

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA AGRÍCOLA



DISCIPLINA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO II
Linha de pesquisa: Pós-Colheita de Grãos e Sementes

**DINÂMICA DA SECAGEM DO MILHO EM
SILO SECADOR AUTOMATIZADO**

JULIANO ALUÍSIO CARBONERA

ERECHIM

2015

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA AGRÍCOLA



DINÂMICA DA SECAGEM DO MILHO EM
SILO SECADOR AUTOMATIZADO

JULIANO ALUÍSIO CARBONERA

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Departamento de Ciências Agrárias na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim, como Registro para Aprovação na Disciplina de Trabalho de Graduação II.

ERECHIM
2015

DINÂMICA DA SECAGEM DO MILHO EM
SILO SECADOR AUTOMATIZADO

Orientador: Prof. Msc. Jeferson Cunha da Rocha

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Msc. Sergio Henrique Mosele
Engenheiro Agrônomo
URI - Erechim

Prof. Dr. Paulo Sergio Gomes da Rocha
Engenheiro Agrônomo
URI - Erechim

Prof. Msc. Jeferson Cunha da Rocha
Engenheiro Agrícola
Coordenador da Disciplina de TG II

RESUMO

O sistema de secagem e armazenagem na fazenda constitui prática de significativa importância, tanto para complemento da estrutura armazenadora urbana, como para minimizar as perdas quantitativas e qualitativas dos produtos colhidos. Entretanto, a agricultura familiar é uma parte da cadeia agroindustrial de grãos que pouco se utiliza da secagem e do armazenamento na propriedade, devido a dedicação para conduzir as operações e processos e os conhecimentos técnicos necessário a segurança alimentar do produto. A automação é a solução mais indicada para resolver este inconveniente, pois consiste de um sistema ou conjunto de equipamentos eletrônicos e/ou mecânicos que controlam seu próprio funcionamento, quase sem a intervenção do homem. A automação possibilita fazer um trabalho por meio de máquinas controladas automaticamente, capazes de coletar informações, testar condições e conduzir os processos de forma autônoma. Neste contexto o objetivo deste trabalho foi o de analisar a dinâmica da secagem estacionária do milho, com ar ambiente em silo-secador, utilizando um sistema de microcontrolador para o controle do processo. Para este estudo foram utilizados dois protótipos de silos-secadores, utilizando ar ambiente para secagem do milho, um em sistema de operação manual e outro em sistema de operação automatizado, no controle do processo de secagem. O sistema de operação manual foi conduzido simultaneamente e de forma ininterrupta junto ao sistema de controle automatizado, elaborado na plataforma Arduino UNO R3, o qual decidia sobre o acionamento ou a interrupção do ventilador conforme a condição de equilíbrio higroscópico do ar em relação a umidade de secagem nos grãos. Os resultados obtidos evidenciaram que o sistema automatizado reduz consideravelmente o tempo de secagem, em aproximadamente 52,74 %, e mantém elevada e com melhor estabilidade a taxa de secagem do produto em relação a taxa de secagem no sistema de controle manual. Foi possível concluir com este estudo que o sistema automatizado de controle do processo de secagem, utilizando um microcontrolador Arduino UNO R3, é aplicável a secagem estacionária do milho utilizando ar em condição ambiente.

PALAVRAS CHAVE: Automação. Arduino. Estacionária.

ABSTRACT

The drying system and storage on the farm is a practice of significant importance, as to complement the urban store structure as to minimize the quantitative and qualitative losses of gathered products. However, family farming is a part of the agroindustrial chain that little grain is used drying and storage on the property due to dedication to conduct operations and processes and the expertise necessary to food safety standards. Automation is the most ultimate solution to solve this inconvenient, because consists of a system or set of electronics and / or mechanics equipments that control its own operation, almost without human intervention. Automation makes it possible to work through automatically controlled machines, able to gather information, test conditions and carry out the procedures autonomously. In this context the goal this study was to analyze the dynamics of stationary drying of corn, with ambient air in silo-dryer, using a microcontroller system for process control. For this study they were used two-bin prototypes dryers using ambient air for drying the corn, one in manual operation system and another in automated transaction system to control the drying process. The manual operating system was conducted simultaneously and continuously with the automated control system, which decide on the drive or interruption of the fan according to the condition of balance hygroscopic of the air in relation humidity of grains. The results obtained showed that the automated system reduces considerably the drying time, about 52.74%, and keeps high and with better stability product drying if compared to the rate of drying manual control system. It was possible concluded with this study that the automated control of the drying process using a microcontroller Arduino UNO R3, is applicable to stationary drying corn using air at ambient condition.

KEY WORDS: Automation. Arduino. Stationary.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Silo para secagem com ar natural ou com baixa temperatura, mostrando a frente de secagem (FS).....	11
Figura 2 - Exemplos de psicrômetro	15
Figura 3 – Atividade de água em função do teor de água nos grãos (%b.s)	17
Figura 4 - Velocidade relativa das reações.....	17
Figura 5 - Representação da movimentação da água durante a secagem.....	18
Figura 6 - Arduino UNO R3.....	20
Figura 7 -Sensor DHT 22.....	21
Figura 8 - Layout do protótipo de silo-secador.....	22
Figura 9 - Protótipos dos silos-secadores.....	23
Figura 10 - Quadro de sistema de automação (1) e de controle do sistema manual (2), e o Sensor de temperatura e de umidade relativa do ar atmosférico (DHT 22)	24
Figura 11 - Material de coleta das amostras (1) Trado, (2) Bandejas, (3) Silo-Secador.....	25
Figura 12 - Curvas de secagem do milho, em silo-secador utilizando ar ambiente, operando com um sistema de controle de processo automatizado e outro manual .	26
Figura 13 - Taxas de secagem do milho, em silo-secador utilizando ar ambiente, operando com um sistema de controle de processo automatizado e outro manual .	27
Figura 14 - Comportamento das condições do ar ambiente utilizado na secagem estacionária do milho utilizando dois sistemas de controle do processo de secagem.....	29
Figura 15 - Equilíbrio higroscópico dos grãos em função das condições do ar ambiente, durante o processo de secagem, no período de 14 de abril a 06 de maio de 2015.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Equilíbrio higroscópico em base úmida de alguns grãos, a uma dada umidade relativa (%) e temperatura do ar (°C)	16
Tabela 2. Caracterização da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente durante o processo de secagem, para os dois sistemas de controle, no período de 14 de abril a 06 de maio de 2015	28
Tabela 3. Caracterização do equilíbrio higroscópico dos grão em função do ar ambiente durante o processo de secagem para os dois sistemas de controle, no período de 14 de abril a 06 de maio de 2015	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVOS	9
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1 SILO-SECADOR	10
2.2 SECAGEM	12
2.2.1 Psicrometria.....	14
2.2.2 Equilíbrio Higroscópico	15
2.3 AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS.....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 MATÉRIA PRIMA	22
3.2 BANCADA DE SECAGEM	22
3.3 SISTEMA DE AUTOMAÇÃO.....	23
3.4 MANEJO DA SECAGEM.....	24
3.5 COLETA DE AMOSTRAS	24
3.6 ANÁLISE DAS AMOSTRAS.....	25
3.7 ANÁLISE DOS DADOS.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5 CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

A crescente globalização dos mercados, cuja característica predominante está na internacionalização da produção e consumo, além da competitividade, tem refletido fortemente em todos os elos da cadeia produtiva correlacionados com a produção agrícola, refletindo a necessidade de modernização do setor primário (LUZ et al., 2004).

Segundo Martins et al. (2013), a armazenagem nas unidades familiares do Rio Grande do Sul tem sido um tema recorrente, ao longo dos últimos anos, nos encontros técnicos sobre o cultivo de grãos em diversos eventos ocorridos no estado. Armazenar grãos em pequenos silos, principalmente o milho, além de ser mais econômico para o agricultor, conduz a uma maior qualidade do produto processado, refletindo em melhor desempenho das criações e quando da moagem para produção de farinha, apresenta um produto altamente competitivo em nível de mercado.

Existe uma tendência dos consumidores em cidades de menor porte no estado em adquirir, mesmo a preços mais altos, farinhas de grãos originários de silos secadores e com moagem realizada através de sistemas tradicionais como os moinhos de pedra (MARTINS et al., 2013).

A secagem e o armazenamento de cereais é um fator que limita o desenvolvimento da agricultura familiar. Grande parte dos agricultores familiares e camponeses não dispõe de estrutura de secagem e armazenamento de grãos (principalmente o milho), tendo que pagar um preço alto, para isto, ou vender a produção e comprá-la mais tarde, para suprir as necessidades da família e da criação de animais. Nesse processo de secagem e armazenamento fora da Unidade de Produção e Vida Familiar - UPVF, os agricultores/as acabam perdendo o controle sobre sua produção ecológica, misturando-a com a produção convencional (ASSESOAR, 2014).

O sistema de secagem e armazenagem na fazenda constitui prática de significativa importância, tanto para complemento da estrutura armazenadora urbana, como para minimizar as perdas quantitativas e qualitativas dos produtos

colhidos. Ele propicia uma das soluções para tornar o sistema produtivo mais econômico e sustentável (LUZ et al., 2004).

A secagem de grãos em silos utilizando o sistema de secagem artificial, de ventilação forçada e baixas temperaturas, no caso com ar de secagem em condição ambiente, é um processo lento e exige muito cuidado em sua operação, pois com as variações climáticas as características do ar podem se tornar prejudiciais à secagem do produto. Como este sistema de secagem é de baixo custo, por não utilizar energia no aquecimento do ar, e possibilitar a armazenagem no mesmo silo onde ocorre a secagem, é o mais utilizado para a secagem de pequenas e médias quantidades de grãos.

A inadequação das tecnologias disponíveis no Brasil e o baixo poder aquisitivo do pequeno e médio produtor rural, cujas propriedades situam-se numa faixa de até 50 hectares, contribuem para o baixo índice de secagem e armazenagem na fazenda (LUZ et al., 2004).

A automação é a solução mais indicada para resolver este inconveniente, pois consiste de um sistema ou conjunto de equipamentos eletrônicos e/ou mecânicos que controlam seu próprio funcionamento, quase sem a intervenção do homem. A automação possibilita fazer um trabalho por meio de máquinas controladas automaticamente, capazes de coletar informações, testar condições e conduzir os processos de forma autônoma.

1.1 OBJETIVOS

O trabalho objetivou analisar a dinâmica da secagem estacionária do milho, com ar ambiente em silo-secador, utilizando um sistema de microcontrolador para o controle do processo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os tempos de operação entre os sistemas manual e automatizado;

- Caracterizar a curva de secagem e a taxa de secagem do milho no método estacionário com ar ambiente utilizando sistema automatizado de controle do processo;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os inventos produzidos pela humanidade sempre trouxeram, além da grande dúvida de suas consequências e impacto social, um estilo de vida decorrente de novos hábitos assumidos diante de novos desafios e necessidades. O homem sempre buscou simplificar seu trabalho de forma a substituir o esforço braçal por outros meios e mecanismos, para que seu tempo ficasse disponível para outros afazeres, dessa forma valorizando as atividades do intelecto, das artes, lazer, pesquisa ou simplesmente no gozo de novas formas de entretenimento (SILVEIRA & SANTOS, 1998).

A necessidade de controlar processos deu origem às técnicas de controle que também não se constituem novidades nos tempos modernos. Segundo SILVEIRA & SANTOS (1998) “a arte de controlar é tão antiga quanto às necessidades humanas de desenvolver seus próprios sentidos. Mesmo não dispondo de grandes tecnologias, o homem mantinha a qualidade em seus artefatos e desenvolvia projetos eficazes direcionados ao controle de suas exigências”.

2.1 SILO-SECADOR

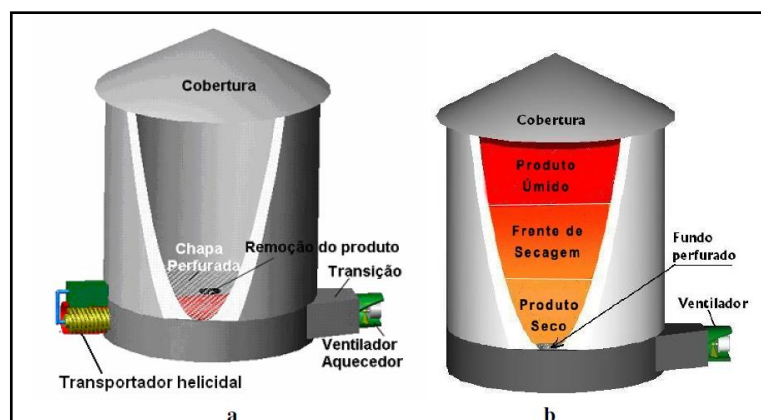
Um dos maiores problemas na produção de cereais, leguminosas e oleaginosas está na quantidade de sítios de armazenamento e na qualidade destes locais. Sem a manutenção de um ambiente propício para o armazenamento, é fácil prever a degradação do material ensilado devido a ação de pragas, tais como fungos e insetos. Mesmo um moderno silo metálico pode propiciar a deterioração dos grãos, se não houver cuidado e controle adequados (CITOLIN, 2012).

Existe uma série de vantagens na utilização de sistemas de armazenamento convenientemente localizados. Além de tornar o sistema produtivo mais econômico, propicia a comercialização do produto em melhores períodos, evitando as pressões naturais de mercado na época de colheita; e também possível garantir a continuidade de distribuição da produção mesmo em períodos de secas, nos quais as safras são fortemente prejudicadas e reduzidas (CITOLIN, 2012).

Parte-se do princípio de que sem um desenvolvimento sustentável, o setor agropecuário sozinho não tem condições de gerar alimentos para toda a população, por exemplo, a agricultura familiar e uma atividade econômica fundamental para a geração de renda no campo e para suprir a demanda de produtos para consumo, especialmente dos grupos socioeconômicos mais desprivilegiados. Sem uma estrutura agrícola eficiente, o país passa a ser dependente de importações e deixa de tomar posto de privilegio no mercado internacional (CITOLIN, 2012).

O silo secador-armazenador (Figura 1 (a e b)) apresenta algumas características especiais que não são exigidas para os silos empregados apenas para a armazenagem: o piso deve ser todo de chapas metálicas perfuradas, com no mínimo 15% de área perfurada, para promover a distribuição uniforme do ar; e o ventilador deve fornecer quantidade de ar suficiente para realizar a secagem de toda a massa de grãos sem que ocorra a deterioração. As dimensões do silo (diâmetro e altura) e o produto a ser armazenado determinam a potência do ventilador a ser usado (SILVA, 2008).

Figura 1 - Silo para secagem com ar natural ou com baixa Temperatura, mostrando a frente de secagem (FS).



Fonte: Silva (2008)

Como visto na Fig.1, a secagem com ar natural começa na camada inferior do silo e vai progredindo até atingir a parte superior. Durante o processo de secagem ocorre a formação de três camadas distintas: a primeira, que é formada por grãos secos que já atingiram o equilíbrio higroscópico; a segunda, que é chamada de frente de secagem por ser a camada em que está ocorrendo a transferência de umidade do produto para o ar e a terceira camada, que é formada pelos grãos ainda úmidos, pois ao passar pela frente de secagem o ar está praticamente saturado, sem capacidade de absorver a umidade dos grãos (SILVA, 2008).

Segundo Luz et al. (2004), o sistema de secagem e armazenagem em silos secadores na fazenda como um todo também permite:

- Antecipar a colheita;
- Minimizar a perda do produto no campo, tanto quantitativa como qualitativamente;
- Impedir o desenvolvimento de microrganismos e insetos;
- Proporcionar o planejamento da colheita e o emprego mais eficiente de maquinário e mão-de-obra;
- Utilizar subprodutos que são obtidos da pré-limpeza, para a alimentação de animais ou comercialização;
- Permitir a armazenagem por períodos maiores, sem a possibilidade de contaminação do produto;
- Economizar no transporte, cujos fretes têm seu preço aumentado na época da safra;
- Diminuir custo do transporte, devido a eliminação de impurezas e do excesso de água pela secagem;
- Parcerias com diferentes compradores comerciais;
- A rastreabilidade do produto.

2.2 SECAGEM

A secagem em secadores é uma técnica que visa preservar as qualidades do milho, considerando que, quando colhido mecanicamente, apresenta-se com alto

teor de umidade (24 a 26% b.u.) para armazenagem, porém com alta qualidade e elevado teor de matéria seca (SILVA, 2008).

A secagem depende da temperatura, umidade relativa e vazão do ar de secagem. Estes três fatores devem ser considerados para que a secagem seja completada sem a deterioração do produto. Para isso, convém escolher os períodos em que o ar esteja mais frio e seco, facilitando o processo e diminuindo o tempo para que o cereal atinja a temperatura e a umidade ideal de armazenamento. Para uma boa secagem, são necessárias, em média, 6 horas de ventilação forçada por dia, até a secagem ideal. Por fim, para manutenção dos grãos nas condições desejadas e protegidos, uma hora de ventilação por semana é suficiente (ASSESOAR, 2014).

Deve-se injetar ar desde o momento em que o cereal é armazenado no silo até a sua completa secagem. De acordo com informações de agricultores que já utilizam essa tecnologia, pode-se armazenar cereais com umidade diversa. Recomenda-se, porém, que a umidade, maior será o tempo de secagem e maiores riscos de aquecimento e fermentação (ASSESOAR, 2014).

A secagem de grãos em silos com ventilação forçada utilizando apenas ar natural ou com baixa temperatura é um processo lento. A baixa velocidade de secagem é devida ao pequeno fluxo de ar insuflado na massa de grãos e à dependência da capacidade de secagem do ar em estado natural. Por ser realizada em silo, é também entendida como secagem durante o armazenamento, pois, após a secagem, o produto pode permanecer armazenado no mesmo silo (SILVA, 2008).

A secagem é uma das etapas do pré-processamento dos produtos agrícolas que tem por finalidade retirar parte da água neles contida. É definida como um processo simultâneo de transferência de calor e massa (umidade) entre o produto e o ar de secagem. A remoção da umidade deve ser feita em um nível tal que o produto fique em equilíbrio com o ar do ambiente onde será armazenado e deve ser feita de modo a preservar a aparência, a qualidade nutritiva, no caso de grãos, e a viabilidade como semente (SILVA, 2008).

Embora a secagem e armazenagem em grandes unidades (engenhos, cooperativas, cerealistas, etc.) apresentem um menor custo de processamento em função da escala, os pequenos produtores ficam impedidos de utilizar tais estruturas, em virtude do preço do frete, principalmente se forem consumir os grãos para as

criações na propriedade. Além disso, o custo fica elevado para o transporte de grãos com excesso de água (umidade) e impurezas (MARTINS et al., 2013).

A estocagem em silos torna-se importante também em termos econômicos, pois permite um maior controle do escoamento da safra e abastecimento, reduzindo, assim, a necessidade de importação e evitando as especulações de mercado (NETO, 2013).

Entretanto, armazenar grãos não significa guardá-los sob quaisquer condições. A importância da armazenagem reside no fato de que, quando conduzida adequadamente, evita-se a ocorrência de perdas e preserva-se a qualidade do produto (NETO, 2013).

Constata-se também que a qualidade dos produtos armazenados é inversamente proporcional ao tamanho das unidades. Ou seja, quanto maior forem os depósitos dos grãos, menor tende a ser a qualidade apresentada pelos produtos neles estocados. Assim, o produtor colhe um produto de excelente qualidade, mas ao levar para as unidades de secagem o seu produto perde a identidade. E quando o produtor necessita do produto, ele recebe normalmente um grão em piores condições, principalmente pelo excesso de grãos trincados e quebrados e que resultam em menor conservação do produto (MARTINS et al., 2013).

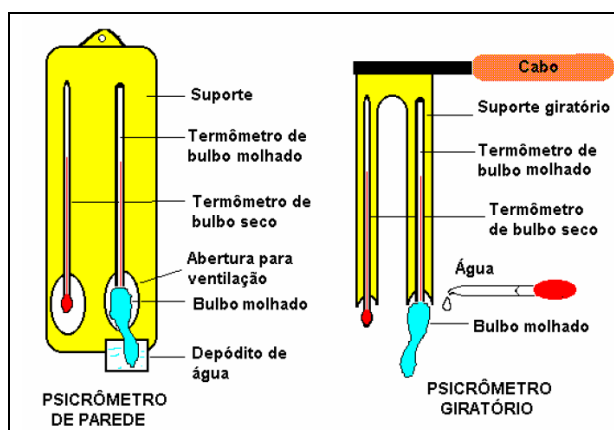
2.2.1 Psicrometria

A psicrometria ou higrometria é a parte da termodinâmica que trata da quantificação do vapor de água presente na atmosfera. O ar é constituído por uma mistura de gases (nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono, etc.), vapor de água e uma série de contaminantes, como partículas sólidas em suspensão e outros gases. A quantidade de vapor de água presente no ar ambiente varia de quase zero a aproximadamente 4% em volume (MILMAN, 2002).

O ar seco existe quando, do ar natural, removem-se todo o vapor de água e os contaminantes. A psicrometria também pode ser definida como a ciência que estuda as propriedades do ar, em particular, a capacidade do ar em conter água. O termo psicrometria significa a medição da umidade do ar através do psicrômetro, que é um

aparelho constituído de dois termômetros, um com o bulbo úmido e outro com o bulbo seco como demonstra a Fig. 2. (SILVA, 2008).

Figura 2 - Exemplos de psicrômetro



Fonte: SILVA (2008).

O ar que envolve os grãos armazenados ou o ar em movimento durante o processo de secagem é que determina as condições em que o grão apresentará no final do processo. Nos sistemas de secagem, o ar é usado para retirar a umidade dos grãos e as propriedades do ar de secagem é que determinarão como se dará essa operação. Caso o ar não esteja saturado, o termômetro de bulbo úmido marcará uma temperatura mais baixa, menor que a do termômetro de bulbo seco, podendo-se assim saber a umidade relativa do ar, e, deste modo, determinar se o ar está em condições adequadas para secar os grãos ou não (MILMAN, 2002).

2.2.2 Equilíbrio Higroscópico

Conforme descreve Biagi (2003), o material higroscópico, é aquele que tem a capacidade de ceder ou absorver umidade do ar ambiente. Os grãos são materiais considerados higroscópicos, porém para cada espécie existe, dependendo das condições do ar ambiente (temperatura e umidade relativa), um equilíbrio higroscópico.

Os grãos e sementes por serem higroscópicas, possuem a propriedade de realizar intercâmbio de água, sob a forma de vapor com o ar circundante, por sorção ou dessorção, até alcançarem o ponto de equilíbrio higroscópico (Nellist & Hugues, 1973). A Tabela 1 apresenta o grau de umidade de equilíbrio higroscópico em base úmida de alguns grãos, a uma dada umidade relativa (%) e temperatura do ar (°C) (MILMAN, 2002).

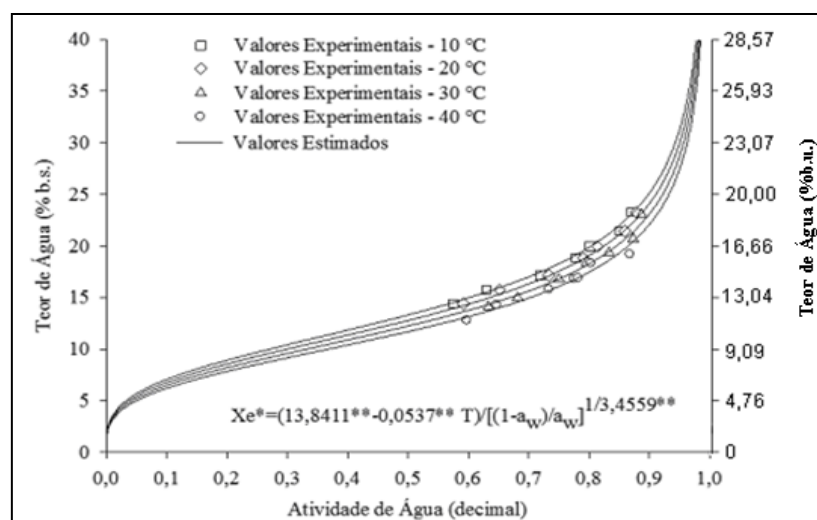
Tabela 1 - Equilíbrio higroscópico em base úmida de alguns grãos, a uma dada umidade relativa (%) e temperatura do ar (°C)

°C	Grão	Umidade relativa do ar %.								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
10	Arroz/casca	4,9	7,6	9,3	10,5	11,5	12,6	13,8	15,6	18
	Milho	5,5	7,8	9,2	10,2	11,3	12,7	14,3	16,6	19,8
	Soja	4,3	5,7	6,5	7,2	8,1	10,1	12,4	16,1	21,9
	Trigo	5,5	7,7	9,1	10,4	11,6	12,8	13,9	15,6	18,2
15	Arroz/casca	4,8	7,3	8,9	10,1	11,1	12,1	13,3	15	17,4
	Milho	4,8	7	8,4	9,4	10,5	11,8	13,4	15,5	18,5
	Soja	3,8	5,3	6,1	6,9	7,8	9,7	12,1	15,8	21,3
	Trigo	5	6,9	8,2	9,5	10,7	12	13,2	14,9	17,4
35	Arroz/casca	4,6	7	8,5	9,7	10,6	11,6	12,8	14,5	16,7
	Milho	4,3	6,4	7,7	8,7	9,8	11	12,5	14,5	17,3
	Soja	3,5	4,8	5,7	6,4	7,6	9,3	11,7	15,4	20,6
	Trigo	4,6	6,3	7,4	8,6	9,9	11,2	12,5	14,2	16,7

Fonte: MILMAN (2002).

Sementes de milho são frequentemente colhidas com teores de água acima dos níveis compatíveis ao seu manuseio ou armazenamento seguro. Após a colheita as sementes devem ser então, submetidas à secagem, uma etapa crítica na produção de sementes e uma freqüente causa de danos (Rosa et al., 2000). A figura 3 apresenta a atividade de água em grãos de milho em função do teor de água e da temperatura do produto.

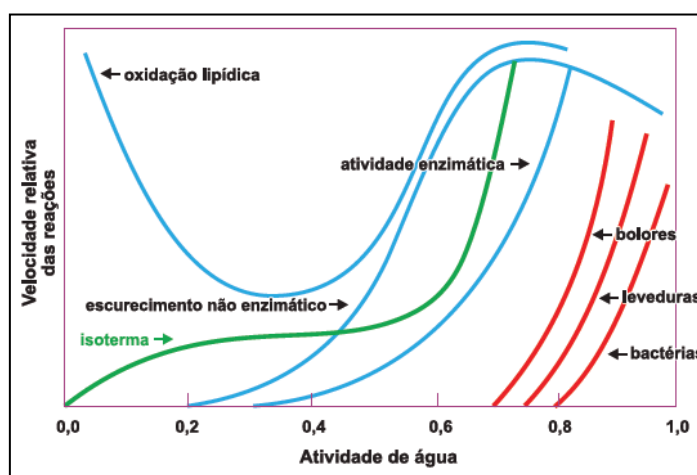
Figura 3 – Atividade de água em função do teor de água nos grãos (%b.s.)



Fonte: Smaniotto (2012).

A figura 4 apresenta a velocidade relativa das reações em função da atividade de água nos produtos. A permanência das sementes com elevado teor de água, durante o período compreendido entre a colheita e a secagem, contribui para o processo de deterioração devido à elevada atividade metabólica que, além de consumir as substâncias de reserva, libera energia e água favorecendo o desenvolvimento de microrganismos e insetos (Peske & Villela, 2003).

Figura 4 - Velocidade relativa das reações

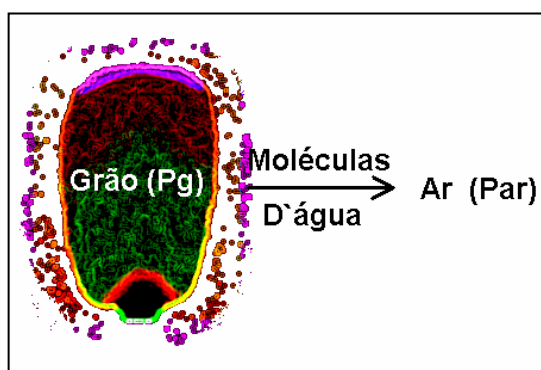


Fonte: Oliveira (2006).

Segundo Silva (2008), durante a secagem, a retirada da umidade é obtida pela movimentação da água, decorrente de uma diferença de pressão de vapor d'água entre a superfície do produto a ser secado e o ar que o envolve (Figura 5). A condição para que um produto seja submetido ao processo de secagem é que a pressão de vapor sobre a superfície do produto (p_g) seja maior do que a pressão do vapor d'água no ar de secagem (p_{ar}). As seguintes observações podem ser feitas:

- se $p_g > p_{ar}$: ocorrerá secagem do produto;
- se $p_g < p_{ar}$: ocorrerá umedecimento do produto; e
- se $p_g = p_{ar}$: ocorrerá o equilíbrio higroscópico.

Figura 5 - Representação da movimentação da água durante a secagem.



Fonte: Silva (2008)

2.3 AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS

A palavra automação foi inventada pelo marketing da indústria de equipamentos na década de 1960. O neologismo, sem dúvida, buscava enfatizar a participação do computador no controle automático industrial. Atualmente, “entende-se por automação qualquer sistema, apoiado em computadores que substitua o trabalho humano e que vise soluções rápidas e econômicas para atingir os complexos objetivos das indústrias e dos serviços” (MORAES & CASTRUCCI, 2001).

Automação é um sistema de equipamentos eletrônicos e/ou mecânicos que controlam seu próprio funcionamento, quase sem a intervenção do homem. Automação é diferente de mecanização. A mecanização consiste simplesmente no

uso de máquinas para realizar um trabalho, substituindo assim o esforço físico do homem. Já a automação possibilita fazer um trabalho por meio de máquinas controladas automaticamente, capazes de se regularem sozinhas (SILVEIRA et al., 2009).

Embora a automação industrial tenha sido desencadeada, fundamentalmente, pela necessidade de melhorar os níveis de produtividade, as alterações do tipo de mercado têm feito evoluir o conceito de automação. Quando o mercado era caracterizado pela abundância de produtos iguais e duradouros, em que a economia de escala dominava a cena industrial, a automação era fixa, isto é, a sequência de operações no sistema era fixada pela configuração do equipamento projetado para um determinado produto (PINTO, 2005).

Pode-se dizer que os sistemas eletromecânicos fazem parte do início da automação, utilizada para controlar a energia elétrica, que por sua vez veio para substituir o esforço humano na realização do trabalho. O comando e o controle de máquinas em processos industriais eram feitos por relés eletromagnéticos, especialmente projetados para este fim. O controle baseado em relés exigia modificações na fiação, no caso de alterações no processo automatizado, e em muitos casos isso se tornava inviável, sendo mais barato substituir todo o painel por um novo. Estes sistemas são formados por botões de acionamento, contactores, sensores de fim de curso, válvulas e vários outros dispositivos, e não são flexíveis pois não permitem uma programação, necessitando que o operador venha a ativar ou desativar o sistema conforme o necessário (RIBEIRO, 1999 & MARTINS, 2012).

Com a evolução da tecnologia, o barateamento dos circuitos integrados e o surgimento de microprocessadores mais poderosos, começou-se a usar os microprocessadores mais simples para implementar tarefas delicadas como o controle de impressoras, reguladores de velocidade, acionadores de motores de passos, etc (DENARDIN, 2014).

Um microprocessador é uma CPU (Central Processor Unit) constituída fisicamente por um circuito eletrônico com larga escala de integração, ou seja, com milhões de componentes passivos e ativos dentro de um extrato semicondutor medindo alguns poucos centímetros (RIBEIRO, 1999).

O arduíno é uma plataforma computacional física (microprocessador) de programação livre constituída de uma placa de entrada/saída e um ambiente onde é

implementada a linguagem de programação. O Arduino pode ser usado para desenvolver objetos interativos autônomos ou podem ser conectados a programas de computadores. As placas podem ser construídas manualmente ou compradas pré-montadas. A placa do Arduino é constituída por um microprocessador AVR Atmel, um cristal ou oscilador e um regulador de voltagem linear de 5 volts (PALIGA, 2014).

Dependendo de qual for o modelo do Arduino, ele pode ter também uma porta USB para conectar ao computador para enviar ou receber dados. A placa do microcontrolador apresenta pinos de entrada e saída para que possa conectar outros circuitos ou sensores. Existem diversos modelos de Arduino disponíveis no mercado, como: Mega, Nano, Uno, Leonardo, etc. Os modelos são semelhantes e diferenciam-se basicamente pelos microcontroladores utilizados e pela quantidade de portas. Por ser diretamente relacionada ao microcontrolador, a memória também varia (PALIGA, 2014).

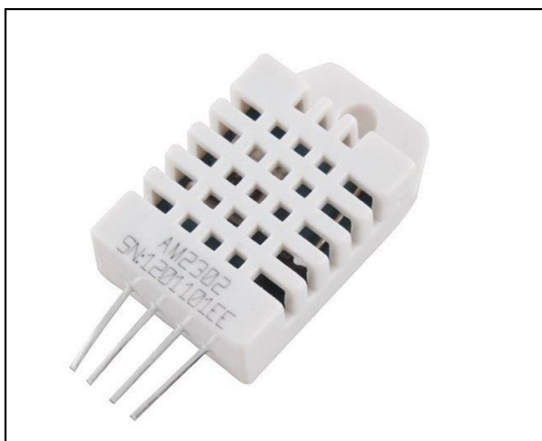
Figura 6 – Placa Lógica do Arduino UNO R3



Fonte: Grando (2014).

Os sistemas de automação são basicamente leitores automáticos de informações, que no caso são fornecidas pelos sensores por um sinal elétrico, proporcional a variação de grandezas físicas, tais como temperatura, umidade relativa, intensidade luminosa, e outros (SILVA, 2000).

Figura 7 - Sensor eletrônico modelo DHT 22



Fonte: Grando (2014).

O sensor é a parte do sistema automático de medidas, responsável por detectar a variação de determinada grandeza física. Entretanto existem diversos princípios físico-químicos, que podem estar relacionados à diferença no sinal, dentre eles pode-se citar a variação da resistência elétrica, seja esta devido a luminosidade ou temperatura (ZAMBALDE, 1991).

Segundo Dally et al. (1993), relatou que a automatização na obtenção dos dados tem gerado avanços enormes, pois permite a o acesso medidas em tempo real e portanto, a tomada rápida de decisões.

Os dados obtidos em tempo real podem ser empregados para estimar exigências de água e desenvolvimento das culturas, stress do gado e índices de secagem do feno. Podem ser úteis também na determinação da época de pulverização, para controle de doenças e pragas em plantações (HAYHOE e BALCHIN, 1987).

Atualmente, existem inúmeros exemplos de sistemas de automação de aquisição de dados com os mais variados graus de complexidade (ZAMBALDE, 1991).

3 MATERIAL E MÉTODOS

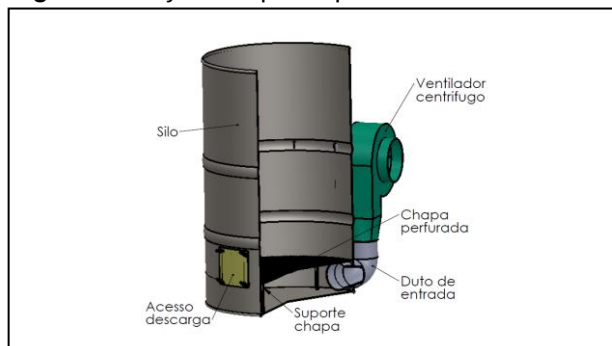
3.1 MATÉRIA PRIMA

Foram utilizados grãos de milho provenientes da safra 2014/2015, oriundos da localidade de Erechim, com umidade aproximada de 18,95% (b.u) e um teor médio de impurezas de aproximadamente 1,26%.

3.2 BANCADA DE SECAGEM

Para a secagem do produto, utilizou-se dois protótipos de silo-secadores pertencente ao Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas da URI - Erechim/RS, com um volume aproximado $0,178 \text{ m}^3$ e capacidade aproximada para 127Kg de grãos de milho, por silo. Cada protótipo possui um ventilador centrífugo, regulados por inversores de frequência para fornecer uma vazão específica, sugerida por Milman (2002) de $4,8 \text{ m}^3/\text{min.m}^{-3}$ de grãos, conectados a um fundo plenum constituído por uma chapa perfurada com área de abertura de 20%. A figura 8 apresenta o layout, sem escala, do protótipo de silo-secador.

Figura 8 - Layout do protótipo de silo-secador



Fonte: Grando, 2014

A figura 9 apresenta os silos-secadores, protótipos de secagem utilizados no estudo.

Figura 9 - Protótipos dos silos secadores



Fonte: Grando (2014)

3.3 SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

Foi aplicado para o controle do processo de secagem um sistema de automação que utiliza um microcontrolador arduino UNO R3 (Figura 6) pertencente ao Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas, elaborado por Grando (2014) que utiliza a equação de Henderson &Thompson para determinar o equilíbrio higroscópico dos grãos com o ar de secagem (ar ambiente). O sistema automatizado obtém temperatura e umidade relativa do ar atmosférico através de um sensor DHT22 (Figura 10) que fornece as variáveis para o teste de condição do acionamento ou da interrupção dos ventiladores comandado pela central de processamento do microcontrolador.

Figura 10 - Quadro de sistema de automação (1) e de controle do sistema manual (2), e o Sensor de temperatura e de umidade relativa do ar atmosférico (DHT22).



Fonte: Grando (2015)

3.4 MANEJO DA SECAGEM

A secagem do produto foi conduzida utilizando ar em condição ambiente, nos dois sistemas de controle, manual e automatizado, que operaram simultaneamente, com o acionamento dos sistemas às 08:00 e a interrupção às 20:00. O sistema manual opera independentemente das condições do ar atmosférico, já o sistema automatizado coleta as informações de temperatura e de umidade relativa do ar atmosférico para determinar a umidade de equilíbrio higroscópico que o ar oferece aos grãos e compara com o grau de umidade dos grãos informado pelo operador ao longo do período de secagem. A finalização da secagem em ambos os sistemas ocorrerá quando um dos sistemas mantiver, nos grãos, um grau de umidade inferior a 14% (b.u.).

3.5 COLETA DE AMOSTRAS

As amostras foram coletas em três posições equidistantes no interior do silo, utilizando um trado de carga, para determinar a média de umidade dos grãos durante a secagem. A tomada de amostras foi realizada diariamente e a cada quatro horas de operação, iniciando as 08:00, com a primeira coleta às 12:00, a segunda e às 16:00, e a terceira às 20:00, este procedimento foi realizado para ambos os

sistemas. A figura 11 apresenta os materiais utilizados para a coleta de amostras dos silos-secadores.

Figura 11- Material de coleta das amostras (1) Trado, (2) Bandejas, (3) Silo-Secador



Fonte: Grando (2015)

3.6 ANÁLISE DAS AMOSTRAS

O monitoramento da secagem foi realizado com a análise do grau de umidade dos grãos, aplicando o método padrão de estufa a 105°C por 24 horas, conforme metodologia indicada pelas Regras de Análise de Sementes (Mapa, 2009).

A determinação de impureza do produto foi realizada conforme Regulamento técnico do milho, indicado pela instrução normativa nº 60/2011.

3.7 ANÁLISE DOS DADOS

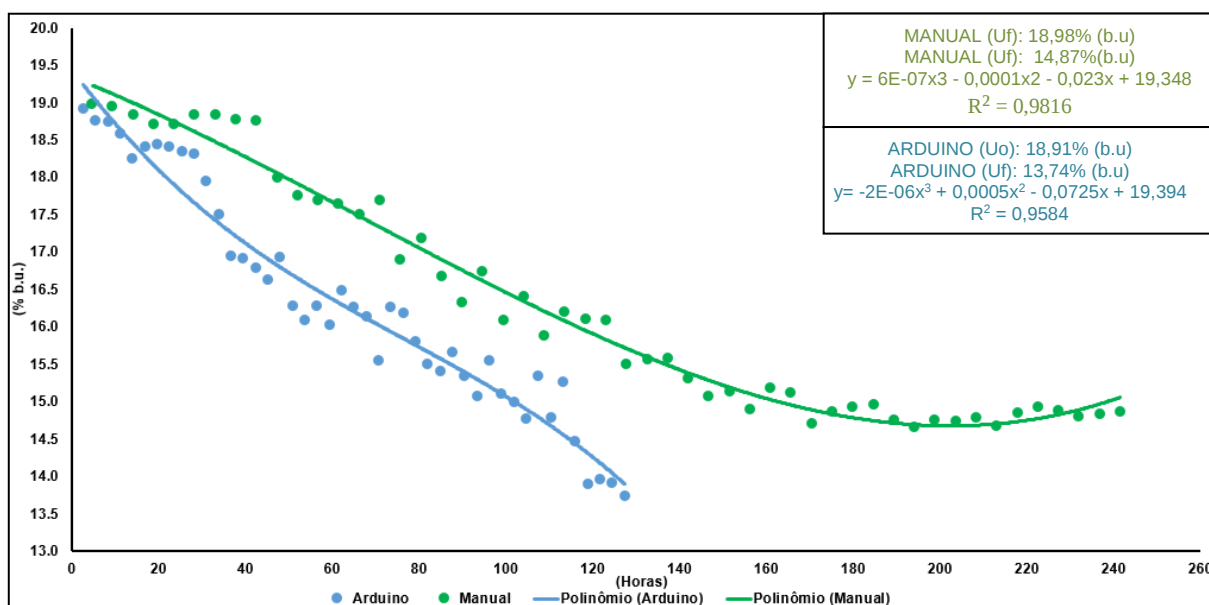
Os dados obtidos do processo de secagem foram analisados avaliando a curva e a taxa de secagem do produto, considerando a umidade do produto, o tempo de operação e as condições do ar de secagem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A operação de secagem iniciou dia 14 de abril com os grãos apresentando uma umidade aproximada de 18,98% (b.u) para o sistema com controle manual, e de 18,91% (b.u) para o sistema com controle automatizado do processo.

A operação de secagem se encerrou, vinte e três dias após seu o início, dia 06 de maio quando o sistema de controle automatizado manteve aproximadamente constante um grau de umidade de equilíbrio nos grãos de aproximadamente 13,72% (b.u), consequentemente o sistema manual encerrou a operação com uma umidade de equilíbrio nos grãos de aproximadamente 14,86% (b.u). A Figura 12 apresenta as curvas de secagem para os sistemas de controle manual e automatizado no processo de secagem do milho.

Figura 12 - Curvas de secagem do milho, em silo-secador utilizando ar ambiente, operando com um sistema de controle de processo automatizado e outro manual



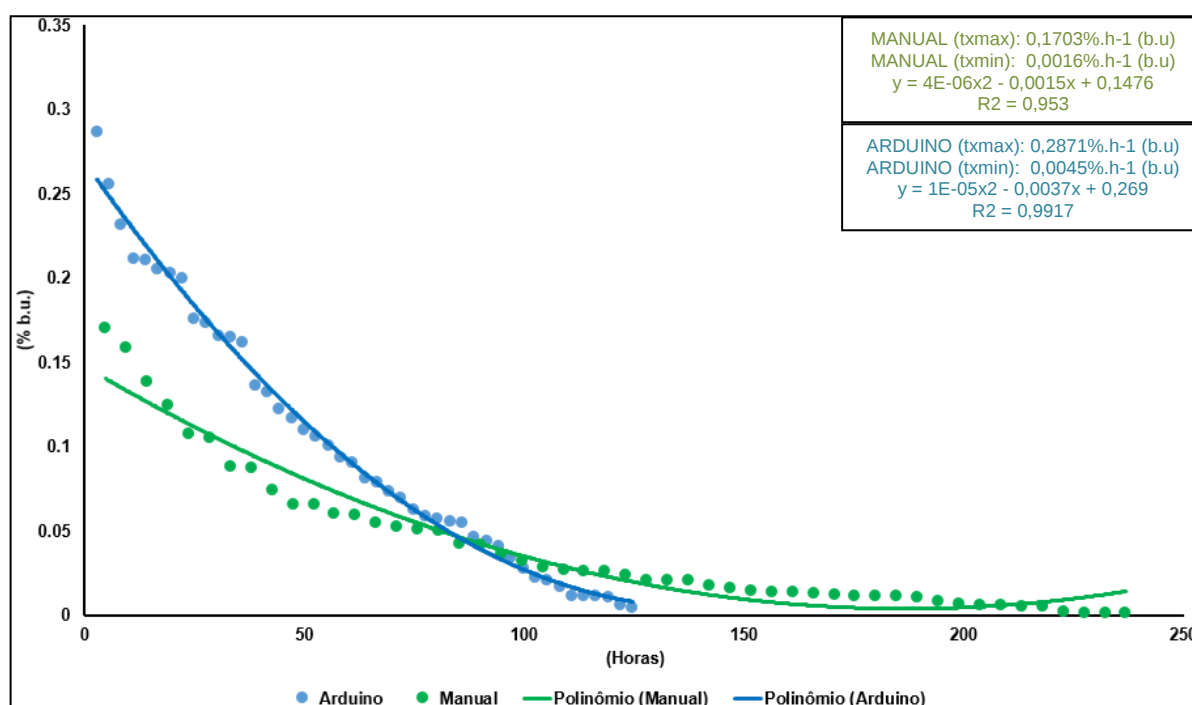
Pelos valores apresentados na Figura 12 é possível verificar que o sistema de controle automatizado do processo (Arduino) concluiu a secagem dos grãos em

127,45 horas, enquanto que o sistema de controle manual do processo de secagem atingiu 241,59 horas de operação.

Observa-se que o sistema de controle automatizado utilizou 52,74% do tempo observado em relação o sistema manual e ainda finalizou o processo com uma umidade nos grãos 1,14% (pontos percentuais) inferior aos grãos submetidos ao controle manual do processo. A finalização do processo de secagem com uma umidade nos grãos mais baixa do que no sistema automatizado pode ser atribuído ao teste lógico de controle efetuado pelo microprocessador que permitiu a insuflação de ar para a secagem somente em condição de umidade de equilíbrio inferior a condição de umidade nos grãos informada pelo operador durante a operação de secagem.

O tempo prolongado decorrido no sistema manual pode ser atribuído aos momentos em que o ar de secagem foi insuflado com uma umidade de equilíbrio superior a umidade nos grãos ao longo de toda a operação de secagem. A Figura 13 apresenta as taxas de secagem para os sistemas de controle manual e automatizado no processo de secagem do milho.

Figura 13 - Taxas de secagem do milho, em silo-secador utilizando ar ambiente, operando com um sistema de controle de processo automatizado e outro manual.



Pelo comportamento da taxa de secagem do milho, entre os sistemas de controle, é possível verificar que a taxa de secagem no sistema automatizado manteve-se predominantemente mais elevada que a taxa de secagem do sistema manual, isto pode ser explicado pela não ocorrência de insuflação de ar fora da condição para a remoção de água nos grãos. Entretanto, ao final do processo, a taxa de secagem no sistema automatizado passa a ser menor que a taxa de secagem do sistema manual, isto pode ser atribuído a redução da água disponível para remoção nos grãos, conforme o tempo de secagem vai chegando ao seu final.

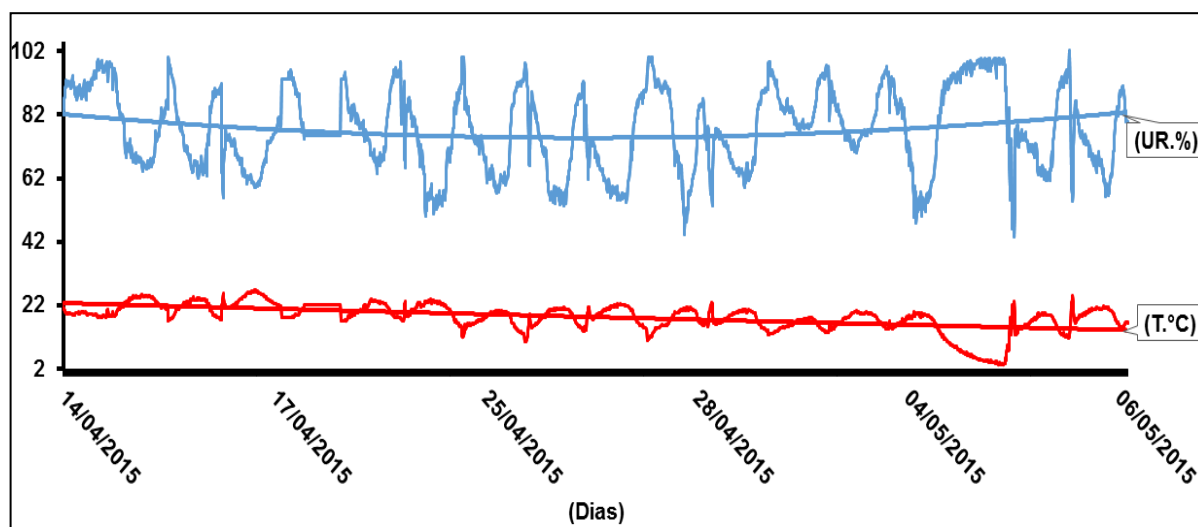
A baixa taxa de secagem do milho para o sistema manual, em relação ao sistema automatizado, pode ser atribuída às oscilações de equilíbrio higroscópico do ar ambiente, que além de condições para a remoção da água no produto, ora fornecia uma condição de umedecimento ou de preservação da água nos grãos. Este comportamento é característico de um sistema de secagem estacionário com ar ambiente e não ocorreu no sistema de secagem estacionário com ar ambiente e com controle automatizado do processo devido a intervenção do microcontrolador. A tabela 2 apresenta os valores médios das condições de temperatura e de umidade relativa do ar ambiente, durante a operação de secagem para os dois sistemas de controle do processo.

Tabela 2 - Caracterização da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente durante o processo de secagem, para os dois sistemas de controle, no período de 14 de abril a 06 de maio de 2015.

Temperatura (°C)				Umidade relativa (%)			
Média Aritmética	Mediana	Max.	Min.	Média Aritmética	Mediana	Max.	Min.
18,33°C	18,94°C	26,96°C	3,3°C	77,29%	76,16%	99%	43,47%

A figura 14 apresentou o comportamento da umidade relativa, da temperatura e do equilíbrio higroscópico dos grãos em função do ar ambiente durante o processo de secagem, no período de 14 de abril a 06 de maio de 2015.

Figura 14 - Comportamento das condições do ar ambiente utilizado na secagem estacionária do milho utilizando dois sistemas de controle do processo de secagem



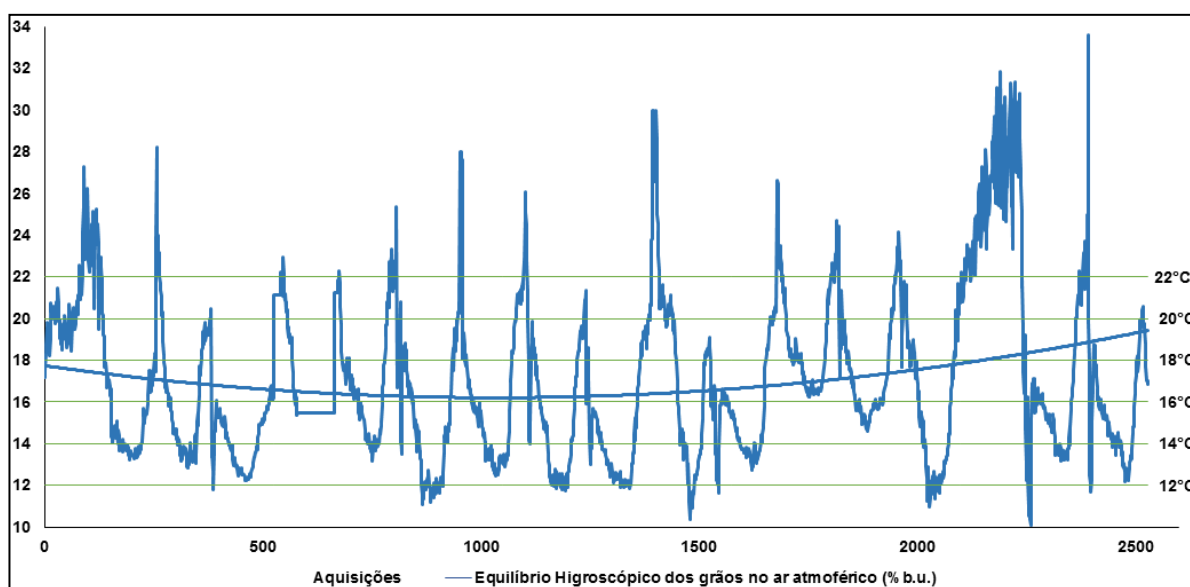
Pelo comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar, descritos pelas curvas de tendência, é possível verificar que no segundo terço da operação de secagem houveram condições psicrométricas predominantemente mais favoráveis ao processo de secagem. A partir do segundo terço do período de secagem observa-se uma elevação da umidade relativa e uma redução na temperatura do ar, condições estas que tendem a não favorecer as operações de secagem de grãos. A tabela 3 apresenta os valores médios das condições de equilíbrio higroscópico dos grãos em função das condições de temperatura e de umidade relativa do ar ambiente, durante a operação de secagem para os dois sistemas de controle do processo.

Tabela 3 - Caracterização do equilíbrio higroscópico dos grão em função do ar ambiente durante o processo de secagem para os dois sistemas de controle, no período de 14 de abril a 06 de maio de 2015.

Equilíbrio higroscópico (% b.u)			
Média Aritmética	Mediana	Max.	Min.
17,05%	16,02%	33,62%	10,07%

A figura 15 apresenta o comportamento do equilíbrio higroscópico dos grãos em função das condições do ar ambiente, nas faixas de programação para a secagem dos grãos.

Figura 15 - Equilíbrio higroscópico dos grãos em função das condições do ar ambiente, durante o processo de secagem, no período de 14 de abril a 06 de maio de 2015.



Pelo comportamento do equilíbrio higroscópico dos grãos em função das condições do ar ambiente, dentro das faixas de umidade programadas para o sistema automatizado, é possível verificar que o segundo terço da operação de secagem apresentou uma prevalência de umidade de equilíbrio mais baixa e próximo a 16% (b.u), em relação ao primeiro e ao último terço. Observando as faixas de umidade entre 16 e 12% (b.u) é possível perceber que houve uma maior prevalência de condições no ar ambiente de oferecer um equilíbrio higroscópico mais próximo de 14% (b.u). do que para 12% (b.u), o que explica o grau de umidade final dos grãos no sistema manual, onde os grão se mantiveram com aproximadamente 14,86% (b.u). Entretanto, com o sistema automatizado selecionando apenas os momentos em que o ar ofereceu um condição de equilíbrio próxima a 12% (b.u), foi possível que os grãos ao final da secagem, com controle do processo automatizado, equilibrassem com aproximadamente 13,72% (b.u).

5 CONCLUSÕES

1) A secagem do milho utilizando ar ambiente, em silo-secador conduzido por um sistema manual de controle finalizou o processo de secagem com uma umidade nos grãos de aproximadamente 14,86% (b.u) e 251,49 horas de operação.

2) A secagem do milho utilizando ar ambiente, em silo-secador conduzido por um sistema automatizado de controle finalizou o processo de secagem com uma umidade nos grãos de aproximadamente 13,72% (b.u) e 127,45 horas de operação.

3) O sistema de controle automatizado do processo de secagem do milho em silo-secador utilizando ar ambiente reduziu o tempo do processo de secagem em 52,74%.

4) O sistema de controle automatizado do processo de secagem do milho em silo-secador utilizando ar ambiente finalizou a secagem com um grau de umidade nos grãos menor que o no sistema de controle manual.

5) O sistema de controle automatizado do processo de secagem do milho em silo-secador utilizando ar ambiente proporcionou uma taxa de secagem predominantemente maior em relação ao sistema de controle manual.

6) O sistema automatizado para o controle do processo de secagem proposto por Grandó (2014) mostrou-se aplicável para a secagem do milho em silo-secador utilizando ar em condição ambiente.

Sugere-se para trabalho futuros que, além do desempenho do processo, sejam estudados formas de monitoramento e de avaliação das condições grãos durante o período de secagem, para os momentos em que o sistema automatizado não ventila o produto.

REFERÊNCIAS

ASSESOAR. **Silo Secador e Armazenador de CEREAIS: Secagem e Armazenamento de Grãos na Agricultura Familiar e Camponesa.**/ Associação de Estudos, Orientação e Assistência Rural - Francisco Beltrão, 2014.

BIAGI, J. D.; BERTOL, R. **Secagem de Grãos.** Tecnologia Pós-colheita FEAGRI/UNICAMP, Campinas, 2003.

GRANDO, Clari Messias. **Estudo Comparativo de Diferentes Sistemas no Controle do Processo de Secagem de Cereais Utilizando Ar Ambiente.** Projeto Interdisciplinar, Engenharia Mecânica. Universidade Regional Integrada URI Campus de Erechim, 2014.

GRANDO, Clari Messias. **Estudo Comparativo de Diferentes Sistemas Automatizados no Controle do Processo de Secagem de Grãos.** Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Mecânica. Universidade Regional Integrada URI Campus de Erechim, 2015.

CITOLIN, R.S. **Projeto De Diplomação Sistema de Termometria para Silos.** PORTO ALEGRE, 2012.

DALLY, J.W.; WILLIAM, F.R.; McCONNELL, K.G. **Instrumentation for engineering measurements.** 2nd ed. New York: John Wiley, 1993. 584 p.

DENARDIN, G. W. **Apostila Microcontroladores.** Disponível em: <<http://pessoal.utfpr.edu.br/gustavo/>>. Acessado em 14/9/2014.

HAYHOE, H.N., BALCHIN. D. **Automatic retrieval of data agrometeorological using a microcomputer and radiotelemetry.** Journal of Computers and electronics abd Agriculture, Amsterdam, v. 2, n 2, p.129-134, 1987.

LUZ, M.L.S., DALPASQUALE, V.A., SOARES, G.P., **Secagem e Armazenagem na Fazenda: Benefícios na Cadeia Agroindustrial.** SÃO PAULO, 2004.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Regras de Análises e Sementes.** Brasília, 2009.

MARTINS, G. M. **Princípios de Automação Industrial**. Universidade Federal De Santa Maria, Centro De Tecnologia, Departamento De Eletromecânica E Sistemas De Potência. 2012.

MARTINS, R.R., CALCANHOTTO, F. A., MARTINS, B. V., FRANCO, J. B. R. **A Armazenagem Sustentável Como Inovação Para a Pequena Propriedade**. Porto Alegre, 2013.

MILMAN, M. J. **Equipamentos para Pré-Processamento de Grãos**. Ed. universitária/UFPel, Pelotas, 2002.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. RIO DE JANEIRO: LTC, 2001.

NETO, I.T.S, **Estado Da Arte De Silos Verticais De Madeira**. CUIABÁ, 2013.

OLIVEIRA L.M.A. **Processos Básicos de Conservação de Alimentos**. Campinas. SP, 2006(com Adaptações).

PALIGA, R. M.G. **Sistema Micro Processado no Controle de Temperatura e Umidade Relativa do Ar em Silos-Secadores de Grãos**. Trabalho de final de curso, Engenharia Mecânica. Universidade Regional Integrada URI Campus de Erechim, 2014.

PESKE, S.T.; VILLELA, F. Secagem de sementes. In: PESKE, S. T.; ROSENTHAL, M.; ROTA, G.R.M. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. Pelotas, Editora e Gráfica Universitária (UFPel), 2003, p. 283-322.

PINTO, F. C. **Sistemas de Automação e Controle**. Senai. ES 2005.

RIBEIRO, M. A. **Automação Industrial**. 4, ed, Salvador, Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 1999.

ROSA, S.D.V.F.; VON PINHO, É.V.R.; CARVALHO, M.G.; VEIGA, R.D. **Eficácia do Teste de Condutividade Elétrica para o uso em Estudos de Danos de Secagem em Sementes de Milho**. Pesquisa Brasileira de Sementes. Brasília, v.22, n. 1, p. 54-63, 2000.

SMANIOTTO, T. A. S., et all. **Isotermas e Calor Latente de Dessorção dos Grãos de Milho da Cultivar**. Ag 7088. 2012.

SILVA, J. S. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**, Aprenda Fácil, Viçosa, 2000.

SILVA, J. S. **Secagem E Secadores**, Aprenda Fácil, Viçosa, 2008.

SILVEIRA, P. R. da; SANTOS, W. E. **Automação e Controle Discreto**. São Paulo: Érica, 1998.

SILVEIRA, P. R.; SANTOS, W. E. **Automação e Controle Discreto**. Érica, SãoPaulo, 2009.

ZAMBALDE, A.L. **Sistema Computadorizado para Aquisição e Análise de Dados Agrometeorológicos**. 1991. 144 p. Dissertação-(Mestrado em Ciencias da Engenharia: eletrônica) - Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajuba, 1991.