



CEFET-MG

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

EDUARDO HENRIQUE LEMOS

AUTOMAÇÃO DE UM PROCESSO DE MALTEAÇÃO

Araxá-MG

2017

EDUARDO HENRIQUE LEMOS

AUTOMAÇÃO DE UM PROCESSO DE MALTEAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Me. Alexandre Dias Linhares
Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Morais de Oliveira

Araxá-MG

2017

EDUARDO HENRIQUE LEMOS

AUTOMAÇÃO DE UM PROCESSO DE MALTEAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá,
como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Automação Industrial

Defesa: Araxá, 7 de julho de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. ALEXANDRE DIAS LINHARES - Orientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Prof. Dr. ALEXANDRE MORAIS DE OLIVEIRA - Coorientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Prof. Me. SÉRGIO LUIZ DA SILVA PITHAN - Avaliador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Prof. Dr. ADMILSON VIEIRA DA COSTA - Avaliador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

DEDICO ESTE TRABALHO

*Aos meus pais, Ronaldo e Argemina,
que sempre me fizeram acreditar na realização dos meus sonhos e
trabalharam muito para que eu pudesse realizá-los.*

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e por iluminar os meus caminhos com a presença de pessoas tão especiais. Por me dar forças para vencer os momentos difíceis, coragem para continuar superando as dificuldades e paciência para não me entregar ao desânimo diante das minhas fraquezas.

Aos meus pais, Ronaldo e Argemina.

Aos meus irmãos, Gustavo e Ronaldo Júnior.

Aos meus irmãos de república, Matheus e Getúlio.

A toda minha família que sempre me deu força para que eu pudesse correr atrás dos meus objetivos.

Ao meu orientador Alexandre Linhares que me ajudou muito na realização desse trabalho e ao longo de todo o curso.

A todos os professores do CEFET.

Aos meus amigos, principalmente aos do Núcleo de Robótica - Carlos, Rafael, William, Pedro e Daniel.

Aos laboratoristas do CEFET, Carlos, Paulo, Gilberto e Francisco que me ajudaram muito na realização desse projeto.

Um país não pode ser um país de verdade senão tiver ao menos uma cerveja e uma empresa aérea. Ajuda se tiver uma equipe de futebol, ou armas nucleares, mas o mais importante é a cerveja.

FRANK ZAPPA

RESUMO

A produção de cervejas artesanais está crescendo e com ela, cada vez mais, a demanda por insumos. Como o malte é o insumo base para a produção de cerveja, esse trabalho, em pesquisa experimental, propõe a construção de um equipamento automatizado para a produção de malte, para que mestres cervejeiros possam fabricar, a seus gostos, diferentes tipos de malte. Também foi testada a produtividade da cevada na microrregião de Araxá e o processo de malteação de outras sementes. Foi desenvolvido um sistema supervisor específico para o controle da malteação, assim como todo o arranjo físico e circuito eletroeletrônico para sistema de controle em malha fechada e alguns processos em malha aberta. Utilizou-se nos ensaios, sementes de girassol e de milho, as quais apresentaram bons resultados após o processo de malteação, o que nos remete à conclusão de que o equipamento desenvolvido é capaz de maltear cereais de forma automatizada.

Palavras-chave: Automação. Malte. Malteação. Controle Supervisorio. Cevada.

ABSTRACT

The production of artisanal beers is growing and with it, more and more, the demand for inputs. Since malt is the basic input for beer production, this work, in experimental research, proposes the construction of an automated equipment for the production of malt, so that masters brewers can manufacture, to their tastes, different types of malt. The productivity of barley was also tested in the Araxá microregion and the malting process of other seeds. A specific supervisory system was developed to control malting, as well as the entire physical arrangement and electro-electronic circuit for a closed-loop control system and some open-loop processes. Sunflower seeds and corn seeds were used in the tests, which showed good results after the malting process, which leads us to the conclusion that the equipment developed is capable of malting cereals in an automated way.

Keywords: Automation. Malt. Maltreatment. Supervisory Control. Barley.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - A Carta Psicrométrica.....	20
Figura 2 - Saturador adiabático ideal.	21
Figura 3 - Trocador Evaporativo com recirculação de água.	21
Figura 4 - Calor total igual a soma de energia latente e sensível.	22
Figura 5 - eficiência de resfriamento.	22
Figura 6 - Elementos de um sistema automatizado.	23
Figura 7 - Sistema de Controle por realimentação.	23
Figura 8 - Controle supervisorio sobreposto aos outros sistemas de controle.	25
Figura 9 - Área sendo preparada.	26
Figura 10 - cevada com 15 dias.	27
Figura 11 - Cevada com 30 dias.....	27
Figura 12 - cevada pendoando com 45 dias.	28
Figura 13 - cevada com 70 dias.	28
Figura 14 - Detalhe cevada com 70 dias.....	29
Figura 15 - Cevada com 90 dias (ponto de colheita).....	29
Figura 16 - Primeira esboço do projeto.	30
Figura 17 - Cilindro Principal.	30
Figura 18 - Bomba de limpador de para-brisas.	31
Figura 19 - Sensores de posição.....	31
Figura 20 - Estrutura de suporte do cilindro.	32
Figura 21 - Motor de limpador de para-brisa.	32
Figura 22 - Montagem do cilindro na base.	32
Figura 23 - Caixa isoladora.	33
Figura 24 - Lâmpadas para aquecimento.....	33
Figura 25 - Saída de ar do sistema.	34
Figura 26 - Sistema de Controle por realimentação completo.....	34
Figura 27 - Sensor de temperatura e umidade DHT11.....	36
Figura 28 - Detalhes da posição do sensor de temperatura e umidade.	36
Figura 29 - Sistema evaporativo.....	37
Figura 30 - Detalhe sistema evaporativo desenvolvido por Oliveira (2014).	37
Figura 31 - Montagem do sistema de acionamento dos ventiladores.	38
Figura 32 - Motor de limpador de para-brisa automobilístico.	38

Figura 33 - Relé eletromecânico.	39
Figura 34 - Circuito de acionamento do relé.....	39
Figura 35 - Transistor NPN 2N3019 / Diodo 1n4007 / Resistor 1K.....	39
Figura 36 - Sensor de contato e circuito do sensor.	40
Figura 37 - Circuito DHT11.....	40
Figura 38 - circuito completo.	41
Figura 39 - Montagem Final.	41
Figura 40 - Arduino mega.	42
Figura 41 - Tela do sistema Supervisório.	42
Figura 42 - Controle dos ciclos de maceração.	44
Figura 43 - Controle do ciclo de Germinação.....	44
Figura 44 - Malte Château Vienna.....	45
Figura 45 - Malte Château melano light.	45
Figura 46 - Controle do ciclo de Secagem.	46
Figura 47 - Código para selecionar uma porta disponível.	47
Figura 48 - Conectar/desconectar Arduino.	47
Figura 49 - Fechar porta serial.	48
Figura 50 - Enviar comandos p/ Arduino.	48
Figura 51 - Fragmento de código de como receber um comando no Arduino.....	49
Figura 52 - Enviar dados de umidade e temperatura.	49
Figura 53 - Receber dados supervisório.	50
Figura 54 - Especificações sensor DHT11.	50
Figura 55 - Código DHT11.....	51
Figura 56 - Separação dos grãos.	52
Figura 57 - Cachos de cevada.	52
Figura 58 - Cachos esmagados.	53
Figura 59 - Sementes de cevada.	53
Figura 60 - Sementes carunchadas.	54
Figura 61 - Registro do sistema supervisório.	55
Figura 62 - Sensor utilizado para aferir os registros (termo-higrômetro).	55
Figura 63 - Configuração Maceração.	56
Figura 64 - Sementes de milho durante a maceração.....	56
Figura 65 - Pesagem semente de girassol.....	57
Figura 66 - Pesagem semente de milho.....	57

Figura 67 - Dados coletados durante a maceração.....	58
Figura 68 - Configuração da Geminação.	59
Figura 69 - Sementes germinando.	60
Figura 70 - Detalhe sementes de girassol germinando.	60
Figura 71 - Configuração Secagem.....	62
Figura 72 - Saída do sistema evaporativo.	62
Figura 73 - Saída de ar e detalhe do sensor de temp. e umidade.....	62
Figura 74 - Dados coletados na secagem.	63
Figura 75 - Sementes após a secagem.....	64
Figura 76 - Diferença da coloração dos maltes.	65
Figura 77 - Diferença do malte de milho.	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico do grau da maceração.	18
Gráfico 2 - Comportamento sensor temperatura	35
Gráfico 3 - Curvas temperaturas maceração.....	58
Gráfico 4 - Curvas umidades maceração	58
Gráfico 5 - Curvas temperatura germinação.	60
Gráfico 6 - Curvas umidades germinação.	61
Gráfico 7 - Curvas de temperaturas secagem.....	63
Gráfico 8 - Curvas de Umidades secagem.....	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Malteação	17
2.1.1 MACERAÇÃO	17
2.1.2 GERMINAÇÃO	18
2.1.3 SECAGEM	19
2.2 Psicrometria	19
2.3 Resfriamento evaporativo	21
2.4 Automação de processos de manufatura	22
2.4.1 ELEMENTOS BÁSICOS DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO	22
2.4.2 SISTEMAS DE CONTROLE	23
2.4.3 CONTROLE DE PROCESSOS POR COMPUTADOR	24
2.4.4 MONITORAMENTO DE PROCESSOS POR COMPUTADOR	24
3 METODOLOGIA	26
3.1 Cultivo da cevada	26
3.2 Projeto mecânico	29
3.3 Controle de Temperatura	34
3.3.1 SENSOR DE TEMPERATURA	34
3.3.2 VENTILADORES	37
3.3.3 MOTOR PARA IMPULSIONAR O SISTEMA ROTATIVO	38
3.4 Projeto eletrônico	38
3.5 Controle	41
3.5.1 SISTEMA SUPERVISÓRIO	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5 CONCLUSÕES	66
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CervBrasil) (2017), o Brasil produz 13 bilhões de litros de cerveja por ano, entre cervejas artesanais e industriais, e consome 14 bilhões de litros no mesmo período. No Brasil existem cerca de 200 microcervejarias, as quais representam apenas 0,15% do mercado total de cervejas, de acordo com dados do SEBRAE (2017), com potencial de crescimento para 2% nos próximos 10 anos. Se a produção não consegue atender a demanda e as microcervejarias, que produzem cerveja artesanal, estão crescendo, é, certamente, uma oportunidade de desenvolver novas tecnologias / produtos para auxiliar esse mercado em ascensão.

Os ingredientes básicos da cerveja são: água, uma fonte de amido, uma levedura de cerveja (para produzir a fermentação) e lúpulo. Dentre os ingredientes, com certeza, a fonte de amido é o que mais chama a atenção por ser basicamente qualquer fonte de amido, dentre as quais se destacam os cereais (milho, trigo, aveia, cevada, arroz, centeio etc.). O lúpulo é responsável pelo amargor da cerveja (sabor característico) (DRAGONE; SILVA, 2010).

Na produção de cerveja, as indústrias cervejeiras, utilizam, como fonte de amido, cereais não maltados e cereais maltados, a diferença básica entre eles é que os maltados têm menor dureza, o que facilita a moagem; as enzimas responsáveis pela quebra do amido durante a brasagem estão desenvolvidas e introduz cor e aromas desejáveis à cerveja (LIMA; FILHO, 2011).

O processo de malteação tem por objetivo a ativação e formação enzimáticas, essas enzimas atuarão sobre as substâncias de reserva do grão, principalmente sobre o amido e as proteínas, transformando-as em substâncias de menor peso molecular (PORTO, 2011). Basicamente a malteação consiste em três etapas: a umidificação (denominada maceração), a germinação (onde se ativa o processo enzimático do grão) e o processo de secagem (onde se interrompe o processo de germinação). Na indústria essas etapas são desempenhadas por diferentes equipamentos.

Esse processo é o foco desse trabalho, no qual foi desenvolvido um protótipo automatizado que, a partir da aquisição de sinais de sensores, como o de temperatura e umidade, um micro controlador irá atuar para que o sistema seja regulado de maneira que o resultado do processo seja o mais próximo do desejado.

Isto é, de acordo com cada tipo de malte que se deseja produzir o protótipo irá fornecer de forma automática as condições necessárias para a produção. Diferente da indústria será utilizado um único equipamento para todas as etapas.

Cada dia mais produtores de cerveja artesanal estão surgindo; crescendo o número de produtores, e cresce a demanda por insumos.

O mercado de cervejas artesanais está em crescimento e é impulsionado pela tendência de valorização da sensorialidade e a busca pelo prazer no consumo. Esse aspecto favorece também a análise do custo-benefício feito pelo consumidor, que é refletido pelo lema “beba menos, beba melhor” (SEBRAE, 2015).

O malte é considerado a “alma da cerveja” (PORTO, 2011) e, conseqüentemente, o insumo mais importante. Existem diversos tipos de malte obtidos a partir de um mesmo grão, o que varia é a forma como se chega ao produto final, isto é, a forma como cada etapa foi trabalhada.

Na fabricação de um tipo de cerveja, podem ser utilizados diversos tipos de malte, cada um com uma peculiaridade diferente e um objetivo diferente. Geralmente a indústria fabrica um só tipo, o malte base, que é o usado em maior quantidade, dessa forma, seria financeiramente inviável uma indústria produzir diversos tipos diferentes sendo que alguns são utilizados em pequenas quantidades e por poucos cervejeiros.

Dessa forma, o desenvolvimento de um equipamento único, para produzir, em pequena escala, qualquer tipo de malte de forma totalmente controlada (umidade, temperatura etc.) é um passo importante para poder atender as necessidades dos mais exigentes mestres cervejeiros.

O objetivo geral é construir um protótipo onde o processo de malteação da cevada (maceração, germinação e secagem) seja realizado em um único equipamento, controlando a temperatura e a umidade. Os dados serão coletados e demonstrados em uma tela de controle e supervisão, sendo os objetivos específicos:

- Identificar, de forma empírica, se a região de Araxá produz cevada com uma produtividade aceitável;
- Instrumentalizar um protótipo, tornando-o capaz de operar com automatização em malha fechada para produção de malte de cerveja;
- Desenvolver um sistema de supervisão para o Processo;
- Produzir algum tipo de malte.

Contextualizando o tema da cerveja artesanal em Minas Gerais, o jornal Estado de Minas (2017), em matéria publicada em 02/04/2017 destaca a região de Belo Horizonte como o “cinturão da cevada” e mostra a proporção que a cerveja artesanal está atingindo dentro da cidade. Segue trecho da matéria:

“Minas não tem mar, mas tem bar.” A frase, comum para definir a vocação boêmia do estado, ficou ultrapassada. Com 41 cervejarias artesanais instaladas no estado e pelo menos mais 30 marcas sem fábrica própria, Minas tem muito mais do que bares e se destaca na fabricação de cerveja a ponto de já ser considerada a Bélgica brasileira. A produção da bebida à base de malte de cevada e lúpulo alcança o 1,3 milhão de litros ao mês e, contrariando a crise, prevê crescimento de 14% este ano. Trata-se de número 28 vezes maior em relação ao aumento do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro estimado pelo Banco Central (BC), de 0,5%. No centro desse mercado, a Região Metropolitana de Belo Horizonte se consolida como o cinturão da cevada, com destaque para Nova Lima, polo de fabricação das cervejas (E.M., 2017).

A matéria prossegue comparando a produção em diferentes estados brasileiros e destacando que em Minas Gerais o grande diferencial é a inovação. A matéria cita também a rigidez da escola Alemã e a liberdade da escola Belga na produção de cerveja, comparando essa liberdade com a que existe em Minas Gerais. Segue o trecho da matéria:

Em volume de produção, o estado se encontra atrás somente de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo. Em inovação, entretanto, Minas é destaque no ramo. Segundo Fabiana Arreguy, uma das sócias da Academia Sommelier de Cerveja, o título de Bélgica brasileira se deve à criatividade dos mestres cervejeiros de Minas, característica semelhante aos produtores do país europeu. “A cerveja belga tem uma liberdade criativa para se adicionar ingredientes. Em outras escolas, como a alemã, isso não ocorre”, ressalta a *sommelière*, que afirma que essa característica faz com que Minas Gerais esteja na vanguarda da produção cervejeira (E.M., 2017).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Malteação

O malte é obtido através da germinação de diferentes tipos de grãos, inclusive da cevada. Após a colheita do grão, a cevada é armazenada em silos próprios, sob condições favoráveis de temperatura e umidade, até que seja enviada para a indústria. No processo de transformação da semente em malte, a semente é germinada com condições de temperatura, umidade e aeração controladas, até que se interrompa o processo. Do contrário, obter-se-ia uma planta. O processo de malteação está ligado à qualidade da cerveja, uma vez que o aroma, o sabor e a cor, ou seja, as características sensoriais da bebida dependem da qualidade do malte (DRAGONE; SILVA, 2010). O processo é dividido em: Maceração, Germinação e Secagem.

2.1.1 MACERAÇÃO

A etapa de maceração, ou umidificação, é a etapa inicial do processo de malteação. Nesse momento tira-se a semente do estado de dormência, elevando o teor de umidade entre 35 e 45%. Sem elevar a umidade do grão ele nunca irá germinar (PORTO, 2011).

A maceração é uma etapa crítica do processo, pois é necessário que todos os grãos atinjam a umidade desejada de forma homogênea, para se obter um malte homogêneo. Os grãos possuem partes que absorvem água mais rapidamente que outras, além de que, fisicamente, um grão é diferente do outro, sendo que um grão com uma abertura ou defeito na casca tem maior absorção de água (PORTO, 2011).

A absorção de água também depende do tempo de maceração: quanto mais próximo do grau de saturação, mais lento é o processo de absorção (TSCHOPE, 1999). O GRAF. 1 mostra a curva de maceração para água a 10°.

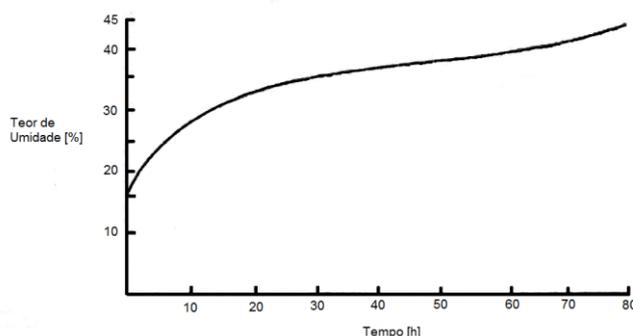


Gráfico 1 - Gráfico do grau da maceração.
Fonte: TSCHOPE (1999, p. 33).

A maceração é feita intercalando períodos em que o cereal fica inteiramente submerso na água e períodos nos quais a água é drenada, denominados períodos secos. Isso é feito para que o cereal consiga atingir mais rapidamente o percentual de umidade desejado. Para determinar o grau de maceração (% de umidade), deve-se pesar o grão antes e depois do processo: a diferença de peso é o volume de água que a semente absorveu.

2.1.2 GERMINAÇÃO

A germinação é o processo de transformação da semente em uma nova planta, no qual ela, primeiramente, utiliza-se de suas reservas energéticas como fonte de alimentação, pois ainda não tem clorofila. É necessária a atuação enzimática para que ela consiga desdobrar determinadas substâncias (TSCHOPE, 1999).

Na produção do malte, o objetivo não é obter uma nova planta e sim aproveitar a transformação natural da semente para obter as enzimas naturais dessa transformação que serão utilizadas na produção de cerveja (ZSCHOERPER, 2009).

De acordo com Tschope, 1999, para que se inicie o processo de germinação do grão, é necessário elevar o teor de umidade para 35 - 46%, por isso é feito o processo de maceração primeiro.

Durante o processo de germinação, a semente perde aproximadamente 0,5% de umidade por dia, por isso é importante controlar o processo para que essa umidade perdida para o ambiente possa ser repostada, o que geralmente é feito por aspersão de água sobre os grãos. O controle da temperatura também é importante. O processo de germinação (criação de raízes e enzimas) se dá mais rápido com a

temperatura mais elevada, mas quando a germinação ocorre a temperaturas mais baixas, conseqüentemente, mais devagar, a quantidade de enzimas produzida é maior. Normalmente utiliza-se temperatura de germinação entre 16 e 25 °C para a cevada (ZSCHOERPER, 2009).

2.1.3 SECAGEM

A secagem finaliza o processo de germinação, isto é, após a secagem, o grão deixa de sofrer transformações e se torna armazenável e estável. A secagem se inicia com um fluxo de ar, passando pelas sementes a uma temperatura mais baixa e, conforme a umidade vai diminuindo, a temperatura do fluxo de ar vai aumentando.

A energia consumida no processo de secagem representa cerca de 90% do total consumido no processo de malteação (PORTO, 2011). O processo de secagem, geralmente, é dividido em 4 etapas. Na primeira, utiliza-se uma temperatura entre 50 e 60°C até que o malte diminua sua umidade para aproximadamente 23%; logo após, é aumentada a temperatura e diminuído o fluxo até que o grão atinja aproximadamente 12% de umidade; na terceira, a umidade é reduzida de 12 para 6% e, como a umidade relativa do ar nessa etapa é baixa, permite a recirculação do ar; na quarta etapa, o malte é curado: aumenta-se a temperatura para uma faixa entre 80 e 110°C (a temperatura varia conforme o tipo de malte que se deseja produzir) (BAMFORTH, 1993).

Existem vários tipos de maltes e o que os diferencia são suas características de aroma e sabor, que vão depender da temperatura e do tempo de secagem a que o grão germinado (malte verde) é submetido.

2.2 Psicrometria

Para que a germinação ocorra em uma temperatura mais amena e com uma umidade mais elevada do que o ar ambiente, é importante entender quais são as propriedades termodinâmicas envolvidas e quais ações são possíveis para controlar o ar dentro do equipamento onde ocorrerá a germinação.

De acordo com Wylen e Sonntag (1976), a psicrometria investiga, sob determinada condição barométrica, as propriedades do ar úmido. As propriedades termodinâmicas são correlacionadas na Carta Psicrométrica conforme FIG. 1.

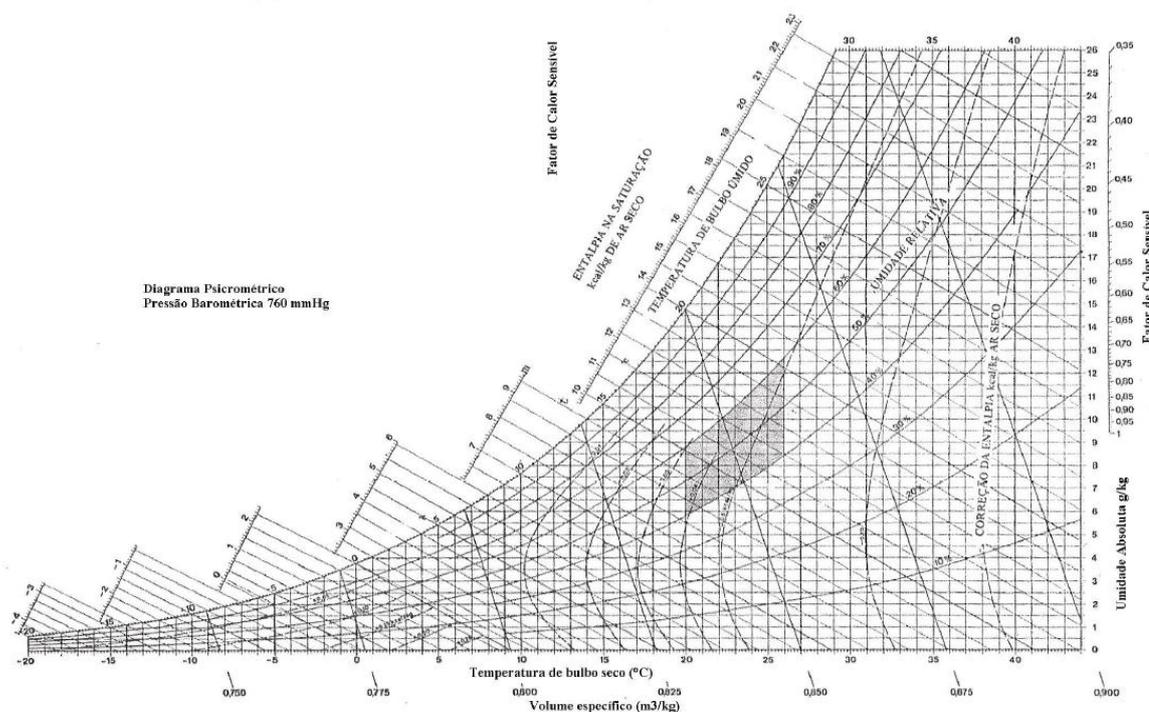


Figura 1 - A Carta Psicrométrica.
Fonte: Oliveira (2014, p. 41).

A carta psicrométrica correlaciona as variáveis: temperatura de bulbo úmido e seco, umidade absoluta e relativa, temperatura de orvalho e entalpia.

A temperatura de bulbo seco é a variável relacionada ao ar ambiente $T_{bs}(^{\circ}\text{C})$ e a temperatura de bulbo úmido é indicada por um chumaço de algodão embebido com água $T_{bu}(^{\circ}\text{C})$. A menos que o ar ambiente esteja saturado (condição que $T_{bs}(^{\circ}\text{C})$ é igual a $T_{bu}(^{\circ}\text{C})$), a temperatura $T_{bu}(^{\circ}\text{C})$ será menor que a temperatura $T_{bs}(^{\circ}\text{C})$, devido ao resfriamento evaporativo.

A umidade relativa pode ser interpretada como a relação da quantidade de água presente no ar (umidade absoluta) com a quantidade de água máxima que poderia estar presente na mistura à mesma temperatura (ponto de saturação) (WYLEN; SONNTAG, 1976).

Em um processo ideal de saturação adiabática, quando a umidade é adicionada ao ar, ao final do processo tem-se a temperatura de bulbo úmido, conforme ilustra a FIG. 2.

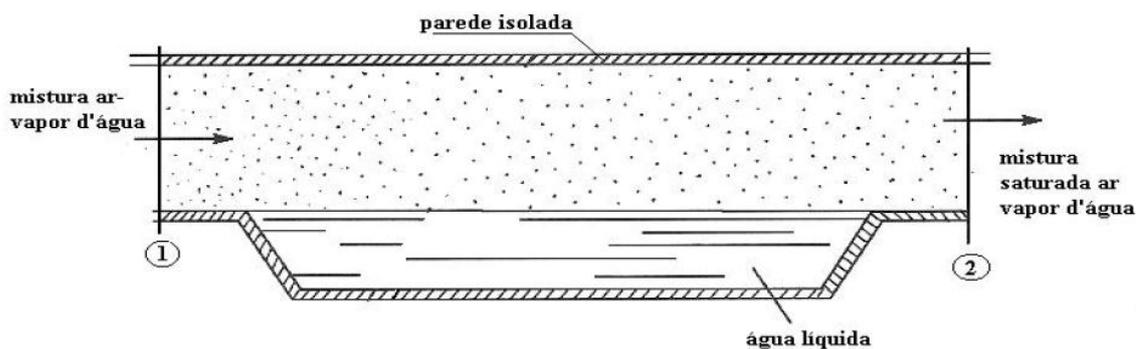


Figura 2 - Saturador adiabático ideal.
Fonte: Oliveira (2014, p. 44).

O ponto de orvalho do ar úmido é a temperatura de uma superfície em que a umidade presente no ar começa a condensar, a temperatura de orvalho é menor que a temperatura T_{bu} ($^{\circ}\text{C}$) (OLIVEIRA, 2014).

2.3 Resfriamento evaporativo

Um trocador de calor e massa do tipo evaporativo é similar ao processo de saturação adiabática. Um processo inovador apresenta uma bomba que circula água por um sistema evaporativo. Esse modelo permite um melhor sistema de controle das variáveis temperatura e umidade. Oliveira (2014) apresenta um modelo de acordo com a FIG. 3.

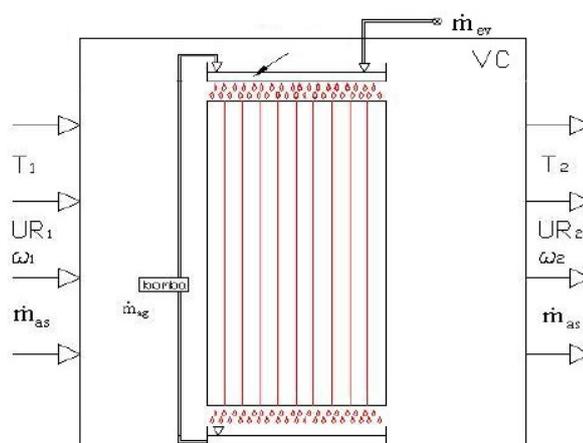


Figura 3 - Trocador Evaporativo com recirculação de água.
Fonte: Oliveira (2014, p. 46).

A quantidade de calor envolvida no processo (calor total) é igual à soma da energia latente devido à mudança de fase da água líquida para vapor, mais o

calor sensível retirado do ar. O balanço térmico é definido em Oliveira (2014), conforme a expressão apresentada na FIG. 4.

$$\dot{q}_{Tot} = \dot{q}_L + \dot{q}_{sens}$$

Figura 4 - Calor total igual a soma de energia latente e sensível.
Fonte: OLIVEIRA, (2014, p. 46).

A eficiência de resfriamento (h), segundo o mesmo autor, é calculada pela equação apresentada na FIG. 5:

$$h = (T_1 - T_2) / (T_1 - T_{BU})$$

Figura 5 - eficiência de resfriamento.
Fonte: OLIVEIRA, (2014, p. 46).

Onde:

T1 é a temperatura inicial do processo de resfriamento;

T2 é a temperatura final do processo;

T_{BU} é a temperatura de bulbo úmido.

2.4 Automação de processos de manufatura

Segundo Groover 2011, a automação é definida como uma tecnologia pela qual um processo ou procedimento pode ser executado livre da atuação direta humana. Embora a automação possa ser aplicada a qualquer área, a automação está diretamente ligada ao processo de produção industrial.

2.4.1 ELEMENTOS BÁSICOS DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO

Um sistema automatizado é composto por três elementos: (1) Energia para executar os processos e manter o sistema de controle, (2) um sistema de controle, que dê instruções e direcione o processo e (3) um programa de instruções ou etapas do processo (GROOVER, 2011). Esses elementos estão relacionados na FIG. 6.

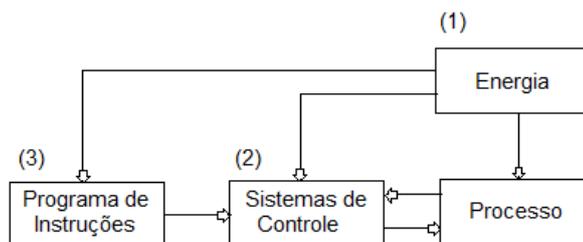


Figura 6 - Elementos de um sistema automatizado.
Fonte: GROOVER (2011, p. 58).

2.4.2 SISTEMAS DE CONTROLE

O elemento de controle em um sistema automatizado, segundo Groover (2011), executa as instruções programadas, faz com que seja executado o processo de produção ou algumas etapas desse processo.

Os controles de um sistema automatizado podem ser tanto de malha aberta como de malha fechada. Um sistema de malha fechada (ou sistema de controle por realimentação) é aquele no qual uma variável de saída é comparada com um parâmetro de entrada e a diferença entre eles (erro) é utilizado para que a saída se aproxime da entrada.

Um sistema de malha fechada basicamente é composto por 6 elementos: (1) Parâmetro de entrada; (2) Controlador; (3) Atuador; (4) Processo; (5) Variável de saída (6) Sensor de feedback. Esses elementos são ilustrados na FIG. 7.

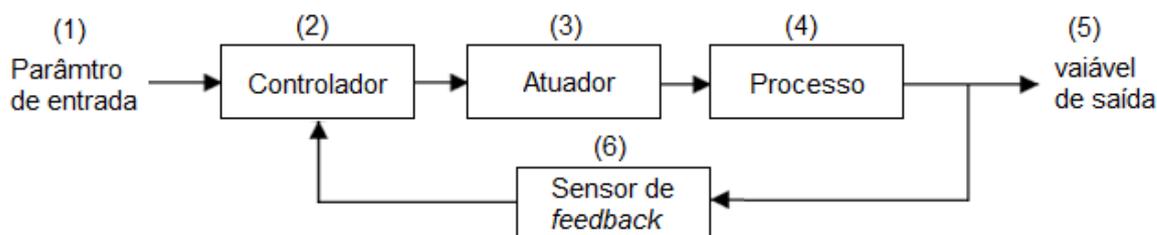


Figura 7 - Sistema de Controle por realimentação.
Fonte: GROOVER (2011, p. 63).

O parâmetro de entrada, que normalmente é chamado de parâmetro desejado (*set point*), representa aquilo que se espera da saída. O processo é o que está sendo controlado. O que se controla é a variável de processo (variável de saída). O sensor é o que mede a variável de saída e retorna o que foi medido para o controlador. O atuador - elemento final de controle - é o dispositivo que irá atuar

sobre o processo para que a variável de saída se aproxime do parâmetro de entrada.

Já o sistema de controle de malha aberta opera sem utilizar-se de uma realimentação, isto é, opera sem comparar o valor da saída ao parâmetro de entrada. O controlador confia em um modelo definido do processo, ou seja, o efeito no valor de saída é pré-definido conforme os efeitos dos atuadores sobre a variável de processo.

Em um sistema de malha aberta, há sempre o risco de que o efeito no valor de saída, causado pelo atuador, não seja o esperado e essa é a desvantagem desse tipo controle em relação ao sistema de controle de malha fechada.

2.4.3 CONTROLE DE PROCESSOS POR COMPUTADOR

A utilização de computadores digitais no controle de processos iniciou-se no fim dos anos 50, anteriormente eram utilizados controladores analógicos para se implementar o controle contínuo. Para ser implementado controle discreto, utilizava-se sistemas de relés. Hoje, praticamente todos os processos de controle são controlados por computadores digitais baseados em microprocessadores, com certeza todas as novas instalações (GROOVER, 2011).

2.4.4 MONITORAMENTO DE PROCESSOS POR COMPUTADOR

O monitoramento de processos por computador é um dos meios pelos quais é possível comunicar-se com um processo. Envolve a utilização de um computador para monitorar/controlar o processo e os diversos equipamentos envolvidos através dos dados adquiridos.

O controle digital direto (DDC) é um sistema que permite calcular valores desejados de parâmetros de entrada e aplica-los diretamente ao processo, por meio de sensores analógicos (GROOVER, 2011).

O controle numérico (CN) é outra maneira de controlar um processo por computador. Este controle é feito por meio do envio de instruções através de um computador para um equipamento onde uma ferramenta é dirigida conforme uma sequência de etapas de processamento, as quais são interpretadas como a trajetória da ferramenta.

Controladores Lógicos programáveis (CLPs) foram introduzidos no final dos anos 70. Os CLPs são controladores baseados em microprocessadores que utilizam instruções guardadas na memória para aplicar funções lógicas, funções de tempo, de sequenciamento, de contagem e de controles aritméticos com o intuito de controlar equipamentos e processos.

O controle supervísório representa um nível mais alto de controle que o DDC, o CN e os CLPs. Esses controles comunicam diretamente com o processo. Em contrapartida, o controle supervísório se sobrepõe a esses sistemas de controle de nível de processo, direcionando suas operações. Conforme está ilustrado na FIG. 8.

Na indústria, o controle supervísório denota um sistema de gerenciamento de certo número de atividades ou operações, integradas em uma unidade para alcançar certos objetivos econômicos (GROOVER, 2011).

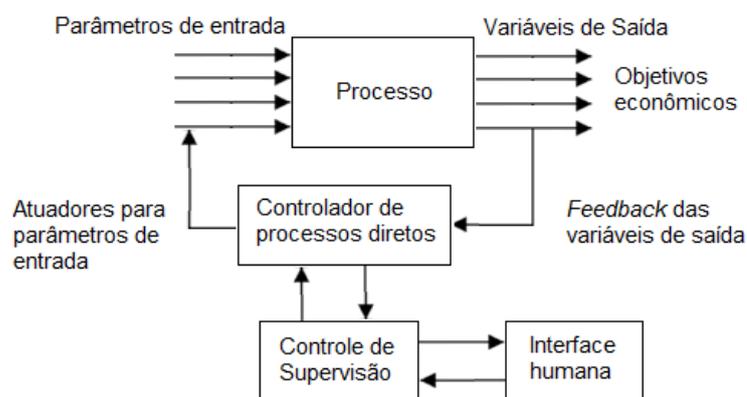


Figura 8 - Controle supervísório sobreposto aos outros sistemas de controle.
Fonte: GROOVER (2011, p. 87).

3 METODOLOGIA

O experimento foi dividido em 4 partes:

- Cultivo da cevada;
- Construção mecânica;
- Elaboração do sistema de controle (incluindo parte elétrica);
- Preparação do malte.

3.1 Cultivo da cevada

Para verificar se a cevada tem uma produtividade razoável na região de Araxá, foi separada uma área de aproximadamente 25 m² nas instalações do CEFET. A área, mostrada na FIG. 9, foi preparada com calcário (4Kg), esterco de vaca (20kg), adubo para plantio 4148 (3kg). As sementes foram semeadas com espaçamento de 14cm entre linhas e aproximadamente 3cm entre cada semente. Para o plantio, foram acompanhadas as instruções da cartilha preparada pela Embrapa para a produção de cevada cervejeira nas safras de 2013 e 2014.



Figura 9 - Área sendo preparada.

A irrigação foi realizada diariamente até a cevada começar a nascer, como mostra a FIG. 10.



Figura 10 - cevada com 15 dias.

Quando a cevada completou 30 dias, vide FIG. 11 foi realizada uma cobertura com adubo nitrogenado (Ureia - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$).



Figura 11 - Cevada com 30 dias.

Com 45 dias, mostrado na FIG.12, a cevada começou a pendurar. A irrigação foi realizada uma vez por semana a partir dos 30 dias.



Figura 12 - cevada pendoando com 45 dias.

Com aproximadamente 70 dias após o plantio, era possível observar várias plantas já começando a secar conforme ilustram as FIG. 13 e FIG. 14.



Figura 13 - cevada com 70 dias.



Figura 14 - Detalhe cevada com 70 dias.

A FIG. 15 mostra a cevada no ponto de colheita com 90 dias contados a partir do plantio. A colheita foi realizada de forma manual, arrancando-se todas as plantas. Posteriormente foram transportadas para um local coberto para que fosse realizada a separação das sementes.



Figura 15 - Cevada com 90 dias (ponto de colheita).

3.2 Projeto mecânico

O projeto foi concebido a partir de ideias próprias. Pensou-se em fazer uma estufa controlada, com condições de movimentar as sementes. Para isso o protótipo deveria ser constituído por um cilindro que rotaciona sobre dois eixos, um dos quais é acoplado a um motor. Desenvolveu-se o anteprojeto conforme ilustrado

na FIG. 16. Durante a montagem, diversas soluções foram esboçadas e implementadas, mantendo a ideia original apresentada.

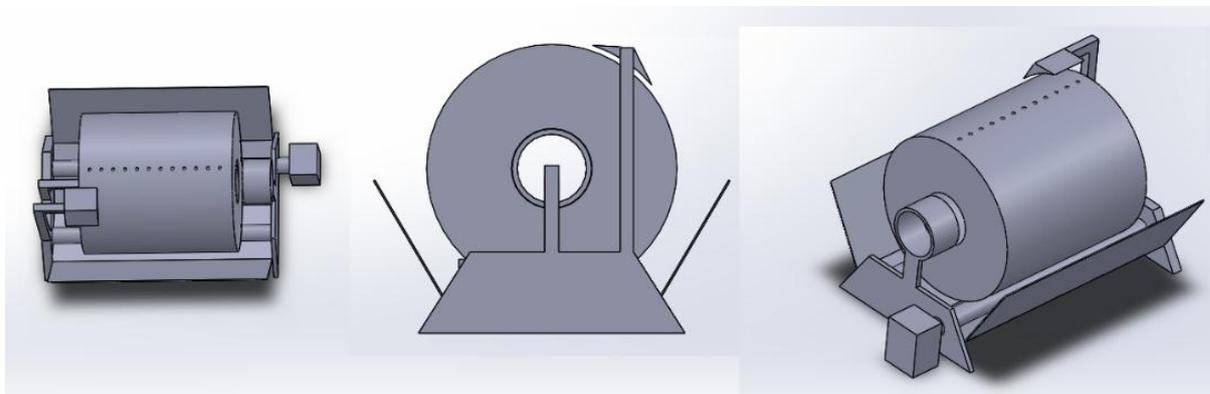


Figura 16 - Primeiro esboço do projeto.

A estrutura mecânica do protótipo foi construída a partir de materiais reutilizados. Para o cilindro onde ocorrer a transformação da semente em malte, foram utilizados dois baldes de 20 litros de 40 cm de altura e com a boca de 30 cm de diâmetro (o diâmetro do balde vai diminuindo da boca para o fundo), os baldes foram aparafusados pelo fundo para aumentar a capacidade para sementes a serem processadas e também para que a superfície de contato com os eixos de rotação tivessem o mesmo diâmetro, como mostrado na FIG. 17:



Figura 17 - Cilindro Principal.

Nos baldes foram feitos furos para que pudesse ser passado um tubo fixo, onde foram instalados os sensores para medir a temperatura e umidade no interior do cilindro. Por esse tubo também foram fixadas duas mangueiras para a injeção de água no sistema, nos dois baldes. O tubo permanece fixo enquanto o cilindro gira conforme a etapa do processo. Foram adaptadas ao sistema duas bombas de limpadores de para-brisas, reaproveitadas, para abastecer o sistema de água, conforme mostrado na FIG. 18.



Figura 18 - Bomba de limpador de para-brisas.

Para escoar a água do sistema, o cilindro contém furos de cerca de 2mm de diâmetro em um dos lados (por todo o corpo do cilindro). Dessa forma, quando o sistema estiver sendo abastecido com água, o cilindro irá girar até que os furos estejam posicionados para cima. Quando a etapa do processo exigir que seja escoada a água do sistema, o cilindro voltará a girar até que os furos estejam para baixo.

Para identificar qual lado está para cima ou para baixo, foram instalados dois sensores de contato ao lado do cilindro, esses sensores irão monitorar ressaltos no cilindro, em cada lado, foi instalado um ressalto. Dessa forma é possível saber qual lado está para cima e qual lado está para baixo. A FIG. 19 mostra os sensores de posição instalados.



Figura 19 - Sensores de posição.

A parte estrutural que fornece o torque e o apoio para o cilindro principal foi feita a partir de tubos de PVC de DN32mm, que vão encaixadas em um rolamento com o auxílio de um encaixe feito em polietileno usinado no próprio CEFET. Um eixo gira livre e outro é acoplado ao motor; no eixo que é acoplado ao motor foram instaladas lixas para que aumente a aderência do cilindro principal com o eixo. Conforme é mostrado na FIG. 20.



Figura 20 - Estrutura de suporte do cilindro.

O motor utilizado no sistema é um motor de limpador de para-brisa automotivo. O motor vai aparafusado ao suporte de madeira e é ligado diretamente ao eixo, como mostra a FIG. 21.



Figura 21 - Motor de limpador de para-brisa.

A montagem da estrutura é destacada na FIG. 22:



Figura 22 - Montagem do cilindro na base.

Essa estrutura foi instalada dentro de uma caixa para que a temperatura pudesse ser transmitida e controlada.

A caixa tem a função de isolar a temperatura dentro do sistema; ela foi produzida com chapa de madeira prensada e resinada, como mostra a FIG. 23. O isolamento se fez com a ajuda de cola branca em uma camada de folha de isopor e a parte do fundo foi coberta com vinil branco, para que fosse protegida a madeira da umidade.



Figura 23 - Caixa isoladora.

O aquecimento foi feito a partir de lâmpadas incandescentes instaladas dentro da caixa, mostrado pela FIG. 24.



Figura 24 - Lâmpadas para aquecimento.

Para que o ar possa circular pelo sistema, retirando o CO_2 produzido pela germinação e o ar úmido possa ser retirado no processo de secagem, foi instalado um tubo com um ventilador para servir como um exaustor. A FIG. 25 mostra o processo.



Figura 25 - Saída de ar do sistema.

3.3 Controle de Temperatura

Como a temperatura é um fator que influencia consideravelmente na produção do malte (TSCHOPE, 1999), o protótipo tem um sistema de controle de temperatura, contendo as seguintes partes: sensor de temperatura, módulo de monitoração, módulo de controle, módulo de aquecimento e módulo de resfriamento.

Um esquema geral de controle em malha fechada é mostrado no diagrama de blocos da FIG. 26.

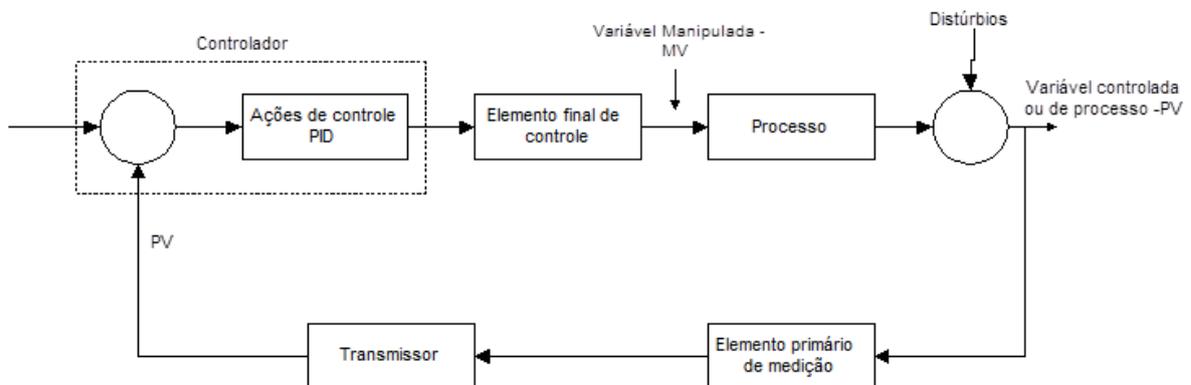


Figura 26 - Sistema de Controle por realimentação completo.

Fonte: GROOVER (2011 p. 63).

3.3.1 SENSOR DE TEMPERATURA

Um sensor é um dispositivo que converte uma grandeza física em um sinal que possa ser transmitido a um dispositivo indicador e, dessa forma, mostrar o valor da grandeza que está sendo medida (FUENTES, 2005). O sensor que foi utilizado é o DHT11, mostrado na FIG. 27, possui aproximadamente 100 ohms de

resistência a 0°C. Seu princípio de funcionamento é baseado numa relação linear da resistência em função da temperatura, seguindo a expressão:

$$R(\theta) = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta\theta + \beta\Delta\theta^2)$$

Na qual:

“ θ ” é a temperatura;

“ $R(\theta)$ ” é a resistência em função da temperatura;

“ R_0 ” a resistência inicial;

“ $\Delta\theta$ ” é a variação de temperatura;

“ α ” é o coeficiente de temperatura do material;

“ β ” é o coeficiente de calibração do equipamento.

“ β ” pode ser considerado nulo para a platina, assim a curva de resistência versus temperatura tem um comportamento linear como mostra o GRAF. 2:

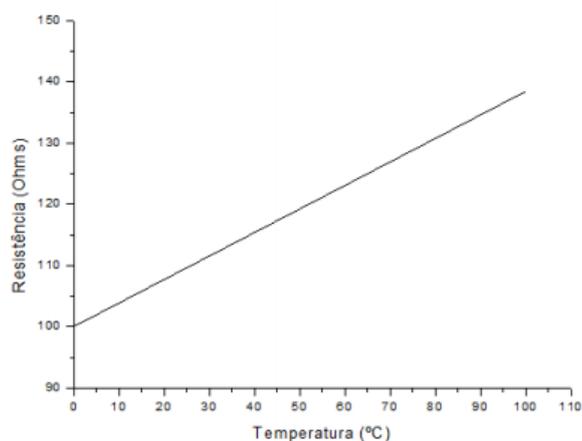


Gráfico 2 - Comportamento sensor temperatura.
Fonte: Morgado (2008, p. 12).

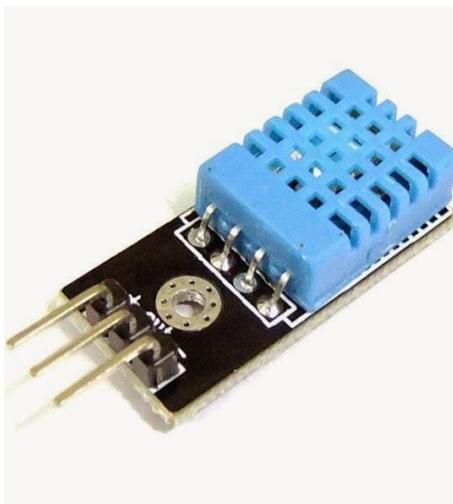


Figura 27 - Sensor de temperatura e umidade DHT11.

O sensor de temperatura e umidade foi instalado no tubo de pvc que atravessa o cilindro principal e que também serve de apoio para as mangueiras que inserem água no sistema, mostrado na FIG. 28.



Figura 28 - Detalhes da posição do sensor de temperatura e umidade.

Foi instalado ao equipamento um sistema evaporativo - desenvolvido por Oliveira 2014 - para que na etapa de germinação da semente ocorra um resfriamento com umidificação, proporcionando à semente um ambiente mais propício para que possa ser atingido um maior percentual de grãos germinados, mostrado na FIG. 29.



Figura 29 - Sistema evaporativo.

O sistema evaporativo é composto de um ventilador, duas camadas de doze placas cerâmicas cada, dispostas em canais e uma bomba d'água para recircular água pelas placas, detalhado na FIG. 30.



Figura 30 - Detalhe sistema evaporativo desenvolvido por Oliveira (2014).

3.3.2 VENTILADORES

Para forçar correntes de convecção e melhorar a troca de calor do sistema, foram utilizados ventiladores de computadores ou *coolers* reaproveitados de sucata do CEFET-MG da unidade Araxá. Eles são motores de corrente contínua que consomem aproximadamente 230mA e são alimentados com tensão 12VDC. A velocidade dos motores é controlada com transistores bipolares na configuração de chave eletrônica conforme o esquema elétrico da FIG. 31:

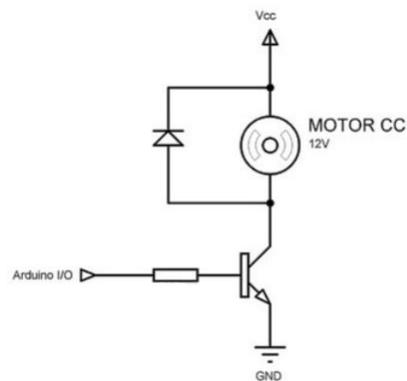


Figura 31 - Montagem do sistema de acionamento dos ventiladores.

3.3.3 MOTOR PARA IMPULSIONAR O SISTEMA ROTATIVO

O motor utilizado para impulsionar o cilindro rotativo é um motor de limpador de para-brisa automotivo mostrado na FIG. 32.

A escolha deste tipo de motor se fez por ser provido de sistema de redução embutido capaz de fornecer torque necessário. Além disso, a alimentação em tensão contínua (12VDC) permite fácil controle de velocidade.



Figura 32 - Motor de limpador de para-brisa automobilístico.

3.4 Projeto eletrônico

O projeto eletrônico foi desenvolvido para que o sistema supervisor possa atuar diretamente nos atuadores do equipamento e para que este transmita para o supervisor os sinais dos sensores.

Foram utilizados 6 (seis) relés de bobina acionada com 12 volts e corrente máxima de 15 amperes. O relé, mostrado na FIG. 33, é uma chave eletromecânica

que é acionada quando uma corrente elétrica passa por sua bobina mudando o estado de desligado para ligado (BRAGA, 2014).

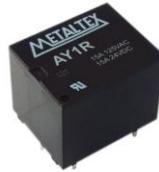


Figura 33 - Relé eletromecânico.

Para que seja acionado o relé pelo controlador é preciso construir um circuito eletrônico conforme mostrado na FIG. 34. Essa construção se faz necessária, pois o controlador não consegue fornecer a corrente necessária para que seja acionada a bobina do relé. O circuito é composto por um transistor do tipo NPN, mostrado na FIG. 35, um resistor de 1KOhms entre a base do transistor e o pino de saída do controlador e um diodo do tipo 1n4007 em paralelo com a bobina do relé para proteger o circuito da corrente que é gerada pela bobina quando essa é desligada. A tensão de 12 volts é fornecida por uma bateria.

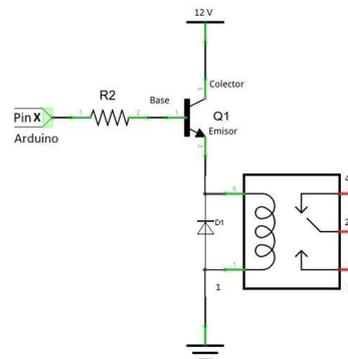


Figura 34 - Circuito de acionamento do relé.
Fonte: Instituto Newton Braga, 2014.



Figura 35 - Transistor NPN 2N3019 / Diodo 1n4007 / Resistor 1K.

Os sensores de posição (fins de curso) são similares a um botão, onde foram definidas no controlador as portas como entradas de sinal (INPUT) e o código

monitora essas entradas constantemente (a cada loop), sendo que quando a chave é acionada, envia a tensão de 5 volts (disponibilizada pelo próprio controlador) para a respectiva entrada. O circuito pode ser visualizado na FIG. 36.

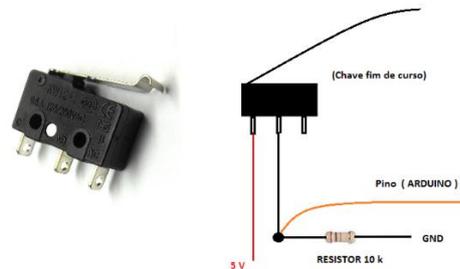


Figura 36 - Sensor de contato e circuito do sensor.

Os sensores de temperatura e umidade são alimentados com a tensão de 5 volts fornecida pelo próprio controlador, o sinal de saída é ligado a um resistor de 100kOhms em série com o VCC (Tensão em corrente contínua). O circuito pode ser visualizado na FIG. 37.

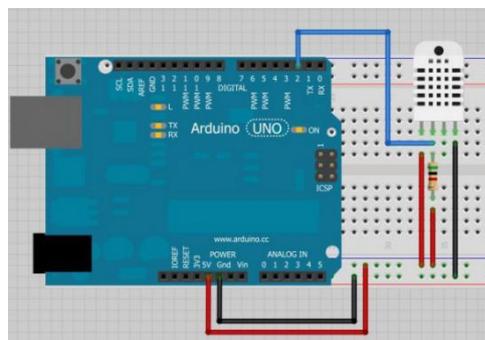


Figura 37 - Circuito DHT11.
Fonte: BLOG FILIPE FLOP, 2017.

O circuito completo, mostrado na FIG. 38, trabalha com 3 níveis de tensão diferentes, 5 volts (corrente contínua) para os sensores de posição e sensores de temperatura e umidade, 12 volts (corrente contínua) para alimentar as bobinas dos relés, as bombas d'água, o motor e os coolers e 127 volts (corrente alternada) para alimentar o sistema de resfriamento evaporativo e as lâmpadas.

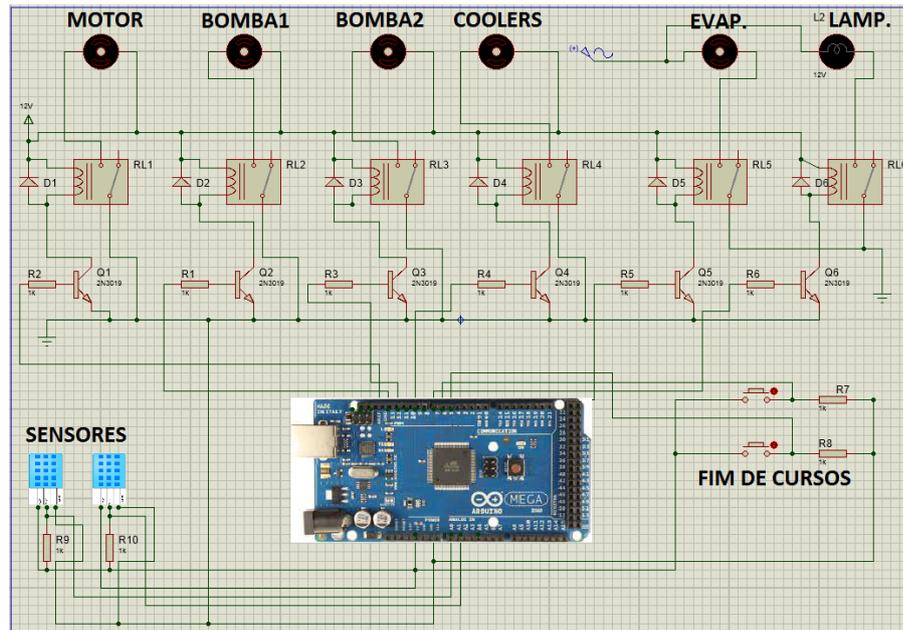


Figura 38 - circuito completo.

A montagem final, realizada em uma placa tipo *protoboard*, é mostrada na FIG. 39.

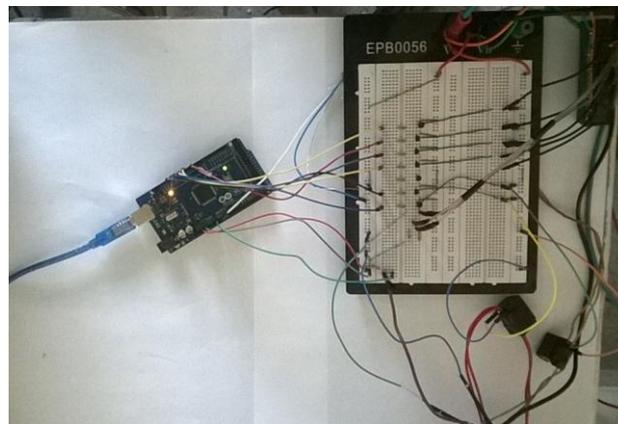


Figura 39 - Montagem Final.

3.5 Controle

O controle é feito por um notebook, onde será realizado todo tratamento computacional junto com o sistema supervisor.

Como interface de comunicação supervisor/planta, é utilizado um controlador tipo Arduino Mega, mostrado na FIG. 40, que segundo o site do fabricante, é uma plataforma Open-source de prototipagem eletrônica que permite aos utilizadores criar objetos eletrônicos interativos.

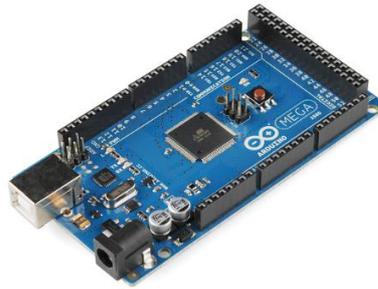


Figura 40 - Arduino mega.
Fonte: Arduino.cc, 2017.

3.5.1 SISTEMA SUPERVISÓRIO

Foi desenvolvido um sistema supervisório, ilustrado na FIG. 41, para controlar e monitorar os eventos no protótipo. O software utilizado para desenvolver o supervisório foi o Visual Studio 2015 e a linguagem de programação utilizada foi C# (c sharp). A linguagem C# foi utilizada por ser uma linguagem orientada a objeto de fácil aprendizagem e com vasto material disponível na internet.

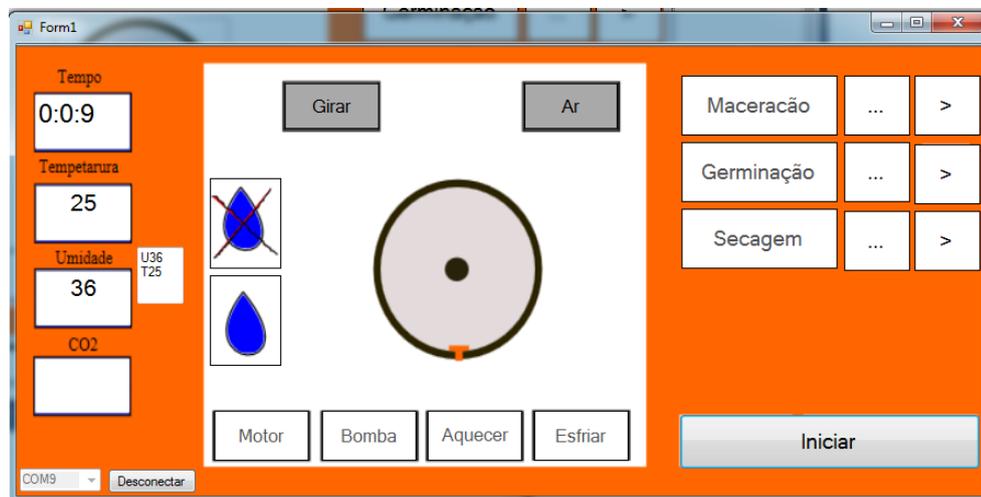


Figura 41 - Tela do sistema Supervisório.

A função do sistema supervisório é enviar e receber dados para a planta, para que facilmente possamos identificar qual etapa do processo (maceração, germinação ou secagem) está ocorrendo naquele momento e ter a possibilidade de interferir (ou modificar algum parâmetro) no sistema em tempo real. O sistema também indicará a situação de cada componente do protótipo, como a indicação de ligado/desligado do motor, bomba, sistema de aquecimento e resfriamento, além da

situação do cilindro principal, ou mesmo se os furos para o escoamento da água estão para baixo (condição de escoamento da água) ou para cima (condição para inserir água no sistema).

Para o período de maceração, pelo sistema supervisor, é possível controlar o tempo em que a semente fica submersa em água e o tempo em que fica em repouso, após retirar a água. Este processo é cíclico e pode ser alterado dez vezes entre um período e outro até que a semente chegue a absorção ideal de água. Durante a maceração, o teor de água dos cereais é aumentado de 11 a 13% para 35 a 45%, ideal para iniciar a germinação. O teor de umidade inicial é informado na embalagem da semente, onde varia de 11 a 13%. O sistema foi feito dessa maneira para que possam ser testados diferentes ciclos de maceração. No trabalho realizado por Evans et al (1997), foi utilizado o método de 8/8/8, onde a semente foi submetida a 8 horas de umedecimento submerso intercalando com 8 horas de repouso ao ar livre com mais 8 horas de umedecimento submerso. Outro trabalho publicado por Evans (1997) cita outros ciclos como 9/4/9, 4/10/4/10.

Para mensurar o teor da água absorvida pelo lote de sementes, foi feito um processo de amostragem das sementes. Foi realizado a pesagem de um determinado número de sementes no início do processo em uma balança de precisão e essa amostra foi acondicionada em uma embalagem de pano para que possa passar pelo processo de maceração junto com o lote de sementes. Ao longo do processo de maceração foram realizadas novas pesagens dessa amostra até que a amostra adquirisse determinado peso, pois sabendo o teor de água no início do processo, com uma regra de três simples é possível indicar quanto de água as sementes absorveram. A FIG. 42 mostra a tela de controle de maceração.

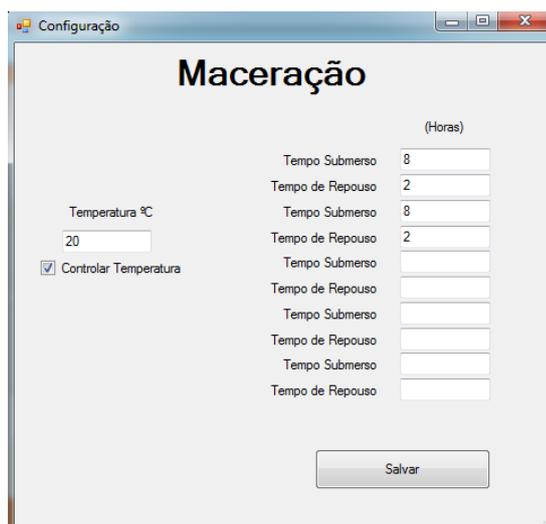


Figura 42 - Controle dos ciclos de maceração.

Quando a semente absorve a quantidade de água suficiente é iniciado o processo de germinação, que é o processo onde ocorre as principais transformações enzimáticas na semente. Zschoerper (2009) ensina que a uma temperatura mais alta, o processo de germinação (formação de raízes e enzimas) ocorre de forma mais rápida, conseqüentemente em uma temperatura menor, o tempo de germinação é maior, porém, a quantidade de enzimas disponíveis para a fermentação da cerveja será maior. A FIG. 43 mostra a tela de controle de germinação.



Figura 43 - Controle do ciclo de Germinação.

O final da germinação, a princípio, é identificado visualmente, quando as sementes começarem a soltar uma folha, indicando que o processo deve ser interrompido e iniciado o processo de secagem.

O processo de secagem, de acordo com Tschope 1999, deve ser iniciado com uma temperatura mais baixa e conforme a umidade for diminuindo a temperatura deve ser aumentada. A temperatura de secagem varia conforme o tipo de malte que se deseja produzir. Para exemplificar seguem 2 tipos de maltes diferentes, o da FIG. 44, o malte Château Vienna é seco em uma temperatura levemente mais alta que o malte Pilsen (que varia de 80° a 85°C) e pode ser utilizado em 100% da mistura, já o malte da FIG. 45, o malte Château melano, passa por um processo de secagem especial de até 130°C e é utilizado em até 20% da mistura:

Descrição	
NOME	Château Vienna
USO	Todos os estilos de cerveja, lager vienna. Para melhorar a cor e o aroma de cervejas claras
APLICAÇÃO	Até 100% da mistura EBC 5 – 7 Lovibond 2,4 – 3,2°L
MALTES EQUIVALENTES	GoldPils, Maris Otter Blend.
ATRIBUTOS	malte de base vienna belga. Levemente seco a 85-90°C com curta duração de "cura".
CARACTERÍSTICAS	Produz um sabor mais forte de malte e grãos que o malte Pilsen e adiciona aromas sutis de caramelo e toffee. O malte Château vienna é seco a temperaturas levemente mais altas que o malte Pilsen. Como resultado, o malte Château vienna proporciona uma cor dourada mais profunda à cerveja, tornando-a, ao mesmo tempo, mais encorpada e completa. Em razão da temperatura mais alta de secagem, a atividade das enzimas do malte Château vienna é ligeiramente mais baixa que a do malte Pilsen. Entretanto, as enzimas são suficientes para comportar a adição de altas quantidades de maltes de especialidade.

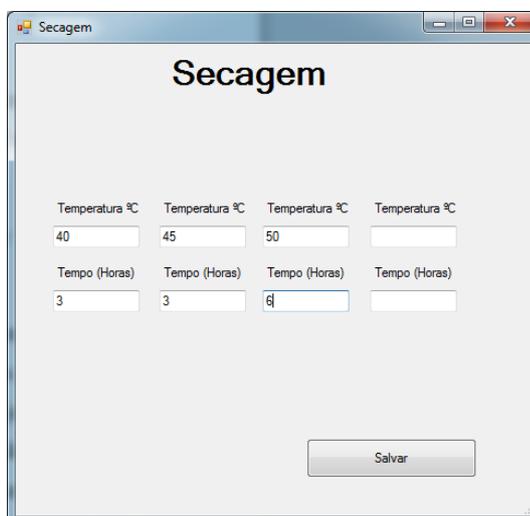
Figura 44 - Malte Château Vienna.
Fonte: WE Consultoria (2017).

Descrição	
NOME	Château melano light [Melano 40]
USO	Âmbar e cervejas escuras, tipo escocesas e cervejas de cor avermelhada como as ales escocesas, ales âmbar, ales vermelhas e ales irlandesas.
APLICAÇÃO	Até 20% da mistura EBC 37 - 43 Lovibond 14,4 - 16,7°L
ATRIBUTOS	malte Melanoindin (Melano) belga. Processo especial de germinação. Secagem especial a até 130°C. O malte melano é seco lentamente à medida que a temperatura é elevada, permitindo que as melanoidinas se formem como parte do processo de secagem.
CARACTERÍSTICAS	Muito aromático com sabor maltado intenso. Torna a cor da cerveja encorpada e uniforme, melhora a estabilidade do sabor e promove a cor avermelhada da sua cerveja. A cerveja fica mais encorpada. Essa variedade especial costuma ser descrita como "turbo Munich".

Figura 45 - Malte Château melano light.
Fonte: WE Consultoria (2017).

A seguir é apresentada uma imagem (FIG. 46) da tela de secagem, onde pode ser controlada a temperatura em até 4 ciclos diferentes para atender uma

variada possibilidade de combinações a fim de se conseguir produzir uma variada gama de maltes.



Temperatura °C	Temperatura °C	Temperatura °C	Temperatura °C
40	45	50	
Tempo (Horas)	Tempo (Horas)	Tempo (Horas)	Tempo (Horas)
3	3	6	

Salvar

Figura 46 - Controle do ciclo de Secagem.

A conexão entre os sensores da planta e o computador é feita através do controlador Arduino, modelo Arduino mega 2560.

O Arduino serve para receber os dados dos sensores e enviar comandos para os atuadores instalados na planta. Todo o processamento computacional do processo fica a cargo do computador, como a contagem do tempo, o momento em que cada ação será tomada, sendo o Arduino utilizado como uma interface desses comandos e os transmitindo para a planta e dos sensores para o computador.

A conexão do Arduino com o computador é realizada com um cabo usb e a comunicação entre a placa e o computador é feita através de uma porta serial emulada através do driver da USB.

Para iniciar a comunicação é preciso verificar quais as portas COM disponíveis no PC, para isso foi utilizado o código da FIG. 47 que verifica quais portas estão disponíveis.

```

1 using System;
2 using System.Collections.Generic;
3 using System.ComponentModel;
4 using System.Data;
5 using System.Drawing;
6 using System.Linq;
7 using System.Text;
8 using System.Threading.Tasks;
9 using System.Windows.Forms;
10 using System.IO.Ports; // necessário para ter acesso as portas
11
12 namespace interfaceArduinoVS2013
13 {
14     public partial class Form1 : Form
15     {
16         public Form1()
17         {
18             InitializeComponent();
19         }
20     }
21
22     private void atualizaListaCOMs()
23     {
24         int i;
25         bool quantDiferente; //Flag para sinalizar que a quantidade de portas mudou
26
27         i = 0;
28         quantDiferente = false;
29
30         //se a quantidade de portas mudou
31         if (comboBox1.Items.Count == SerialPort.GetPortNames().Length)
32         {
33             foreach (string s in SerialPort.GetPortNames())
34             {
35                 if (comboBox1.Items[i++].Equals(s) == false)
36                 {
37                     quantDiferente = true;
38                 }
39             }
40         }
41         else
42         {
43             quantDiferente = true;
44         }
45
46         //Se não foi detectado diferença
47         if (quantDiferente == false)
48         {
49             return; //retorna
50         }
51
52         //limpa comboBox
53         comboBox1.Items.Clear();
54
55         //adiciona todas as COM disponíveis na lista
56         foreach (string s in SerialPort.GetPortNames())
57         {
58             comboBox1.Items.Add(s);
59         }
60         //seleciona a primeira posição da lista
61         comboBox1.SelectedIndex = 0;
62     }
63 }
64 }

```

Figura 47 - Código para selecionar uma porta disponível.

O sistema supervisorio lista a porta que o Arduino está conectado e o usuário pode se conectar ou desconectar de forma simples, como mostra a FIG. 48.

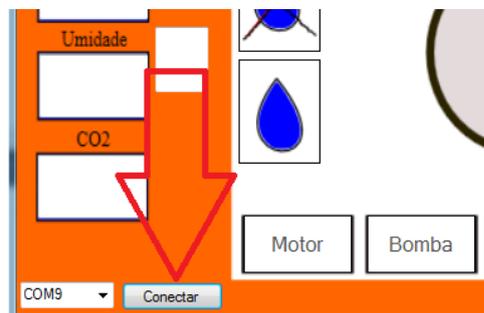


Figura 48 - Conectar/desconectar Arduino.

É necessário criar uma proteção para que não ocorra de o sistema ser fechado e deixe a porta COM aberta impedindo que outros programas possam utilizar aquela porta, essa proteção é mostrada na FIG. 49.

```

107
108     private void Form1_FormClosed(object sender, FormClosedEventArgs e)
109     {
110         if(serialPort1.IsOpen == true) // se porta aberta
111             serialPort1.Close();      //fecha a porta
112     }
113 }
114 }

```

Figura 49 - Fechar porta serial.

Depois que o Arduino está conectado ao sistema supervisorio, para enviar um comando do computador para o Arduino, basta selecionar qual textbox (caixa de texto específica na programação) está enviando, o sistema identifica o que está contido no textbox e envia para o Arduino, como a mostra a FIG. 50.

```

1 private void btEnviar_Click(object sender, EventArgs e)
2     {
3         if(serialPort1.IsOpen == true) //porta está aberta
4             serialPort1.Write(textBoxEnviar.Text); //envia o texto presente no textbox Envia
5     }

```

Figura 50 - Enviar comandos p/ Arduino.

Para receber esses dados no Arduino basta iniciar a comunicação e verificar se o byte está pronto para leitura, depois é só verificar qual caractere foi recebido, dessa forma é possível atribuir diversos comandos ao protótipo a partir de um determinado caractere, como mostra o fragmento do código na FIG. 51: Quando o Arduino recebe o caractere “D” ele aciona o rele do motor que irá energizar o motor que faz o cilindro girar, quando ele recebe o caractere “E” ele aciona os reles que ligam as bombas d’água responsáveis por encher os cilindros de água. Já quando ele recebe o caractere “G”, ele verifica se o fim de curso que determina a posição dos furos está acionado, caso esteja acionado significa que já está na posição ideal e não precisa girar, caso o fim de curso não esteja acionado o motor irá girar até que aquele seja acionado.

```

sketch_mar27a$
void setup()
{
  Serial.begin(9600); //inicia comunicação serial com 9600
}
void loop()
{
  if (Serial.available()) //se byte pronto para leitura
  {

    switch(Serial.read()) //verifica qual caracter recebido
    {
      case 'D': // Ligar Motor

        digitalWrite(releMotor, HIGH);

        break;

      case 'E': // Ligar água

        digitalWrite(releBomba, HIGH); //liga bomba 1
        digitalWrite(releBomba2, HIGH); //liga bomba 2

        break;

      case 'F': // Ligar Lâmpadas

        digitalWrite(releLampadas, HIGH); // Liga as lâmpadas

        break;

      case 'G': // Ligar motor
      if (statsfim1 == LOW){ //verifica se fim de curso está desativado
        } digitalWrite(releMotor, HIGH); //liga motor
        digitalWrite(LED,LOW); // apaga led do pino 13
    }
  }
}

```

Figura 51 - Fragmento de código de como receber um comando no Arduino.

Existem várias formas de enviar os dados lidos pelos sensores do Arduino para o computador, a forma escolhida foi a de armazenar os dados lidos em um buffer e depois enviá-los um a um, como mostrado na FIG. 52, com umidade e temperatura.

```

void loop()
{
  DHT.read11(dht_dpin); //Lê as informações do sensor
  int aux = DHT.humidity;
  char buffer[50];

  sprintf(buffer, "U%d", aux);
  Serial.println(buffer); //envia os dados de umidade para o Supervisorio

  aux = DHT.temperature;
  sprintf(buffer, "T%d", aux);
  Serial.println(buffer); //envia os dados de temperatura para o Supervisorio
}

```

Figura 52 - Enviar dados de umidade e temperatura.

Para ler esses dados no computador (pelo supervisorio) inicialmente deve-se criar um evento serialPort1_DataReceved e uma variável global do tipo String (no exemplo RxString). O processo de recepção dos dados irá ocorrer em uma Thread diferente da atualização dos componentes. A atualização do textBox

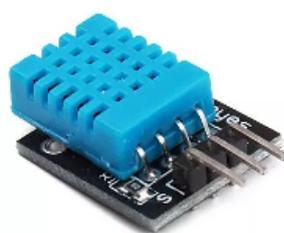
(onde será escrito os dados no supervisório) ocorre fora do evento de recepção da serial. Para isso foi feito uma função trataDadoRecebido, como mostra a FIG. 53:

```
private void serialPort1_DataReceived(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    RxString = serialPort1.ReadExisting(); //le o dado disponivel na serial
    this.Invoke(new EventHandler(trataDadoRecebido)); //chama outra thread para escrever
}

private void trataDadoRecebido(object sender, EventArgs e)
{
    textBoxReceber.AppendText(RxString);
}
}
```

Figura 53 - Receber dados supervisório.

O sensor de temperatura e umidade utilizado é o DHT11. Segundo o seu datasheet, ele é um sensor de temperatura e umidade relativa que possui internamente um microcontrolador de 8 bits para tratar o sinal; os dados de calibração (são calibrados de fábrica) estão gravados na memória OTP do módulo. Suas especificações retiradas do datasheet estão apresentadas na FIG. 54.



- Modelo: DHT11
- Tensão de alimentação: 3 a 5.5 VDC (5VDC recomendado)
- Saída do sinal: digital de 1 fio
- Tipo do sensor: Resistor polimérico
- Faixa de medição: 20-90% RH; 0-50°C
- Precisão: Umidade±4%RH (Max +5%RH); Temperatura: +2°C
- Resolução: Umidade 1%; Temperatura: 0.1°C
- Estabilidade a longo prazo: ±0.5%RH/ano
- Tempo de medição: 2s
- Dimensões: 12x15.5x5.5mm

Figura 54 - Especificações sensor DHT11.
Fonte: datasheet DHT11.

Para utilizar o sensor com o Arduino deve-se baixar sua biblioteca no link <<https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>> e coloca-la na pasta C:\Program Files (x86)\Arduino\libraries. Com a biblioteca na pasta, deve incluí-la no código, definir o pino que o sensor está conectado ao Arduino, inicia-lo e ler as informações do mesmo, como na FIG. 55:

```
sketch_mar27a $
#include <dht.h>

#define dht_dpin A1 //Pino DATA do Sensor ligado na porta Analogica A1

dht DHT; //Inicializa o sensor
void loop()
{
  DHT.read11(dht_dpin); //Lê as informações do sensor
}
```

Figura 55 - Código DHT11.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A plantação de cevada produziu 3,5kg de cevada. Como a área utilizada foi aproximadamente 25 metros quadrados, estima-se chegar a 1,4 toneladas por hectare. Considerando que a produtividade média da cevada, segundo dados da COMISSÃO DE PESQUISA DE CEVADA da UFRG (2002), é 1,5 toneladas por hectare e levando em conta que o solo não foi preparado por um especialista e o manejo foi executado sem o ferramental adequado, conforme mostra a FIG. 56, a quantidade produzida permite-nos intuir que a região de Araxá possa ser propícia à produção de cevada.



Figura 56 - Separação dos grãos.

Na FIG. 57 os cachos das plantas separados manualmente são mostrados:



Figura 57 - Cachos de cevada.

Após a separação dos cachos, estes foram colocados dentro de um saco onde passaram por um processo de “esmagamento” para que as sementes se soltassem dos cachos e o restante do material do cacho, como se apresentavam bem secos, ficassem quebrados em pedaços bem pequenos e posteriormente fossem separados das sementes.

O resultado desse processo pode ser visto na FIG. 58.



Figura 58 - Cachos esmagados.

Com o auxílio de uma peneira, foram separadas as sementes do restante do material, através de um processo de ventilação, como os resíduos são mais leves que as sementes, ao ser jogado para cima, o resíduo é levado pelo vento e as sementes permanecem na peneira. A FIG. 59 mostra as sementes após esse processo.



Figura 59 - Sementes de cevada.

As sementes de cevada colhidas foram armazenadas em uma caixa de papelão, dentro de um saco plástico. Ao iniciar os testes de germinação, as sementes apresentaram um percentual de germinação de 10%, o que é muito baixo para que se tenha um malte de qualidade, para o qual é ideal uma germinação maior que 90%.

Alguns fatores podem ser enumerados para que a semente tenha apresentado um percentual de germinação bem abaixo do esperado, dentre eles o mais provável é que armazenamento não foi feito de forma adequada, o que foi atenuado pelo longo intervalo entre a colheita e o início dos testes de germinação (cerca de 10 meses). Entre esse intervalo, ocorreu toda a temporada de chuvas, o que contribuiu para que a umidade do local escolhido para a armazenagem fosse inadequada.

Algumas sementes apresentavam mofo e a grande maioria apresentavam carunchos (insetos coleópteros). Facilmente podem ser observados buracos nas sementes provocados pelos carunchos conforme ilustrado na FIG. 60.



Figura 60 - Sementes carunchadas.

A alternativa encontrada, já que sementes de cevadas in natura não são encontradas facilmente na região, foi maltear sementes de girassol e milho.

O sistema supervisorio gera um arquivo do tipo *.txt* onde são registrados todos os valores de temperatura e umidade interna e externa, a cada 5 segundos, durante todos os processos, como mostra a FIG. 61. Os valores são registrados conforme o envio dos sensores (UE - umidade externa; UI - umidade interna; TI - temperatura interna; TE - temperatura externa) junto com a data e a hora separadas por ponto e vírgula. Pode ser observado nesse registro que alguns dados são perdidos pelo sistema (o valor após o segundo ponto e vírgula), como a UE registrada às 23:58:28h e a TE registrada às 23:59:13h ambas do sábado (FIG. 61). Esses dados perdidos não interferiram na análise dos resultados.

```

sabdomingo - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
UE;;sábado, 10 de junho de 2017 23:58:28;
TE;;sábado, 10 de junho de 2017 23:58:33;22
UI;;sábado, 10 de junho de 2017 23:58:39;39
TI;;sábado, 10 de junho de 2017 23:58:44;18
UE;;sábado, 10 de junho de 2017 23:58:49;44
TE;;sábado, 10 de junho de 2017 23:58:54;22
UI;;sábado, 10 de junho de 2017 23:58:59;38
TI;;sábado, 10 de junho de 2017 23:59:04;19
UE;;sábado, 10 de junho de 2017 23:59:08;44
TE;;sábado, 10 de junho de 2017 23:59:13;
UI;;sábado, 10 de junho de 2017 23:59:19;39
TI;;sábado, 10 de junho de 2017 23:59:24;18
UE;;sábado, 10 de junho de 2017 23:59:29;44
TE;;sábado, 10 de junho de 2017 23:59:34;22
UI;;sábado, 10 de junho de 2017 23:59:39;38
TI;;sábado, 10 de junho de 2017 23:59:44;19
UE;;sábado, 10 de junho de 2017 23:59:49;44
TE;;sábado, 10 de junho de 2017 23:59:54;22
UI;;sábado, 10 de junho de 2017 23:59:59;38
TI;;domingo, 11 de junho de 2017 00:00:04;19
UE;;domingo, 11 de junho de 2017 00:00:09;44
TE;;domingo, 11 de junho de 2017 00:00:14;22
UI;;domingo, 11 de junho de 2017 00:00:19;38
TI;;domingo, 11 de junho de 2017 00:00:24;19
UE;;domingo, 11 de junho de 2017 00:00:29;44
TE;;domingo, 11 de junho de 2017 00:00:34;22
UI;;domingo, 11 de junho de 2017 00:00:39;39
TI;;domingo, 11 de junho de 2017 00:00:44;18
UE;;domingo, 11 de junho de 2017 00:00:49;44
TE;;domingo, 11 de junho de 2017 00:00:54;22
UI;;domingo, 11 de junho de 2017 00:00:59;3
TI;;domingo, 11 de junho de 2017 00:01:04;19
UE;;domingo, 11 de junho de 2017 00:01:09;44
TE;;domingo, 11 de junho de 2017 00:01:14;22
UI;;domingo, 11 de junho de 2017 00:01:19;38
TI;;domingo, 11 de junho de 2017 00:01:24;18

```

Figura 61 - Registro do sistema supervisorio.

Os sensores de temperatura funcionaram bem, mas os sensores de umidade não forneceram informações confiáveis. Para poder ajustar os resultados gerados foi utilizado outro sensor (termo-higrômetro), mostrado na FIG. 62, com dois canais, de umidade e temperatura. Foram anotados os valores de temperatura e umidade interna e externa assim como o horário, a cada meia hora, para fazer as correções.



Figura 62 - Sensor utilizado para aferir os registros (termo-higrômetro).

Os primeiros testes foram realizados com sementes de girassol e de milho. A maceração começou com a temperatura de 21°C às 12h do sábado dia

10/06/2017. O equipamento foi ajustado para que as sementes ficassem 3 horas submersas na água intercalando 1 hora sem água; a temperatura foi ajustada para 20°C (não significa que o sistema permanece nessa temperatura), com essa condição, o resfriamento evaporativo funciona enquanto a temperatura do sistema for maior que 20°C, indicados nas FIG. 63 e 64.

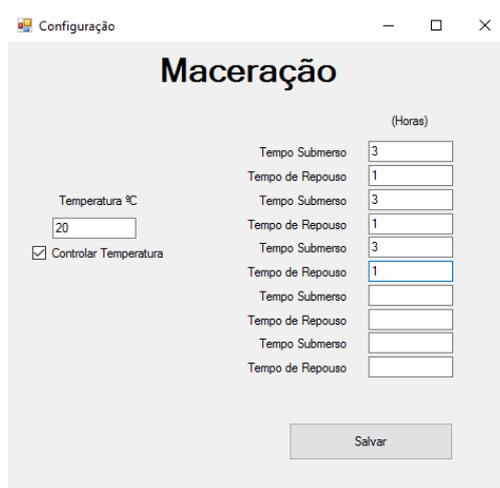


Figura 63 - Configuração Maceração.



Figura 64 - Sementes de milho durante a maceração.

O peso das sementes foi monitorado para saber o teor de água absorvido pelas sementes. Foram separadas 100 sementes de girassol e 100 sementes de milho e pesadas a cada ciclo de submersão, ao final do ciclo (12 horas de maceração), o percentual de água nas sementes de girassol era de 55,5% e de 35,9% nas sementes de milho. Para saber o teor de água absorvida pela semente, utiliza-se o percentual em que a semente é comercializada (estima-se 11%) e é verificado quantas gramas de água as 100 sementes contêm (0,55 gramas de água para as de girassol e 3,96 gramas para as de milho), como as 100 sementes, depois da maceração, apresentaram um acréscimo de 5 gramas (girassol) e de 14 gramas (milho), conclui-se que a massa de água ao final é de 5,55 gramas (girassol) e de

17,96 gramas (milho), o que representa 55,5% da massa total para as sementes de girassol e de 35,9% para as sementes de milho, como mostra as FIG. 65 e 66, o suficiente para passar para a próxima etapa, a germinação.



Figura 65 - Pesagem semente de girassol.



Figura 66 - Pesagem semente de milho.

Os dados de temperatura e umidade (já ajustados), interna e externa, durante a maceração, podem ser visualizados na FIG. 67. A figura é mostrada no trabalho para enfatizar que os dados foram coletados de forma simultânea. As curvas do processo durante a maceração podem ser visualizadas nos GRAF. 3 e 4. Os dados de temperatura são os que foram exportados pelo supervisor, sem correção, devido à aproximação com os dados observados no termo-higrômetro para aferição; já os dados de umidade precisaram ser corrigidos, principalmente a umidade interna que apresentou uma grande diferença para os dados visualizados no termo higrômetro.

Maceração				
Hora	T.ext (°C)	T.int (°C)	U.ext (%)	U.int (%)
12:00	25	21	43	68
12:30	25	21	43	68
13:00	25	21	42	68
13:30	25	21	41	62
14:00	26	22	42	68
14:30	26	22	42	68
15:00	25	22	43	65
15:30	25	22	43	63
16:00	25	22	44	63
16:30	25	22	40	58
17:00	24	21	40	51
17:30	24	22	38	53
18:00	24	22	33	48
18:30	24	21	36	51
19:00	24	21	38	53
19:30	24	21	40	58
20:00	24	21	38	58
20:30	23	21	44	58
21:00	23	20	42	53
21:30	23	20	44	52
22:00	23	19	44	68
22:30	23	20	43	54
23:00	22	20	43	51
23:30	22	20	43	56
00:00	22	20	44	52

Figura 67 - Dados coletados durante a maceração.

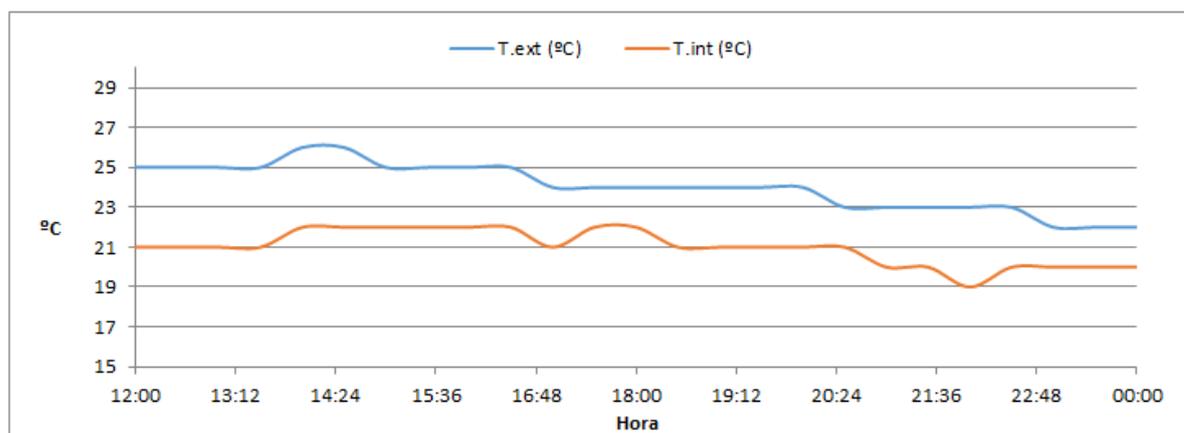


Gráfico 3 - Curvas temperaturas maceração.

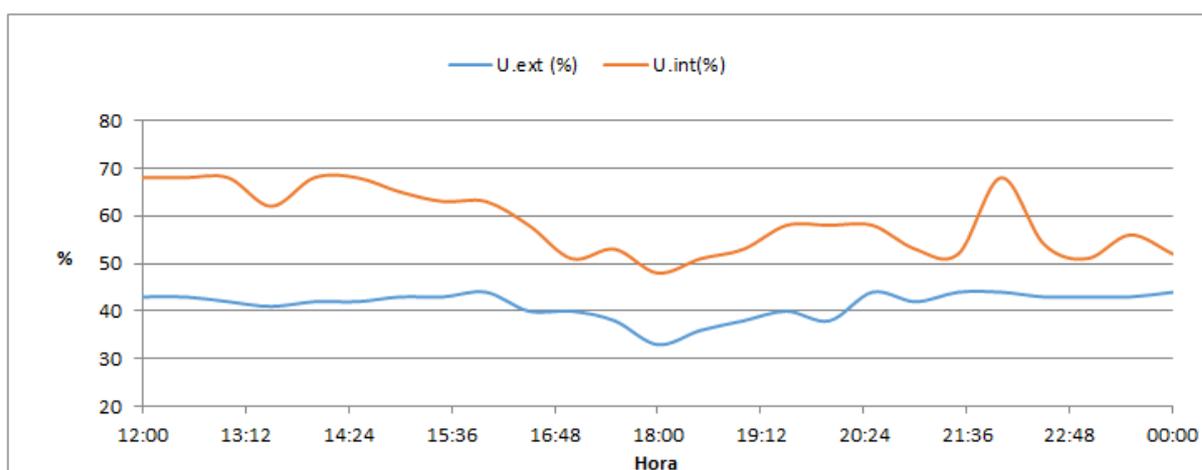


Gráfico 4: Curvas umidades maceração

A germinação foi programada, como mostra a FIG. 68, para que acontecesse a uma temperatura de 15°C. Com essa condição, o resfriamento

evaporativo funciona enquanto a temperatura do sistema for maior que 15°C (não significa que o sistema irá permanecer nessa temperatura). Foi programado também para que o cilindro principal gire a cada 17 minutos durante 84 horas (tempo arbitrado para a germinação). Ao longo desse período as sementes foram monitoradas visualmente para que se pudesse observar as radículas das sementes crescendo, até que pudesse ser iniciado a próxima etapa.

É importante ressaltar que o momento ideal para o início da secagem varia de semente para semente e o que está sendo testado não é a qualidade do malte nem o tempo ideal para cada fase do processo, mas sim a capacidade do equipamento de macerar, germinar e secar as sementes, e, a partir daí, outros estudos possam ser executados a fim de aplicar exatamente os parâmetros específicos de certos tipos de malte.



Figura 68 - Configuração da Germinação.

Durante os testes, as sementes apresentaram aproximadamente 85% de germinação para as sementes de girassol e aproximadamente 78% para as sementes de milho, como mostram as FIG. 69 e 70, o que pode ser considerado como um bom resultado já que foram compradas sementes à granel em uma casa agropecuária. Essas sementes não passaram por nenhum teste de germinação específico que atestem sua capacidade de estarem aptas ou não ao processo de malteação, como ocorre na indústria de malte.



Figura 69 - Sementes germinando.



Figura 70 - Detalhe sementes de girassol germinando.

A temperatura e a umidade durante o processo de germinação também foram monitoradas. A temperatura ajustada para o equipamento foi de 15°C, porém como a fonte de resfriamento foi um sistema evaporativo (que depende da condição do ambiente externo), já era esperado que a temperatura não ficasse constante e que variasse conforme variações da temperatura e umidade externa (GRAF. 5 e 6).

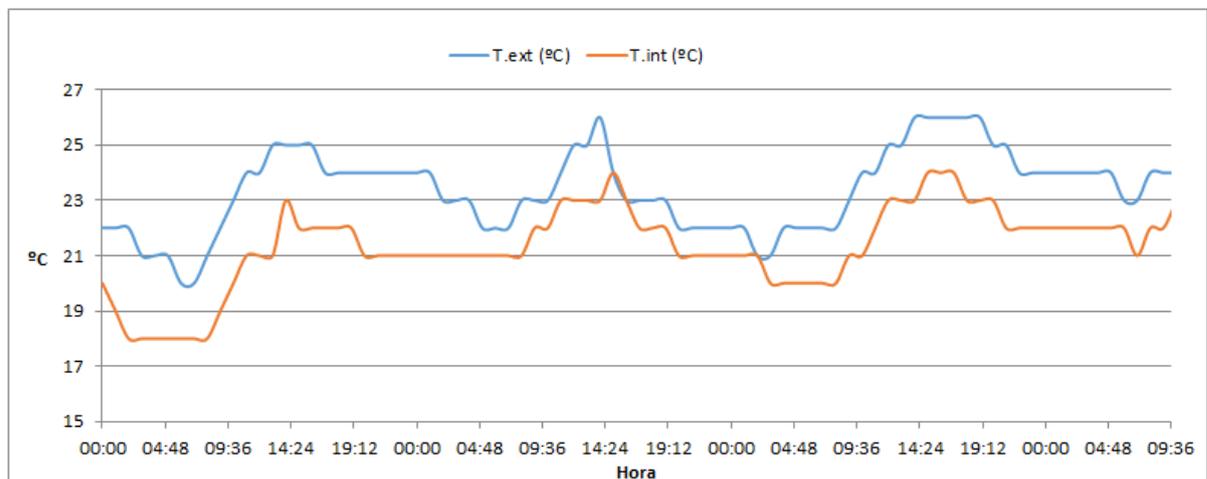


Gráfico 5 - Curvas temperatura germinação.

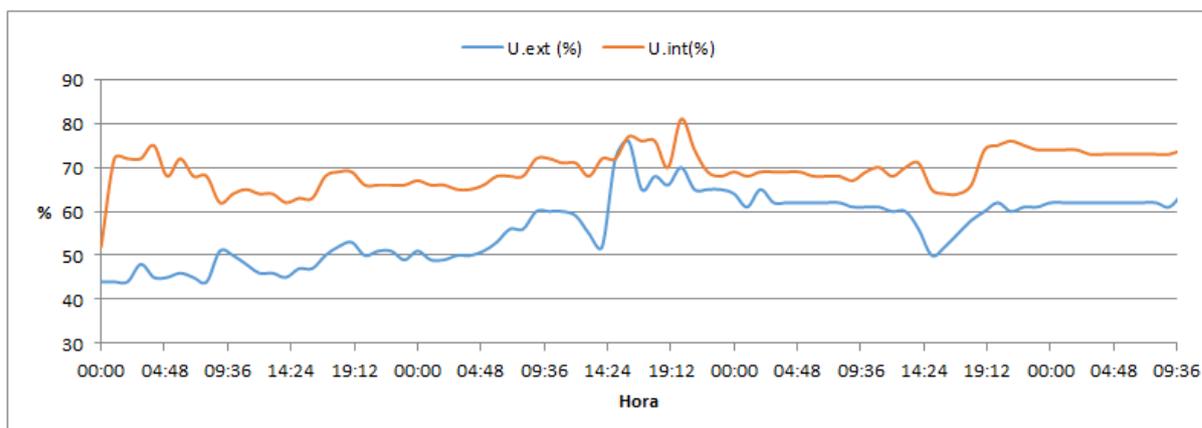


Gráfico 6 - Curvas umidades germinação.

Em um determinado momento, a temperatura interna se igualou à temperatura externa (conforme pode ser observado no GRAF. 6 às 14h30min): esse fato isolado ocorreu porque a temperatura externa caiu de maneira bem rápida e a umidade externa aumentou significativamente devido a uma forte chuva, porém, esse fato não influenciou no processo de germinação das sementes.

Seria possível manter a temperatura constante em 24°C durante todo o processo de germinação conforme os dados coletados. Essa temperatura foi a maior temperatura interna registrada, sendo considerada o gargalo do processo, pois o processo de resfriamento é dependente das condições externas e o processo de aquecimento não. Considerando que o processo de aquecimento é mais controlável que o de resfriamento para o equipamento desenvolvido, o processo de germinação deve ser referenciado pelas condições possíveis de resfriamento (caso se queira uma germinação à temperatura constante).

A secagem começou com a temperatura de 40°C por 3 horas. Após esse tempo a temperatura foi aumentada para 50°C permanecendo nesse valor por mais 4 horas seguindo de mais um aumento para 60°C por mais 3 horas e diminuindo para 40°C nas 2 horas finais (40/50/60/40°C). A configuração no supervisório é indicada na FIG. 71.

Secagem

Temperatura °C	Temperatura °C	Temperatura °C	Temperatura °C
<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="60"/>	<input type="text" value="40"/>
Tempo (Horas)	Tempo (Horas)	Tempo (Horas)	Tempo (Horas)
<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="2"/>

Figura 71 - Configuração Secagem.

Para que durante a secagem o sistema não absorvesse umidade do sistema evaporativo, a saída de ar conectada ao sistema evaporativo foi tampada, conforme mostra a FIG. 72.



Figura 72 - Saída do sistema evaporativo.

Durante todo o processo de secagem, os ventiladores instalados dentro da caixa permaneceram ligados para que o ar quente pudesse passar pelas sementes e fosse retirado o máximo de umidade destas. O sensor para aferir a temperatura e umidade foi instalado na saída de ar da caixa, como mostrado na FIG. 73.



Figura 73 - Saída de ar e detalhe do sensor de temp. e umidade.

As temperaturas e umidades, internas e externas, coletadas durante a secagem são apresentadas na FIG. 74. Os valores são apresentados no trabalho para enfatizar que foram coletados de forma simultânea.

Secagem				
Hora	T.ext (°C)	T.int (°C)	U.ext (%)	U.int (%)
11:30	25	43	61	21
12:00	25	41	61	28
12:30	25	44	60	24
13:00	25	41	59	28
13:30	25	41	58	21
14:00	25	42	65	34
14:30	25	47	66	22
15:00	25	52	66	17
15:30	25	50	62	14
16:00	25	50	58	19
16:30	25	49	61	17
17:00	25	50	61	21
17:30	25	49	61	17
18:00	25	51	60	20
18:30	24	59	60	18
19:00	24	60	65	17
19:30	24	60	65	14
20:00	23	57	67	10
20:30	23	59	67	10
21:00	23	51	61	19
21:30	23	40	64	25
22:00	23	41	66	23
22:30	23	39	66	23
23:00	23	42	61	25

Figura 74 - Dados coletados na secagem.

As curvas de temperatura e umidade durante o processo de secagem são apresentadas nos GRAF. 7 e 8.

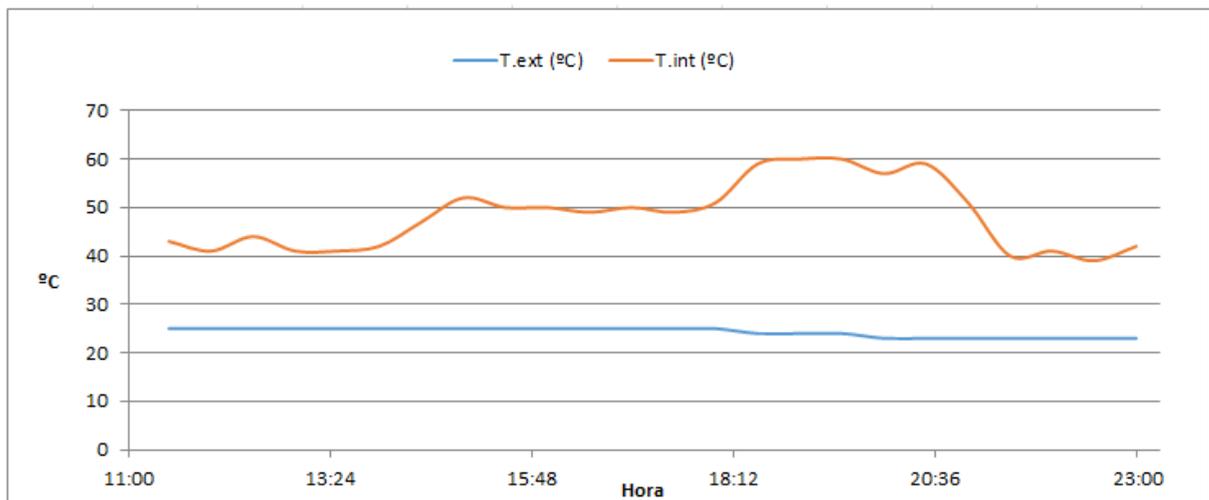


Gráfico 7 - Curvas de temperaturas secagem.

Como a secagem não depende das condições externas (devido às fronteiras do sistema) foi possível, com controle tipo on-off, ligando e desligando as lâmpadas, manter uma temperatura mais uniforme conforme a configuração no

supervisório. Como se trata de controle de temperatura, atrasos de respostas devem ser considerados, devida à inércia natural dos sistemas de fornecimento de calor.

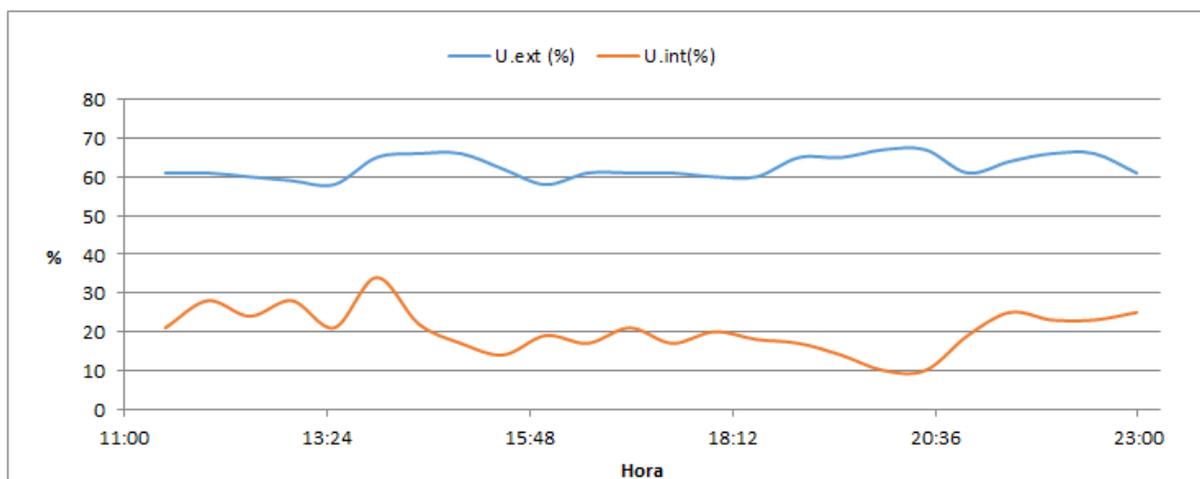


Gráfico 8 - Curvas de Umidades secagem.

Após a secagem com as temperaturas 40/50/60/40°C, as sementes de milho e de girassol apresentaram percentuais de umidade bem distintos, enquanto as sementes de girassol apresentaram percentual de umidade menor que 11%, as sementes de milho ainda apresentavam percentual de umidade de aproximadamente 19,9%. A FIG. 75 mostra a pesagem das sementes de girassol e milho após a secagem.



Figura 75 - Sementes após a secagem.

Foram testadas duas formas diferentes de secagem, uma com temperaturas variando entre 40/50/60/40°C e outra com 60°C constante durante 12 horas, o que pôde ser observado para a semente de girassol foi uma coloração diferente ao final de cada processo, uma cor mais amarelada para a secagem com temperatura constante e uma cor mais clara para a secagem com temperatura

variando, diferença essa apresentada na FIG. 76. Além disso, as sementes que secaram com a temperatura constante perderam todas as suas radículas ao final do processo, pois foram sendo arrancadas com o girar do cilindro. Por outro lado, as sementes que secaram com temperatura variando ainda apresentaram algumas radículas ao final do processo.



Figura 76 - Diferença da coloração dos maltes.

Para as sementes de milho, a diferença observada foi que as sementes ao final do processo de secagem com a temperatura variando ainda apresentavam algumas radículas como mostra a FIG. 77.



Figura 77 - Diferença do malte de milho.

De forma geral, a análise dos resultados mostrou coerência entre as proposições do sistema de controle e os testes efetuados. Mesmo que o autor desconheça a cinética dos processos envolvidos (maceração, germinação e secagem) de forma a estabelecer parâmetros, o protótipo se mostra apto a adaptar-se às diversas solicitações que podem vir a serem necessárias.

5 CONCLUSÕES

A cevada é um cereal cultivado no inverno, predominantemente no sul do país, com clima mais ameno e inverno mais rigoroso. Numa primeira análise, essa cultura apresentou-se compatível com o microclima da região de Araxá. Apesar da pouca experiência com o cultivo desse cereal, as plantas geradas tiveram um aspecto atrativo, as sementes se apresentaram bem granadas e a produtividade satisfatória. No entanto, o armazenamento das sementes em condições precárias gerou problemas e fez com que todo o lote de sementes colhidas fosse perdido sem que pudessem passar pelo processo de malteação.

O protótipo e seus sistemas (mecânica, eletrônica e controle) apresentaram resultados satisfatórios para as sementes de girassol e milho: o sistema supervisorio modelado especificamente para esse fim facilita em diversos aspectos a operação da planta, adicionando ainda a grande vantagem da possibilidade de intervenções no processo, além de que torna possível monitorar o que está acontecendo em tempo real. O supervisorio desenvolvido, numa interface bastante amigável, atendeu às expectativas de controle, atendeu a alternância entre os processos de forma automática e com exatidão no registro dos dados e dos tempos. Além disso, os comandos do sistema supervisorio são prioritários às atuações do controlador, alterando o sistema com apenas um clique, sem ter que alterar nenhuma linha de código do controlador. Ou seja, ele atendeu o que se espera de um supervisorio, que é sobrepor outros sistemas de controle.

O circuito elétrico funcionou corretamente, nenhum problema foi observado durante todos os dias de testes; a forma de acionamento dos atuadores (motor, bombas, lâmpadas etc.) se mostrou eficaz, e a montagem do circuito eletrônico, apesar de ter sido feita em uma placa do tipo *proto-board*, manteve o sistema funcionando e nenhum contato eletroeletrônico se desfez durante todo o processo.

A construção da planta, no início, não tinha a parte de resfriamento evaporativo nem a saída de ar, pois a ideia inicial seria o uso de nitrogênio líquido para resfriamentos. Aparentava ser uma falha grave no projeto, já que as primeiras sementes germinadas apresentaram cheiro muito forte e as primeiras secagens pareciam processos de “cozimento” das sementes, já que o vapor d’água quente

presente dentro da caixa era bem elevado. Isso fez com que a segunda secagem fosse realizada com a tampa da caixa semiaberta, para que o ar úmido pudesse sair.

Após serem instaladas a entrada que vinha do sistema de resfriamento evaporativo e a saída de ar, com o ar circulando, as sementes germinaram sem o odor antes exalado e a parte da secagem mostrou-se bem mais eficiente com sementes secas após 12 horas de secagem. Posto isto, permite-nos concluir que o processo de malteação deve ser realizado com o ar circulando, principalmente na etapa de germinação. Especificamente sobre o processo de malteação, o equipamento se mostrou capaz de executar todas as etapas. Cabe ainda observar que a utilização de um sistema em pesquisa e desenvolvimento nessa unidade de ensino -o sistema evaporativo- dentro de outro trabalho abre perspectivas para novos campos de aplicações e P&D.

A maceração, nos tempos programados, ocorreu de forma eficaz: as sementes absorveram o percentual de água adequado para que pudessem iniciar a germinação, sendo que o tempo de maceração varia conforme o tipo de cereal. O equipamento mostrou-se capaz de atender a solicitações, apenas ajustando os tempos.

Sob o aspecto visual, a germinação também ocorreu de forma eficaz; mesmo considerando que não foi possível determinar os níveis de amido e enzimas ao final do processo. Contudo esse não era o objetivo da pesquisa, a qual tinha o escopo de apenas germinar a semente, que é uma etapa da malteação. Como a temperatura de germinação é fator que influencia diretamente nos níveis de amido e que a literatura informa que a uma temperatura mais alta o processo de germinação ocorre de forma mais rápida e que com uma temperatura mais baixa a germinação ocorre de forma mais lenta, porém com um nível de amido maior, optou-se por fazer a germinação com a temperatura mais baixa possível, variando conforme o que se pode chegar com resfriamento evaporativo. Dessa forma poderia determinar quais as temperaturas que o equipamento poderia oferecer, caso fosse necessário uma temperatura constante.

A secagem ocorreu de forma também eficaz, também sob o aspecto visual, pelos mesmos motivos da germinação, com a diferença de que a temperatura na secagem varia, não para as transformações de amido, mas para fornecer diferentes aspectos à cerveja, como aroma e sabor.

Foram adquiridos maltes de cevada comerciais durante o período do trabalho para fins de comparação com a cevada malteada no protótipo. Face ao problema apresentado no armazenamento (sem cevada in natura para maltear) e a existência da matéria prima principal (cevada malteada), resolveu-se produzir, no espaço do protótipo instalado, três tipos de cervejas artesanais: Cerveja Tipo Pale Ale, American Pale Ale e Cerveja tipo Kölsch.

Por fim e talvez um aspecto dos mais importantes a ser considerado é a experiência do autor face ao método científico. Envolvido com projetos, cultivo, montagens, fabricações, ajustes, programações e ensaios me encontrei por diversos momentos incapacitado de registrar toda a experiência vivenciada em mais de um ano de trabalho. Se isso por um lado acende um alerta para minha atuação, por outro me faz refletir sobre formas de seguir a metodologia científica em pesquisas sem limitar a criatividade, determinação e empolgação.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se automatizar plantas pilotos de fabricação de cervejas artesanais. Saúde!

REFERÊNCIAS

- ARDUINO. *Aprendizagem*. 2016. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> >. Acesso em: 26 out. 2016.
- BAMFORTH, C. W. Malting Technology and the uses of Malt in Macgregor, A. W (ORG). BARLEY CHEMISTRY AND TECHNOLOGY. MINNESOTA, USA: AMERICAN ASSOCIATION OS CEREAL CHEMISTS, INC. 1993. 486 p.
- BLOG FILIPE FLOP. Disponível em: <<http://blog.filipeflop.com/sensores/monitorando-temperatura-e-umidade-com-o-sensor-dht11.html>>. Acesso em: 28 jun. 2017.
- CERV BRASIL. Disponível em: <<http://cervbrasil.org.br/paginas/index.php?page=mercado-ERVEJEIRO>>. Acesso em: 13 fev. 2017.
- COMISSÃO DE PESQUISA DE CEVADA. *Indicações técnicas para a produção de cevada cervejeira: safras 2001 e 2002*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 80 p.
- DRAGONE, G.; SILVA, J. B. A. Cerveja, in: VENTURINI FILHO, W. G. *Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Blucher, 2010.
- FUENTES, R. C. *Apostila de Automação Industrial*. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/fuentes/index_arquivos/CA01.pdf >. Acesso em: 26 out. 2016.
- GROOVER, Mikell. *Automação Industrial e sistemas de manufatura*. Tradução: Jorge Ritter, Luciana do Amaral Teixeira, Marcos Vieira; Revisão Técnica: José Hamilton Chaves Gorgulho Júnior. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 582 p.
- Indicações técnicas para a produção de cevada cervejeira nas safras 2013 e 2014; editado por Euclides Mine-la. - Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2013. 105 p.; 14,8 x 21 cm. (Sistemas de produção / Embrapa Trigo, ISSN 1806-664X; 7).
- INSTITUTO NEWTON C BRAGA. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/597-como-funcionamos-reles?showall=1&limitstart=>>>. Acesso em: 21 jun. 2017.
- LIMA, L. L. A.; FILHO, A. B. M. *Técnico em alimentos: tecnologia de bebidas*. 2011.
- OLIVEIRA, A. *Fundamentos de Termodinâmica*. Apostila para o curso de Máquinas Térmicas Técnico Mecânica. Araxá, 07 fev. 2014. 67 p.
- PORTO, P. D. *Tecnologia de fabricação de malte - uma revisão*. 2011. Dissertação 58f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/56455?locale=en>. Acesso em: 26 ago. 2016.
- SEBRAE. *Inteligência Setorial*. Rio De Janeiro, 2014. Disponível em: <<https://www.sebraeinteligenciasetorial.com.br/produtos/relatorios-de-inteligencia/cevajas-artesanais/55c4ad3614d0c01d007ffae>>. Acesso em: 26 out. 2016.
- TSCHOPE, E.C.; NOHEL, F. *A malteação da cevada*. Vassouras: Senai-RJ, 1999. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/afeira/materias-primas/cereais/cevada/cevada-ERVEJEIRA/producao-produtividade>>. Acesso em: 22 jun. 2017.
- VAN WYLEN, Gordon John e SONNTAG, Richard E. *Fundamentos da Termodinâmica clássica*. Tradução: Yamane e outros. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1976. 565 p.

WE CONSULTORIA. Disponível em: <<http://loja.weconsultoria.com.br/maltes-s10038/>>. Acesso em: 13 mar. 2017.

ZSCHOERPER, O. P. Apostila curso Cervejeiro e Malteador - AMBEV. Porto Alegre: 2009.