.

VALDIERO, Antonio C. et al. Ensino de engenharia mecânica orientado aos desafios da sociedade. In: **Congresso Cobenge**. 2006.

ZÜGE, Cláudia Tomie Yukishima. Alinhamento do planejamento estratégico com o plano diretor da automação industrial em pró do desenvolvimento sustentável. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo. 2014.

ANEXO 1

1. SENSORES

Sensores são utilizados em aplicações que variam desde controle de processos até aplicações para segurança de um operador. Portanto, diversos detalhes devem ser levados em consideração durante o processo de especificação do sensor adequado para cada aplicação.

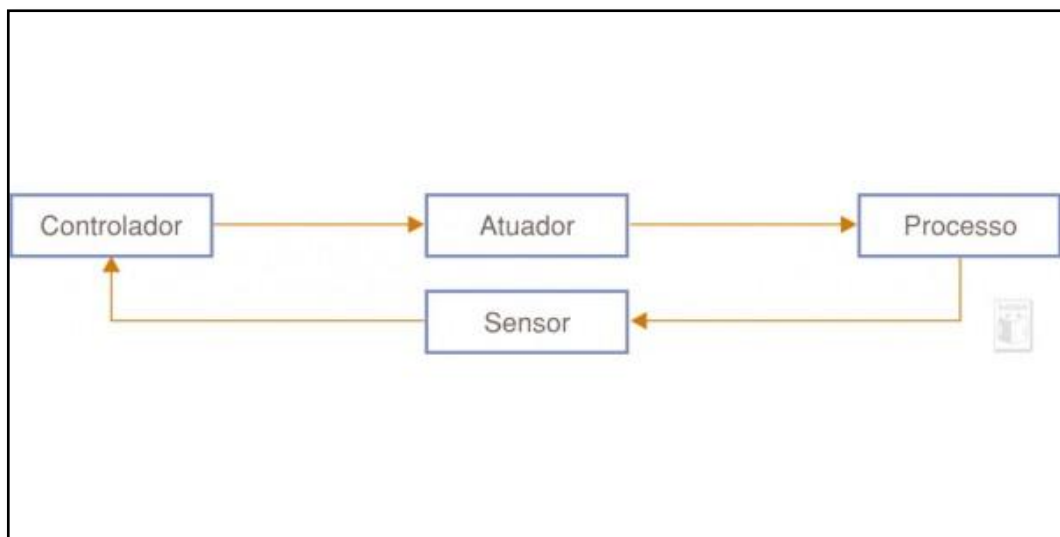


Figura 1: Diagrama de blocos de um sistema de controle.

1.1 Definição correta do tipo de sensor a ser utilizado:

- Qual é o tipo de material a ser detectado?
- Onde o sensor será aplicado?
- Quais características fundamentais esse sensor deverá possuir?

Para a última pergunta deve ser considerado o tipo de sinal que o sensor deverá fornecer (digital ou analógico), o tipo de chaveamento elétrico desse sensor (transistor NF ou NA, dois fios, etc.), a distância de acionamento, ou se deve possuir

algumas características diferenciadas como: alta temperatura, alta pressão, resistência a agentes químicos ou alto grau de proteção.

1.2 Tipo de sinal de saída:

- Digital: Esse tipo de sensor pode assumir somente dois valores no seu sinal de saída, que podem ser interpretados como 0 (zero) ou 1.
- Analógico: O sinal de saída desse tipo de sensor varia ao longo do tempo, assumindo valores dentro de sua faixa de operação. Normalmente os sinais utilizados são 4...20 mA ou 0...10 V. Esse sinal pode variar de acordo com a distância de acionamento ou com movimento de um atuador.

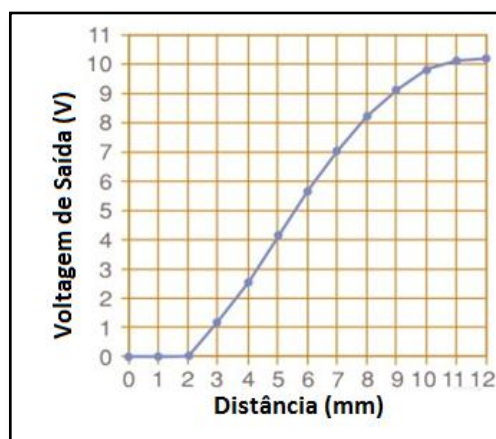


Figura 2: A tensão de saída (V) varia em função da distância de acionamento (mm).

1.3 Tipos de chaveamento encontrados em sensores

- 3 fios PNP: São sensores com saída a transistor, chaveando o terminal positivo da fonte.

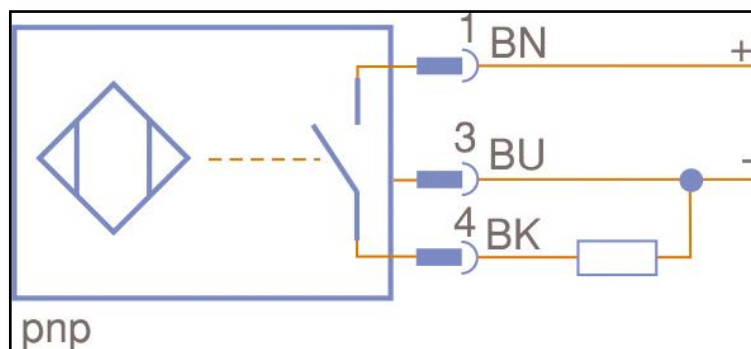


Figura 3: Chaveamento a 3 fios PNP.

- 3 fios NPN: São sensores com saída a transistor, chaveando o terminal negativo da fonte.

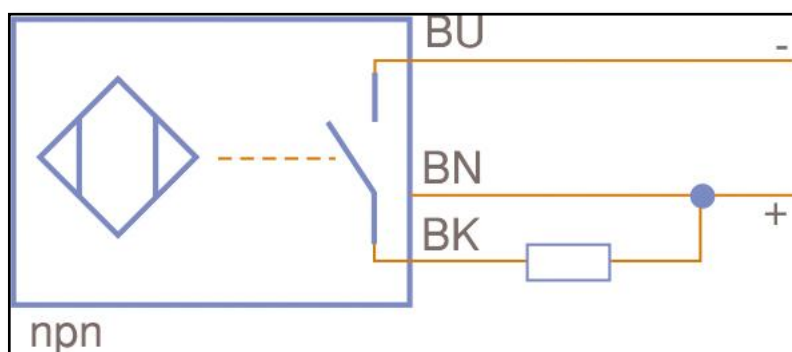


Figura 4: Chaveamento a 3 fios NPN.

- 2 fios corrente contínua: São sensores alimentados com tensão contínua, que vão ligados em série com uma carga, chaveando quando ocorre a detecção do objeto.

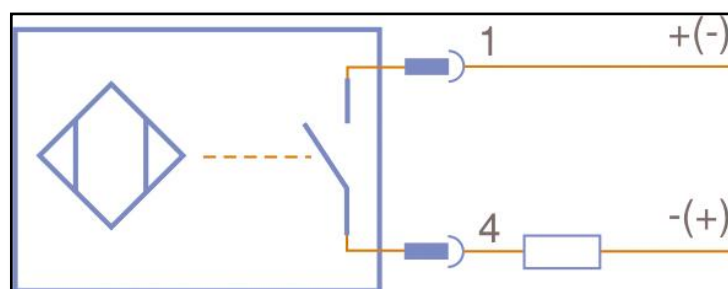


Figura 5: Chaveamento a 2 fios – corrente contínua.

- 2 fios corrente alternada: São sensores alimentados com tensão alternada, que vão ligados em série com uma carga, chaveando quando ocorre a detecção do objeto.

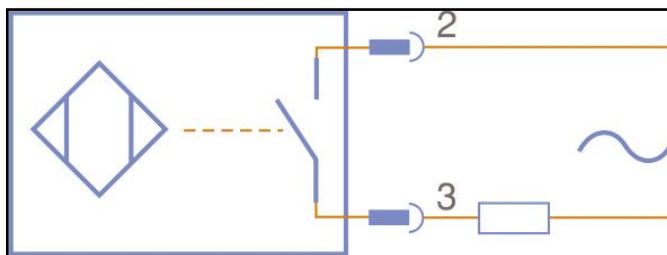


Figura 6: Chaveamento a 2 fios – corrente alternada.

- 2 fios AC/DC.

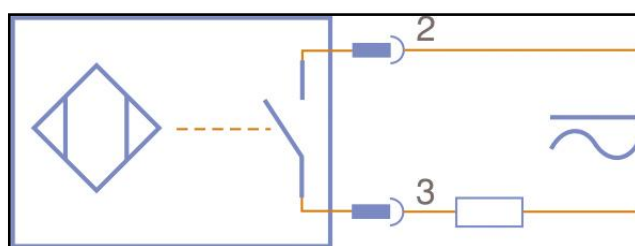


Figura 7: Chaveamento a 2 fios AC/DC.

- NAMUR: Os sensores NAMUR têm função semelhante aos sensores convencionais, porém não possuem transistor de chaveamento na saída e trabalham em baixa corrente. São usados em ambientes críticos, potencialmente explosivos.

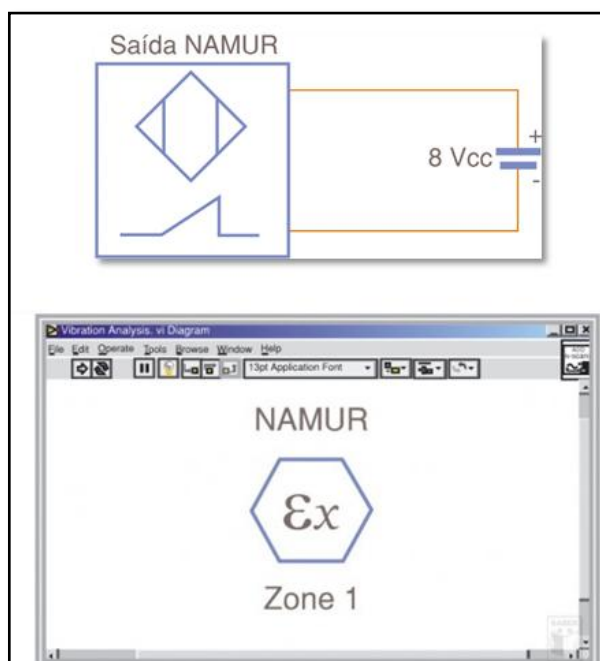


Figura 8: Sensor NAMUR.

1.4 Sensor de proximidade indutivo

Os sensores indutivos são equipamentos eletrônicos capazes de detectar objetos metálicos. Surgiram com o objetivo de substituir as tradicionais chaves “fim de curso”. A detecção ocorre sem que haja o contato físico entre o sensor e o objeto metálico, não havendo desgaste e aumentando a vida útil de ambas as partes. O princípio de funcionamento é baseado na geração de um campo eletromagnético de alta frequência, desenvolvido por uma bobina em um núcleo de ferrite e um circuito oscilador.



Figura 9: Sensor indutivo.

Esses sensores podem ser encontrados para instalação faceada ou não faceada no metal. É necessário consultar o data sheet do fabricante para uma instalação correta dos sensores.

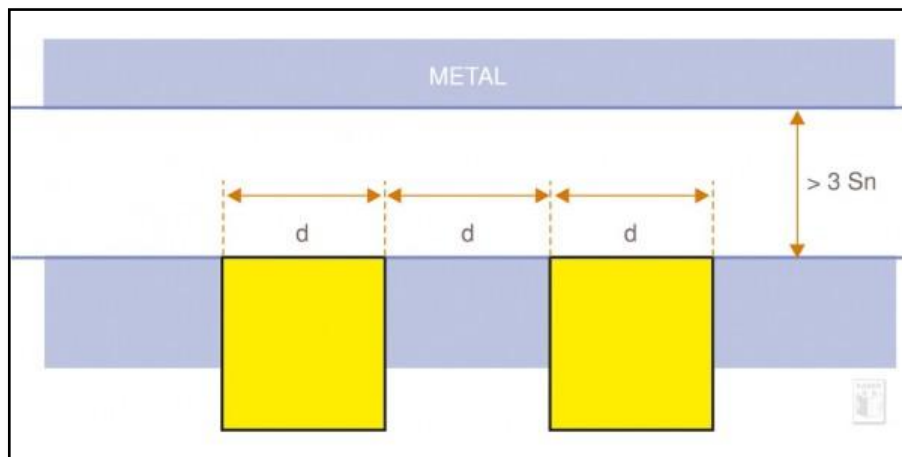


Figura 10: Sensor para instalação faceada.

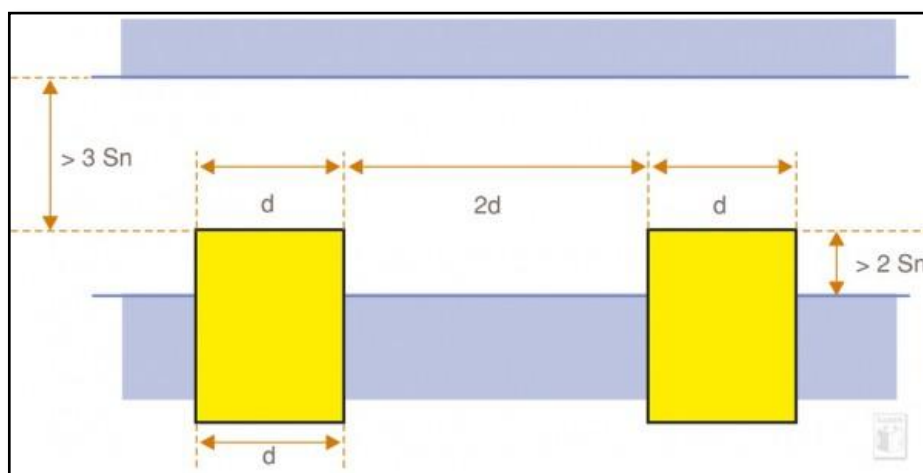


Figura 11: Sensor para instalação não faceada.

1.5 Sensor de proximidade capacitivo

Sensores capacitivos são sensores que detectam qualquer tipo de massa, portanto são capazes de detectar a presença de objetos plásticos, líquidos, orgânicos e também os metálicos detectados pelos sensores indutivos. A detecção também ocorre sem que haja contato físico e, além de distância e posição, os sensores capacitivos podem medir deformação, espessura, nível em tanques, desgaste ou vibração, por exemplo.

O seu princípio de funcionamento é baseado na variação de capacitância, na qual é gerado um campo eletrostático através de um oscilador controlado por capacitor. Quando um objeto é detectado, o valor da capacitância varia ocorrendo o chaveamento.



Figura 12: Sensor de proximidade capacitivo.

1.6 Sensor de campo magnético

Estes sensores são ativados por campos magnéticos e são adequados especialmente para detecção de pistões em cilindros pneumáticos. Devido ao fato de que campos magnéticos podem penetrar metais não magnetizados, esse tipo de sensor detecta ímãs permanentes instalados em um pistão através do corpo de alumínio do cilindro.

1.7 Sensor de temperatura

A temperatura é um fator crítico para muitos processos industriais e tem de ser constantemente monitorada a fim de operar máquinas e sistemas com segurança e eficiência. Uma solução confiável e prática para medição de temperatura são os sensores e transmissores eletrônicos de temperatura (sensores de temperatura). A confiabilidade não é apenas alcançada através de alta precisão e repetitividade, mas também através de diversas opções de interfaces disponíveis entre o processo e o operador.

Em aplicações industriais, a temperatura pode ser medida com termômetros de resistência ou termopares. Os Termômetros de resistência alcançam este objetivo através de resistências elétricas sensíveis à temperatura. Enquanto a resistência das PTCs aumenta com a elevação da temperatura, as NTCs comportam-se de modo contrário.



Figura 13: PTC & NTC.

1.8 Sensor de pressão

A pressão necessita ser medida e monitorada em aplicações de controle de processos e indústrias de manufatura. Sendo em sistemas-padrão ou em ambientes com condições especiais, cada aplicação requer a solução perfeita para cada aspecto. Materiais de alta qualidade, variadas conexões mecânicas ao processo, facilidade de programação (*IO-Link*), alta precisão e várias opções de exibição de funções são, portanto, padrões essenciais para a medição eletrônica da pressão.

A medição da pressão pode ser relativa, absoluta ou diferencial. Na medição da pressão relativa, a pressão zero é a pressão do ambiente, ou seja, mede a pressão em relação à pressão externa. Já a medição de pressão absoluta começa no vácuo absoluto. Finalmente, a medição de pressão diferencial mostra a diferença de pressão entre dois pontos.

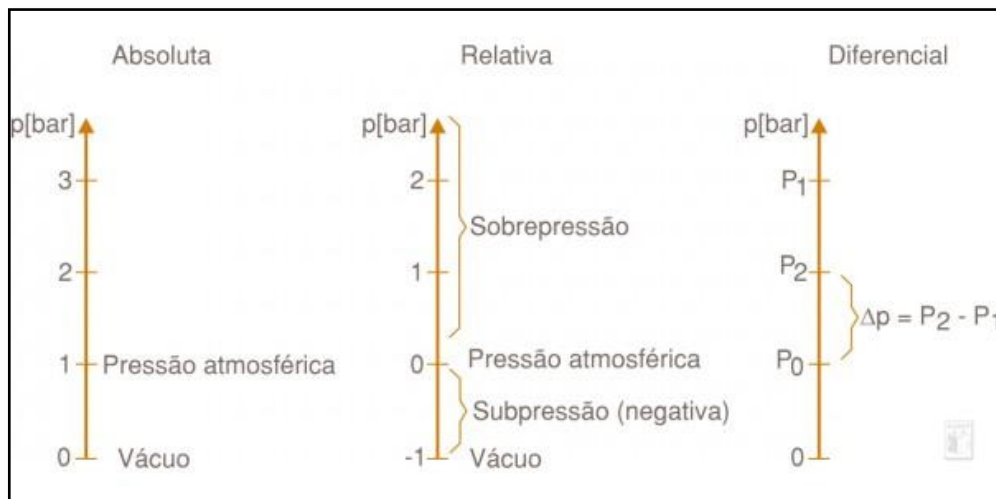


Figura 14: Diagramas de medição de pressão relativa, absoluta e diferencial.



Figura 15: Exemplo de sensor de pressão eletrônico.



Figura 16: Detalhe de instalação do sensor de pressão.

1.9 Sensores fotoelétricos

Sensores fotoelétricos usam luz visível ou infravermelha para detectar diferentes tipos de objetos sem contato, independentemente de sua consistência. Ao contrário dos sensores indutivos ou capacitivos, eles possuem distâncias sensores bem maiores.

As suas aplicações mais comuns são controle de posição, contagem, triagem e classificação. Eles são aplicados principalmente na indústria automotiva, construção de máquinas, linhas de montagem, sistemas de armazenamento e transporte.

Sensores fotoelétricos operam com o princípio de emissão e recepção de luz. Um diodo emite luz que é cortada ou refletida por um objeto e o evento é posteriormente processado.

Existem alguns modos desse processo ser realizado: modo oposto, retro refletivo, modo difuso ou via sistemas de fibra ótica, que deve ser escolhido analisando vários fatores da aplicação.

1.10 Sensores Ultrassônicos

Sensores ultrassônicos detectam uma infinidade de objetos sem contato e sem desgaste, com ondas ultrassônicas. Ao contrário de outras tecnologias de detecção, não importa se o objeto é transparente ou opaco (fotoelétricos), metálico ou não metálico (indutivos), sólido, líquido ou em pó, o mais importante é a superfície do objeto. Quanto mais lisa a superfície, melhor a refletividade da onda e maior a distância sensora.

As possibilidades de aplicações dos sensores ultrassônicos são quase infinitas. Seja medição de nível ou altura, medição de distância de um objeto ou mesmo contagem de objetos, os sensores ultrassônicos detectam objetos de diferentes materiais e propriedades e em longas distâncias. Condições do local, tais como *sprays*, poeiras ou chuva afetam insignificadamente seu funcionamento.

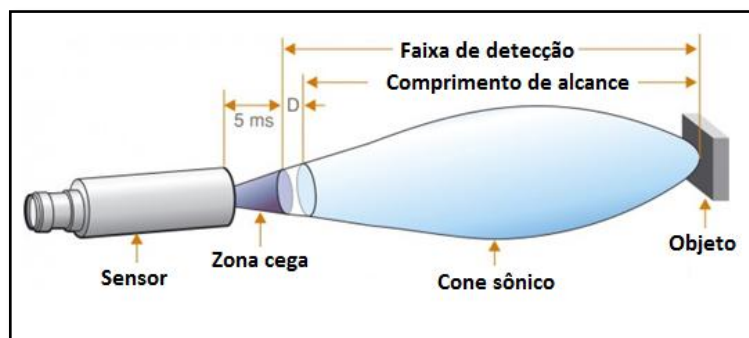


Figura 17: Cone sônico.

1.11 Sensores de Fluxo ou Vazão

Os Sensores de fluxo são aplicados na produção automatizada para detectar variações da velocidade do fluxo de gases e líquidos de forma rápida e confiável. Eles monitoram circuitos de refrigeração, proteção de bombas ou controle do fluxo de ar de dutos de exaustão e sistemas de ar condicionado.

Eles podem ser aplicados tanto para executar medições precisas quanto para controlar valores- limite e padrões de fluxo, em outras palavras, o aumento ou diminuição da velocidade do fluxo. O sinal de saída pode ser analógico ou binário, dependendo da necessidade de medir fluxo continuamente ou apenas valores limites.



Figura 18: Sensor magnetostritivo Turck.

1.12 Sensores de posicionamento linear

Também conhecido como Transdutor linear, esse sensor transmite um sinal analógico de acordo com o posicionamento de seu elemento atuador. É possível encontrar diferentes tipos de transdutores lineares para aplicações na indústria, cada um com diferentes princípios de funcionamento: princípio indutivo, magnetostritivo, ou potenciométrico são os mais usuais.

Princípio de funcionamento do sensor magnetostritivo:

- O elemento de medição é o guia de onda (tubo com cobre no seu interior), é também utilizado um elemento atuador (ímã permanente).
- Aplica-se um pulso de corrente, gerando um campo magnético em torno do guia de onda. Através de um efeito magnetostritivo cria-se uma onda mecânica (deformação).
- A distância é determinada a partir do tempo que essa onda leva para chegar ao conversor de sinal.

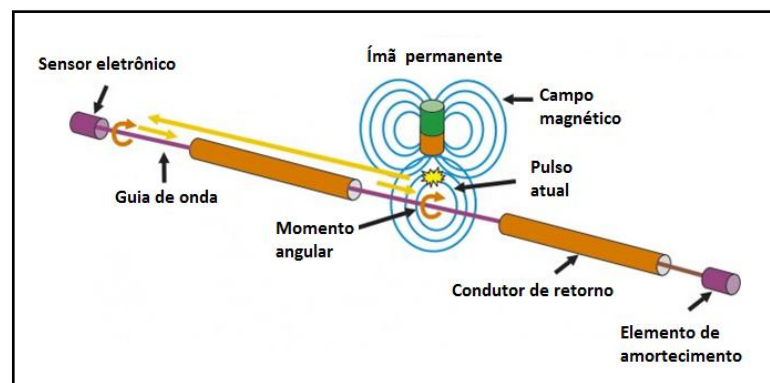


Figura 19: Princípio de funcionamento do sensor magnetostritivo.

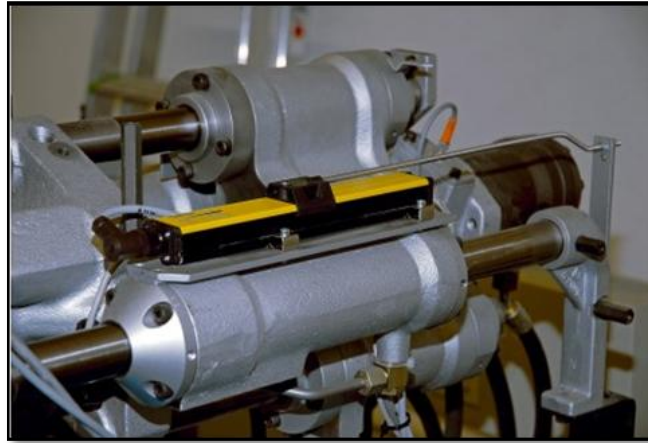


Figura 20: Aspecto físico do sensor.

Alta repetitividade e linearidade, precisão, robustez e medição sem contato com o elemento atuador são as principais características deste tipo de sensor, que acaba sendo utilizado em aplicações de controle de movimento em máquinas, cilindros pneumáticos ou mesmo para controle de nível de tanques, por exemplo.

1.13 Sensor de inclinação

Também conhecido como Inclinômetro, é um instrumento utilizado para medir ângulos de inclinação e elevação. Ele utiliza a aceleração gravitacional como referência para medir o ângulo de inclinação.

É um sensor muito utilizado para aplicações em veículos, máquinas agrícolas, aeronaves e robôs industriais. Normalmente oferecem sinal analógico de saída diretamente proporcional ao ângulo medido, com alto grau de precisão.

2. ATUADORES

Os atuadores são componentes que realizam a conversão da energia elétrica, hidráulica, pneumática em energia mecânica. A potência mecânica gerada pelos atuadores é enviada aos elos através dos sistemas de transmissão para que os mesmos se movimentem.

É possível classificar os atuadores de acordo com o tipo de energia que utiliza. A escolha do tipo de atuador mais indicado está relacionada com a esta classificação.

2.1 Atuadores Hidráulicos:

Utilizam um fluido à pressão para movimentar o braço. São utilizados em robô que operam grandes cargas, onde é necessária grande potência e velocidade, mas oferecem baixa precisão.

2.2 Atuadores Pneumáticos:

Utilizam um gás à pressão para movimentar o braço. São mais baratos que os hidráulicos, sendo usados em robôs de pequeno porte. Oferecem baixa precisão, ficando limitados a operações do tipo pega-e-coloca (do inglês, *pick and place*).

2.3 Atuadores Eletromagnéticos:

Motores elétricos (de passo, servos, Corrente Contínua ou Corrente Alternada) ou músculos artificiais, usados em robôs de pequeno e médio porte.

Os motores de corrente contínua (CC) são compactos e geralmente o valor de torque mantém-se numa faixa constante para grandes variações de velocidade, porém necessitam de sensores de posição angular (encoder) ou de velocidade (tacômetro) para controle de posição ou velocidade em malha fechada (servocontrole).

Uma alternativa mais simples consiste em usar motores de passo. Os mesmo podem funcionar em controle de malha aberta (posição e velocidade), e são facilmente interligados a unidades de comando de baixo custo, porém a curva de torque decresce com o aumento da velocidade e, em baixas velocidades, podem gerar vibrações mecânicas. São mais empregados na movimentação de garras.

2.4 Unidade de Controle

Um sistema de controle consiste de subsistemas e processos (ou plantas) reunidos com o propósito de controlar as saídas dos processos, onde uma entrada de referência é comparada com a saída do sistema, gerando um sinal de erro. O elemento controlador trata estes sinais que posteriormente são amplificados e enviados aos atuadores do sistema.

Assim, a unidade de controle responde pelo gerenciamento e monitoramento dos parâmetros operacionais requeridos para realizar as tarefas do robô. Os comandos de movimentação enviados aos atuadores são originados de controladores de movimento e baseados em informações obtidas pelos sensores.

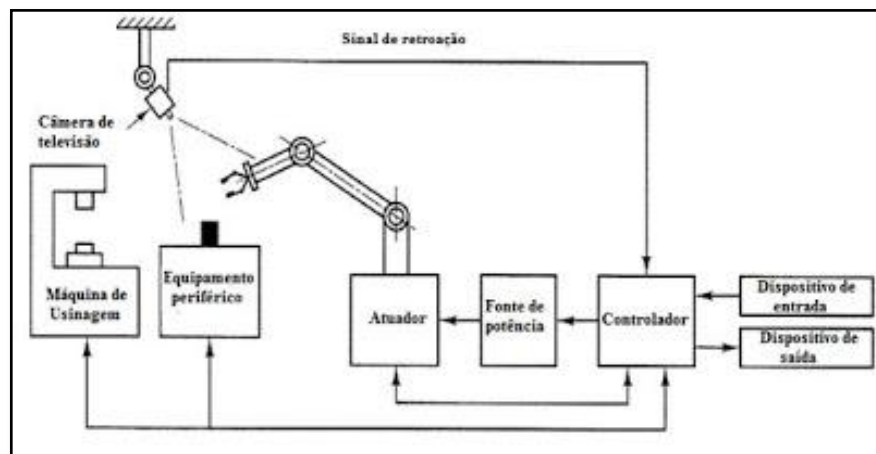


Figura 21: Sistema de Controle de Posição de um Robô Industrial.

Como exemplo de unidade controle, citam-se os computadores industriais, CLP, placa controladora de passo e os sistemas embarcados.

3.CONTROLADORES

3.1 Controladores de Processos Industriais

Imaginem um processo onde haja a necessidade de controle de temperatura , a ser feita manualmente por um operador. O operador teria que sentir a temperatura d'água de saída e, conforme a temperatura sentida abriria ou fecharia a válvula.

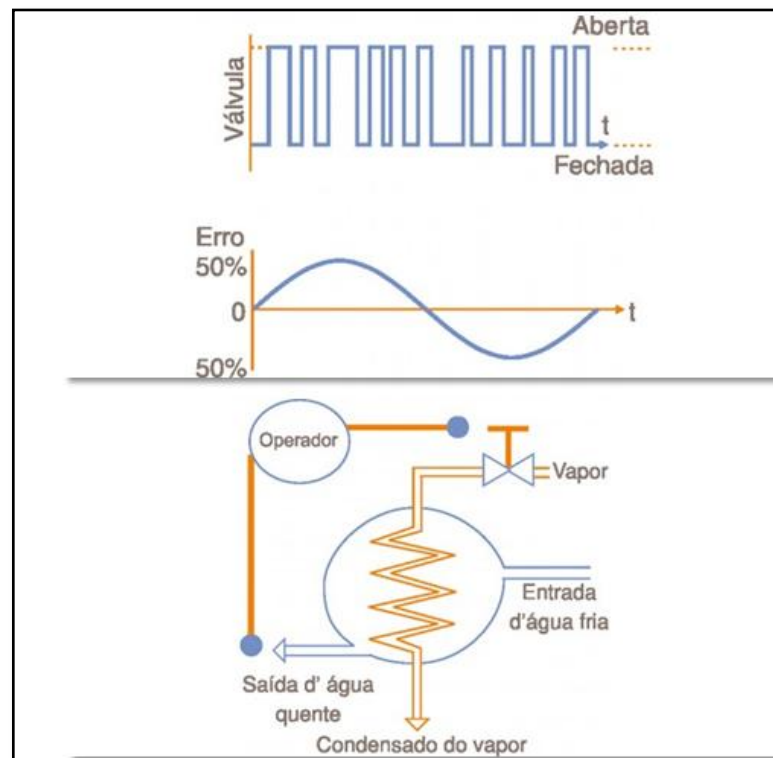


Figura 22: Controle de temperatura.

Este instrumento faz a função do operador, onde um sinal de temperatura (PV) é transmitido ao controlador, a temperatura é comparada com a temperatura desejada (SP) e, conforme o erro entre PV e SP, é transmitido um sinal de abertura ou fechamento de um elemento final de controle. Note que:

-PV (variável do processo) é a variável que é controlada no processo. Por exemplo: temperatura.

-SP (set point) é o valor desejado para a variável do processo.

MV (variável manipulada) é a variável onde o controlador atua para controlar o processo. Por exemplo: vazão de vapor.

3.1 Funcionamento

Os controladores podem funcionar com alguns tipos de controle, como controle ON-OFF, ON-OFF com histerese, por largura de pulsos e PID.

ON-OFF: Neste tipo de controle, o controlador apresenta apenas dois níveis de saída: 0% ou 100%. Conforme a diferença entre set point (SP) e a variável do processo (PV), o controlador envia um sinal para abrir ou fechar a válvula .

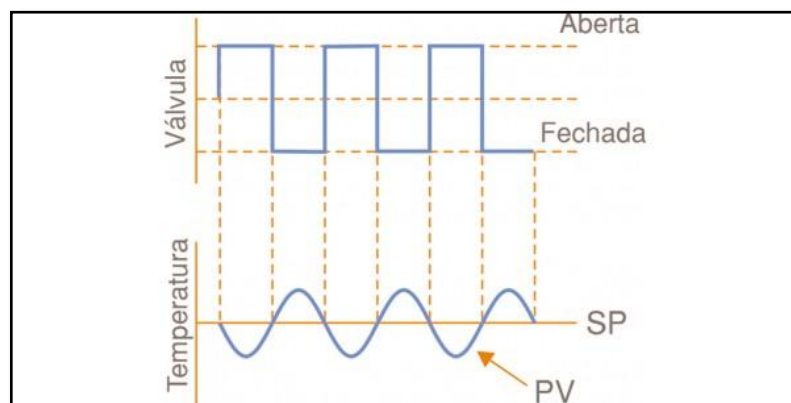


Figura 23: Controle ON-OFF.

ON-OFF com histerese: Neste tipo de controle a saída do controlador também apresenta apenas dois níveis de saída, mas é acrescentado um valor de histerese para que o processo tenha uma oscilação menor. A histerese é um valor que tem a finalidade de antecipar o acionamento da saída na chegada da PV no SP .

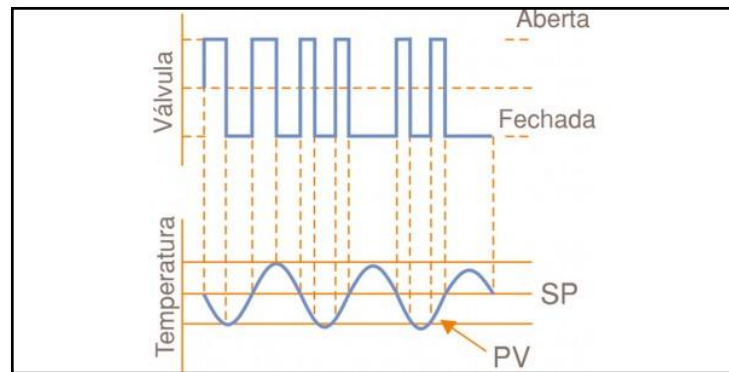


Figura 24: Controle ON-OFF com histerese.

ON-OFF por largura de pulsos: Num controle por largura de pulsos, o controlador apresenta dois níveis de saída, mas o tempo em que a saída fica acionada e desacionada depende da amplitude do erro.

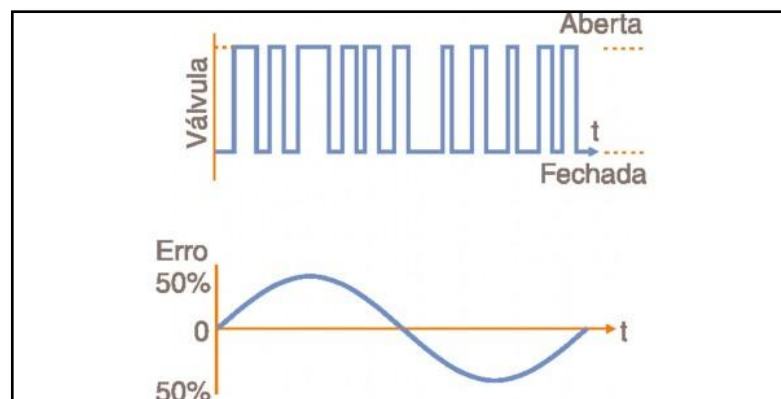


Figura 25: Controle ON-OFF por largura de pulsos.

3.3 Controle automático PID

Esta técnica consiste em calcular um valor de atuação sobre o processo a partir das informações do valor do SP e da PV. Este valor de atuação pode ser um sinal que aciona um posicionador de uma válvula de controle, um sinal de tensão aplicada numa resistência de aquecimento, etc. O PID consiste em três ações que tem a finalidade de controlar o processo:

P (proporcional) – Esta ação faz a correção proporcional ao erro entre SP e PV ($K_p \times E(t)$). Onde K_p é o ganho da ação proporcional;

I (integral) – A correção é feita na proporção do erro x tempo ($K_i \times E(t)dt$). Onde K_i é o ganho da ação integral;

D (derivativa) – Correção proporcional a velocidade da variação do erro ($K_d \times dE(t) / dt$). Onde K_d é o ganho da ação derivativa.

3.4 Tipos de Controladores

Existem dois tipos de controladores de processos no mercado, os controladores single loop e multi loops.

Single Loop (Não programáveis): Os controladores single loop são utilizados para o controle de apenas uma malha de controle. Na maioria desses controladores não é possível fazer uma programação de controle, somente é possível realizar uma configuração do controlador com os parâmetros pré-estabelecidos pelo fabricante, como mudança do range do sensor da entrada analógica, acionamento de um alarme, configuração das rampas e patamares, etc.

Multi Loop (Programáveis): Controladores que são usados para o controle de mais de uma malha de controle, normalmente encontrados para o controle de até quatro malhas de controle simultaneamente. São controladores mais avançados, pois possuem o artifício de programação de controle através de blocos de funções PID, alarme, registro, totalizadores, extrator de raiz, limitadores, temporizadores, etc., onde a programação pode ser feita via frontal do controlador, software de programação com comunicação serial e por hand helds.

O emprego deste controlador facilita na implantação de algum tipo de malha de controle, como cascata, split range, controle de relação e controle a três elementos de caldeira, pois no mesmo equipamento é possível centralizar o controle necessário.

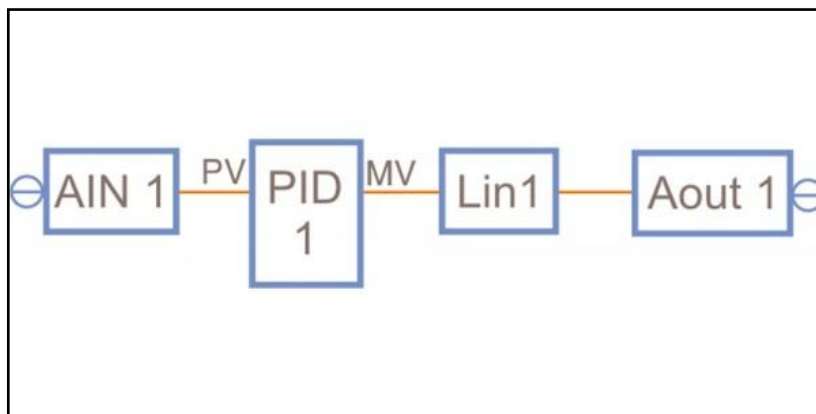


Figura 26: Exemplo de uma programação em blocos de controle simples com: entrada analógica 1 (AIN 1), bloco de controle PID (PID 1), bloco de linearização (LIN 1) e saída analógica (AOUT 1).

3.5 Sinais de Entrada e Saída dos Controladores

Os sinais de entrada dos controladores de processos são normalmente todos os tipos de sinais analógicos de entrada, como:

- Termopares – K, J, R, S, B, E, N, T;
- Termo resistências – PT100, PT50;
- Analógico – 4 a 20 mA, 0 a 20 mA, 1 a 5 Vcc, 0 a 10 Vcc e Frequência.

Os sinais analógicos de saída são – 4 a 20 mA, 0 a 20 mA, 0 a 10 Vcc, 1 a 5 Vcc.

3.6 Simbologia

A simbologia do controlador conforme a ISA 5., sendo o controlador e indicador de temperatura instalados no painel de controle.

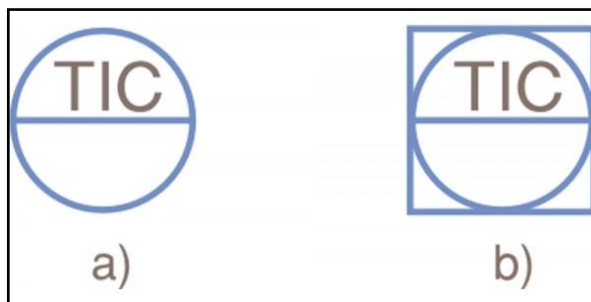


Figura 27: Simbologia do controlador single loop – convencional (a) e do controlador multi loop – compartilhado (b).

3.7 Tendência

A tendência que está ocorrendo quanto ao uso do controlador seria na sua aplicação para a comunicação com sistemas supervisórios, pois possuem comunicação serial. Tendência que facilita a operação em uma sala de controle, onde é possível a modificação dos parâmetros de PID, valores de alarmes e até mesmo alterar a sua programação via supervisório e software de programação.

ANEXO 2

CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE EM AMPÈRES (A) PARA CABOS DE COBRE COM ISOLAÇÃO EM EPR ou XLPE (90° C)

• Método de instalação: B1, B2 e C.

Seção Nominal do Condutor (mm ²)	Métodos de referência indicados					
	B1		B2		C	
	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados	2 Condutores Carregados	3 Condutores Carregados
0,5	12	10	11	10	12	11
0,75	15	13	15	13	16	14
1	18	16	17	15	19	17
1,5	23	20	22	19,5	24	22
2,5	31	28	30	26	33	30
4	42	37	40	35	45	40
6	54	48	51	44	58	52
10	75	66	69	60	80	71
16	100	88	91	80	107	96
25	133	117	119	105	138	119
35	164	144	146	128	171	147
50	198	175	175	154	209	179
70	253	222	221	194	269	229
95	306	269	265	233	328	278
120	354	312	305	268	382	322
150	407	358	349	307	441	371
185	464	408	395	348	508	424
240	546	481	462	407	599	500
300	528	553	529	465	693	576
400	751	661	628	552	835	692
500	864	760	718	631	965	797

Extraída da norma NBR 5410:2004 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão.

ANEXO 3

