

Refrigeração de produtos armazenados

Por: Luís César da Silva

1. Introdução

O emprego de baixas temperaturas na conservação produtos visa retardar e, ou inibir: (i) reações químicas e enzimáticas do produto; e (ii) ações de agentes biológicos como fungos, bactérias e insetos. Uma vez que menores temperaturas implicam na redução taxas de metabolismo.

No caso de grãos e leguminosas o ambiente de armazenagem é um ecossistema em que estão presentes elementos: (a) abióticos: ar intergranular e impurezas; e (b) bióticos: massa de produto, insetos, fungos, bactérias e ácaros.

Para conservar os produtos, diferentes técnicas são empregadas. E estas fundamentam na manipulação de fatores intrínsecos e extrínsecos. Os fatores intrínsecos referem ao produto, e na armazenagem comercial o mais relevante é o teor de água.

Os fatores extrínsecos referem ao ambiente de armazenagem, sendo os mais relevantes: (a) a umidade relativa do ar intergranular; (b) a temperatura e umidade relativa do ambiente; e (c) a composição química do ar intergranular.

Assim, as estratégias de conservação fundamentam em: (a) promover a limpeza dos produtos – o que além de atender normas comerciais possibilita reduzir as infestações de insetos e microrganismos, bem como, os consumos de energia elétrica e calorífica durante a secagem; (b) realizar a secagem – o que promove a redução do teor de água dos produtos o que diminui a disponibilidade de água para os metabolismos do produto, fungos e bactérias; e (c) armazenar o produto resfriado - o que possibilita a preservação da quantidade e qualidade da matéria seca.

Abstract

Cooling Storage Grains

(Federal University of Espírito Santo - Food Engineering Department - Technical Bulletin: AG: 01/08 - 01/02/2008 - Revised: 04/10/2015)

This extension bulletin highlights the benefits of the use of grain cooling, as the control of insects and preserving grain quality. Getting in some cases waive the use of insecticides. What enhances aspects of food safety and reduces of environmental impacts.

In Brazil, nowadays, the main limiting factor to the cooling employment is the cost of electricity, since it is estimated a use of 3 to 6 kWh per tonne of product.

Dr. Luís César da Silva – website: www.agais.com

Para essa preservação durante a armazenagem é importante: (1) manter o teor de água do produto abaixo de 14,5% para evitar perda de massa devido ao processo de respiração e o desenvolvimento de fungos e bactérias; (2) monitorar e combater o desenvolvimento de insetos; e (3) controlar os níveis de infestação de roedores e pássaros. O estabelecimento dessas situações requer a: (i) realização de operações como a aeração e, ou refrigeração; e (ii) utilização de praguicidas.

2. Movimentação de ar

A movimentação de ar pelo produto armazenado possibilita realizar operações como: (a) aeração; (b) seca-aeração; e (c) refrigeração. A aeração tem por objetivo aprimorar as condições do ambiente de armazenagem. Isso é alcançado com a renovação do ar intergranular o que estabelece um microclima ideal para conservação do produto.

A má condução da operação de aeração pode depreciar a qualidade do produto armazenado. Isso quando não observado as condições psicrométricas do ar ambiente. Desse modo, antes de iniciar a aeração o operador deve estar certo do objetivo a ser alcançado, que pode ser: (i) renovar o ar intergranular; (ii) eliminar focos de aquecimento; ou (iii) reduzir e, ou uniformizar a temperatura da massa de grãos.

A seca-aeração visa complementar a secagem de grãos. O processo consiste em: (1) retirar do secador grãos com 2 ou 3 pontos percentuais acima do teor de água recomendado para armazenagem; (2) deixar o produto em descanso por período de 4 a 8 horas; e (3) complementar a secagem com aplicação de ar ambiente.

E a refrigeração consiste aplicação de um fluxo de ar com temperatura entre 15 a 20 °C, com o objetivo de reduzir as temperaturas do produto e do ambiente da armazenagem.

Portanto, para condução dessas operações faz-se necessário equipar a estrutura de armazenagem, silo ou graneleiro, com um sistema de movimentação de ar constituído de: (i) ventilador; (ii) circuitos elétricos de comando; (iii) dutos de alimentação; e (iv) dutos de distribuição.

2.1 Sistema de movimentação de ar

Os ventiladores são bombas que imprimem as pressões estática, dinâmica e total sobre o fluxo de ar. A pressão estática refere ao potencial de colocar a massa de ar em movimento. Essa pressão deve ter magnitude para vencer as resistências imposta ao fluxo de ar, tais como: altura da camada de grãos, tipos tubulações, conexões e chapas perfuradas. Devido a essas características, a pressão estática é também denominada *queda de pressão* ou *perda de carga*.

Para medir a pressão estática basta instalar uma tomada de pressão junto à parede da tubulação e conectar o manômetro, Figura 1. Nos locais onde ocorre sucção o valor da pressão estática é negativo e nos de insuflação positivo.

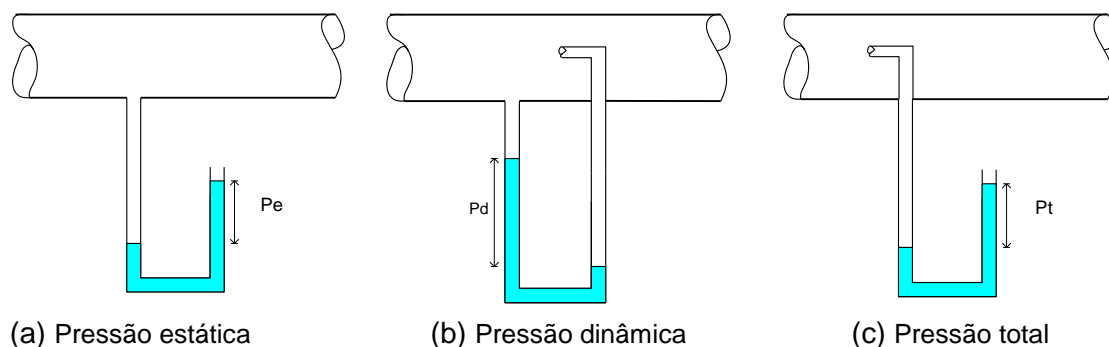


Figura 1 – Formas de medida de pressão em um fluxo de ar.

Dentro do manômetro é colocada água. Assim, ao medir a altura da coluna de água (P_e , Figura 1 - a) é determinada a pressão estática. Na área de armazenagem, normalmente, os valores de pressão são expressos em milímetros de coluna de água (mm c.a.) ou centímetros de coluna de água (cm c. a.).

A pressão dinâmica está associada a velocidade da massa de ar. Assim, quanto maior é a pressão dinâmica maior será a velocidade do ar.

E a pressão total (P_t) corresponde à soma das pressões estática e dinâmica. Se não ocorrerem perdas no sistema de movimentação de ar, o valor da pressão total é constante por todo circuito, conforme representado na Figura 2.

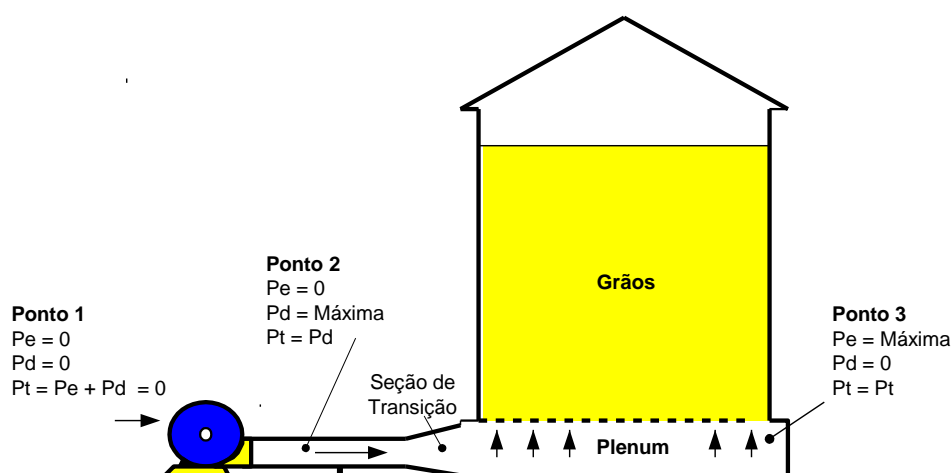


Figura 2 – Variação das pressões em um sistema de movimentação de ar.

As pressões estática (P_e) e dinâmica (P_d) alteram de valor. Por exemplo, conforme a Figura 2, no ponto 2, logo após o ventilador, o valor de pressão dinâmica é máxima. À

medida que o fluxo de ar passa pela seção de transição, a velocidade do ar diminui. Isso ocorre porque a pressão dinâmica está sendo transformada em pressão estática. Pois, no “plenum” o desejado é ter o valor máximo de pressão estática. Isso garante a distribuição uniforme do fluxo de ar por toda a seção do silo.

Portanto, na seleção de ventiladores é primordial considerar: (1) as resistências impostas ao fluxo de ar; e (2) a vazão de ar necessária, que é definida segundo aos fluxos de ar indicados na Tabela 1.

Os circuitos elétricos de comando dos ventiladores são constituídos de chaves acionadoras, elementos de proteção e cabos elétricos. Mas em instalações mais sofisticadas, o circuito elétrico pode apresentar acoplado a um sistema automatizado que monitora a temperatura do produto e as condições psicrométricas do ar ambiente, para proceder ao acionamento.

Tabela 1 – Indicação de fluxos ar segundo o tipo operação e instalação

Tipo de instalação	Fluxo de ar	
	$m^3/\text{min. m}^2$	$L / \text{min. m}^3$
Graneleiros fundo plano	0,1 a 0,2	100 a 200
Silos	0,03 a 0,1	30 a 100
Silos-pulmão	0,3 a 0,6	300 a 600
Seca-aeração	0,5 a 1,0	500 a 1.000
Resfriamento	maior que 0,12	Maior que 120

Os dutos de alimentação são os que conectam os ventiladores aos dutos de distribuição. Esses são dimensionados considerando as vazões a serem aplicadas e as velocidades do ar pelos dutos.

Os dutos de distribuição são recobertos por chapa perfurada e destinam a aplicação do ar pela massa de produto. A depender da vazão de ar a ser aplicada, esses dutos podem apresentar sob diferentes configurações conforme a Figura 3.

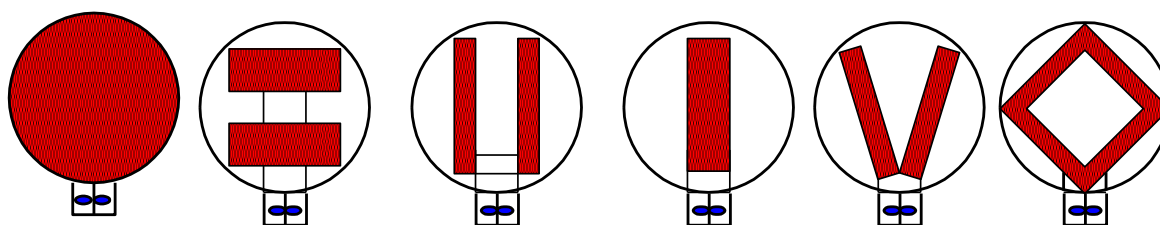


Figura 3 – Possíveis configurações dos dutos de distribuição de ar em silos.

Conforme discutido, o sistema de movimentação de ar pode ser empregado para a realização de operações como: (a) aeração de produtos úmidos em silos-pulmões; (b) seca-aeração; (c) aeração de produtos armazenados; e (d) refrigeração de produtos

armazenados. No entanto, para serem realizadas essas operações há de ser empregados os fluxos de ar apropriados conforme citado na Tabela 1. Consequentemente, as dimensões dos dutos de alimentação e distribuição, e as características técnicas do ventilador diferem para cada situação.

3. Refrigeração de grãos e leguminosas

A refrigeração, ou o mesmo que resfriamento, de grãos e leguminosas é empregada para preservar a qualidade do produto e inviabilizar o desenvolvimento de insetos e fungos.

Dentre os benefícios, o mais relevante é o retardo da proliferação de insetos reduzindo o uso de inseticidas.

Muitas espécies de insetos dos produtos armazenados requerem temperaturas ótimas de desenvolvimento entre 27 e 35 °C. E em temperaturas inferiores a 20 °C o desenvolvimento é drasticamente afetado.

Conforme, dados da Tabela 2, temperaturas entre 17 a 22 °C estendem o ciclo de desenvolvimento dos insetos em mais de 100 dias, o que normalmente tem duração média de 25 dias. Além disso, baixas temperaturas reduzem as taxas de oviposição e fecundidade dos insetos. Consequentemente, menores são os danos causados aos produtos.

Tabela 2 – Temperatura ótima para o desenvolvimento de insetos e temperatura que retarda o desenvolvimento em mais de 100 dias

Espécie de inseto	Temperatura a ótima (°C)	Temperatura que retarda o ciclo de desenvolvimento em mais de 100 dias (°C)
<i>Oryzaephilus surinamensis</i> (L.)	34	19
<i>Sitophilus granarius</i> (L.)	28-30	19
<i>Cryptolestes ferrugineus</i> (Steph.)	36	17
<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst.)	36	20
<i>Tribolium confusum</i> J. du V.	33	22
<i>Trogoderma granarium</i> Everts.	38	21
<i>Sitophilus oryzae</i> (L.)	29-31	22
<i>Rhyzopertha dominica</i> (F.)	34	18
<i>Cryptolestes pusillus</i> (Schonherr)	32	19

Fonte: Department of Food Science - Institute for Technology and Storage of Agricultural Products (2007)

Quanto aos fungos, normalmente, a temperatura ótima de desenvolvimento encontra-se entre 25 e 35 °C e umidade relativa do ar entre 65 a 85%. No geral, somente temperaturas entre 0 a 10 °C suprime o desenvolvimento dos fungos do armazenamento.

Ao ser considerada a armazenagem em nível comercial, o fator que mais limita o desenvolvimento dos fungos é a umidade relativa do ar intergranular, sendo recomendados

valores abaixo de 60%. Situação que corresponde a teores de água dos produtos abaixo de 14%.

Como a umidade relativa do ar intergranular é regida pelo teor de água da massa de produto, a operação recomendada é a secagem. Ao secar produtos agrícolas a teores de água abaixo de 14%, geralmente, é bloqueado o desenvolvimento de fungos. Pois, a umidade relativa do ar intergranular é estabilizada em valores inferior a 60%. Isto faz estabelecer níveis de atividade água menores que 0,60, o que inviabiliza o desenvolvimento de fungos e bactérias.

Para refrigeração, empresas brasileiras comercializam e locam os geradores de frio montados sob-rodas, Figura 4. Estes são facilmente acoplados aos sistemas de movimentação de ar instalados em silos e graneleiros. O ar ambiente ao passar pelo gerador de frio tem a temperatura condicionada a valores próximos de 15 °C e a umidade relativa ao redor de 75%.

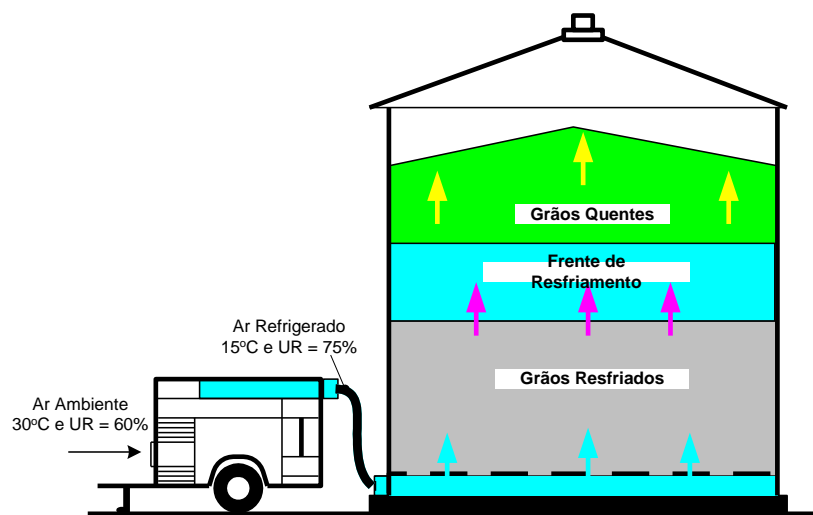


Figura 4 – Representação esquemática da insuflação de ar refrigerado em silos.

3.1. Gerador de frio

O gerador de frio basicamente apresenta a configuração esquematizada na Figura 5, e possui os seguintes elementos: evaporador, compressor, condensador, depósito e válvula de expansão. Por esses elementos circula a substância refrigerante que pode ser: dióxido de enxofre, dióxido de carbono, cloreto de metila, amônia, cloreto de metila, hidrocarbonetos fluorados (Freon 11, Freon 12, Freon 13, Freon 21, Freon 22 e Freon 113) ou nitrogênio.

As funções dos elementos do gerador de frio são:

Evaporador – constitui em um arranjo de tubos de pequeno calibre disposto na forma de serpentina em que externamente passa o ar a ser insuflado na massa de produto. E internamente circula a substância refrigerante, que ao entrar no evaporador apresenta em estado líquido, baixa pressão e baixa temperatura. À medida que recebe o calor do ar, a substância refrigerante aquece e toma o estado gasoso, enquanto o ar insuflado resfria. Em seguida, a substância refrigerante é succionada pelo compressor.

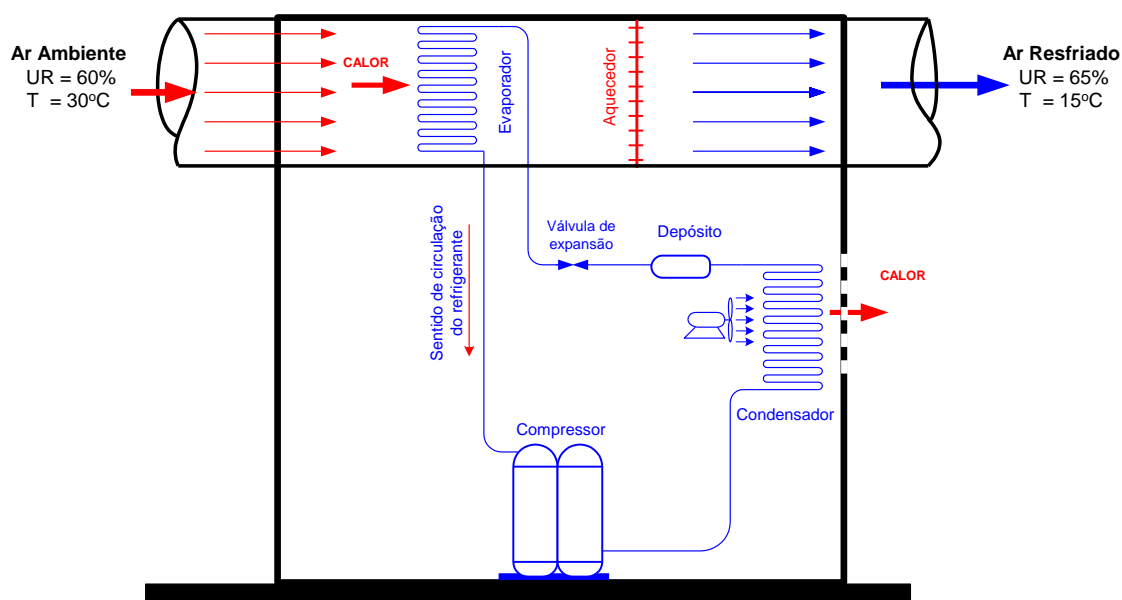


Figura 5 – Esquema básico do sistema de geração de frio.

Compressor - tem por finalidade aumentar a pressão sobre a substância refrigerante. Os compressores podem ser verticais ou horizontais. Internamente, estes possuem pistões construídos em bronze ou aço. O acionamento dos pistões normalmente é feito por motor elétrico acoplado por meio polias e correias. Ao sair do compressor a substância refrigerante apresenta com alta pressão e em estado gasoso.

Condensador – nesta parte do circuito a substância refrigerante pressurizada e em estado gasoso, perde calor para o meio externo, reduz a temperatura e toma o estado líquido. E em seguida é armazenada no depósito.

Válvula de expansão – regula a vazão da substância refrigerante em estado líquido a ser conduzida ao evaporador. Fechando assim o circuito de geração de frio.

Desde modo, quanto menor for à temperatura do ar, ou maior for o fluxo de ar; maior será a necessidade de circulação da substância refrigerante, conseqüentemente, maior será o consumo de energia elétrica para acionar o compressor e o ventilador do condensador.

3.2. Condução da operação de refrigeração

De modo geral, segundo recomendações de pesquisadores, para o emprego da técnica de refrigeração devem ser ponderados os seguintes pontos:

Primeiro: A massa de grãos deve estar limpa. A remoção de impurezas facilita a passagem do fluxo de ar resfriado pela massa de produto, o que fisicamente melhora a troca de calor entre o produto e ar resfriado. Além disso, é tido o benefício de ser eliminados substratos para o desenvolvimento de fungos, insetos e ácaros.

Segundo: grãos com teor de água entre 12,5 a 14,0% podem ser resfriados para desacelerar o desenvolvimento de insetos e preservar a qualidade do produto. Nesse caso, o sistema de aeração deve possibilitar a aplicação de no mínimo 2 litros de ar/segundo/tonelada de produto (0,12 m³ de ar/min/tonelada de produto).

Terceiro: grãos com teores de umidade entre 14% a 16% podem ser refrigerados. Porém, será observado danos causados por fungos ou insetos. Caso o produto seja destinado à comercialização, é recomendado proceder à secagem antes da aplicação do resfriamento.

Quarto: Grãos com teores de umidade acima de 16% necessitam ser secos antes da refrigeração.

Quanto à temperatura que a massa de grãos atingirá ao final da refrigeração dependerá dentre outros parâmetros: (a) da temperatura e umidade relativa do ar insuflado; e (b) do teor de água e temperatura inicial do produto. Vide a Tabela 2.

De acordo com os dados da Tabela 2, pode ser concluído:

- Para uma mesma temperatura e umidade relativa do ar, tem-se que produtos mais úmidos atingirão menores temperaturas. Por exemplo, o resfriamento de grãos com 14% de teor de água resulta em temperaturas da massa de produto de 4 a 5 °C inferior as observadas para grãos com 10% de teor de água; e

- Para uma mesma temperatura do ar e teor de água do produto, tem-se que quanto menor a umidade relativa do ar, menor será a temperatura atingida pelo produto. Por exemplo, ao ser insuflado ar resfriado com umidade relativa de 30%, são obtidas temperaturas da massa de grãos de 3 a 5 °C inferior as observadas para o ar com umidade relativa de 60%.

Em conformidade com essas conclusões e de acordo com os valores de teor de umidade de equilíbrio para milho e trigo é recomendado que o ar resfriado tenha temperatura entre 14 a 20 °C e umidade relativa entre 60 a 75%. Enquanto, para soja recomenda-se temperatura entre 12 a 20 °C e umidade relativa entre 70 a 75%.

Tabela 2 – Temperaturas atingidas pela da massa de grãos de trigo em função da temperatura e umidade relativa do ar insuflado, teor de água do produto e temperatura inicial da massa de grãos de 30°C

Condições do Ar Insuflado		Temperaturas em °C da massa de grão para os teores de umidade			
Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	10 %	12 %	14 %	16 %
10	30	10,5	7,5	5,5	5,0
	45	12,0	9,5	7,5	6,5
	60	14,0	11,0	9,0	8,0
	75	16,0	12,5	10,5	9,5
15	30	15,0	12,0	10,0	9,0
	45	17,5	14,0	12,0	11,0
	60	20,0	16,0	13,5	12,5
	75	22,0	18,0	15,5	14,5
20	30	20,0	16,0	13,5	12,5
	45	22,5	18,5	16,5	15,5
	60	25,0	21,0	18,5	17,5
	75	27,5	23,0	21,0	19,5
25	30	24,0	20,0	17,5	16,5
	45	27,0	23,0	20,5	19,5
	60	30,0	25,5	23,5	22,0
	75	32,5	28,0	25,5	24,0
30	30	28,0	24,0	22,0	20,0
	45	31,5	27,0	25,0	23,5
	60	34,5	30,5	28,0	26,5
	75	37,5	33,0	30,5	29,0
35	30	32,5	28,0	25,5	24,0
	45	36,0	31,5	29,0	27,5
	60	39,5	35,0	32,5	31,0
	75	43,5	39,0	36,5	35,0

Fonte: Department of Primary Industries and Fisheries, State of Queensland - Austrália (2003)

Obs.: Para as condições em que a temperatura final da massa de grãos é maior que a temperatura do ar insuflado é indicativo do aumento da taxa respiração dos grãos e, ou infestação de fungos.

Em razão dos valores de umidade relativa indicados, pode ocorrer que os geradores de frio venham equipados com sistemas de aquecimento instalados após o evaporador, Figura 5. Isso para condicionar o valor da umidade relativa do ar insuflado. Pois, a depender das condições psicrométricas do ar ambiente, este ao ser resfriado atinge temperaturas abaixo da temperatura do ponto de orvalho. Conseqüentemente, tem-se umidade relativa igual a 100% e quantidade de vapor de água reduzida. Portanto, pelo fato do ar estar com menor quantidade de vapor ao ser ligeiramente aquecimento (temperatura de 15 °C) ter-se-á a umidade relativa ajustada a valores inferiores a 75%.

4. Considerações Finais

É importante ressaltar que o principal benefício da refrigeração de produtos armazenados é o controle de insetos. Chegando, em alguns casos dispensar o emprego de inseticidas. O que aprimora aspectos de segurança alimentar e reduz impactos ambientais.

Para atualidade, o principal fator limitante ao emprego da refrigeração está no custo da energia elétrica necessária para o acionamento do gerador de frio e o ventilador que aplica o fluxo de ar. BROOKER et. al (1992) estimaram que para operação com duração de 100 a 150 h o consumo de energia elétrica varia de 3 a 6 kWh por tonelada de produto. Alternativas para redução desse custo podem ser pautadas nos seguintes pontos: (i) adotar sistema de tarifação de energia elétrica mais apropriada ao funcionamento da unidade armazenadora. Leia o artigo: [Energia Elétrica – Tarifação](#); (ii) certificar se o sistema de movimentação de ar permite aplicar o fluxo de ar adequado para promover a refrigeração; (iii) conduzir apropriadamente as operações de pré-limpeza, secagem e limpeza; e (iv) adotar o Manejo Integrado de Pragas (MIP) aplicado a unidades armazenadoras.

5. Referências

BROOKER, D. B., BAKKER ARKEMA, F. W., HALL, C. W. Drying and storage of grains and oilseeds. Van Nostrand Reinhold. New York: New York. 1992. 450 p.

DPI (Department of Primary Industries and Fisheries). Grain Storage Aeration for Cooling or Drying. (http://www.daff.qld.gov.au/26_6240.htm). State of Queensland: Australia. 2010

JONES, D. D.; GRISSE, R. D. Holding Wet Corn With Aeration. University of Nebraska. G87-862-A. (Revised July 1995).

LOEWER, O. J., BRIDGES, T. C., BUCKLIN, R. A. *On-farm drying and storage systems*. ASAE Publication 9, American Society of Agricultural Engineers. 1974.

PEREIRA, J. A. M. Aeração de grãos: Parte I – Fundamentos e manejo. CENTREINAR. Viçosa: MG. 2002.

PEREIRA, J. A. M., PEREIRA, A. L. R. M. Aeração de Grãos: Parte II – Movimentação de ar e dimensionamento de sistema. CENTREINAR. Viçosa: MG. 2002.

Department of Food Science. Aeration and cooling for control of stored grain insects. Institute for Technology and Storage of Agricultural Products. Israel Ministry of Agricultural and Rural Development. Acesso em 20.12.2007. Disponível em: <http://www.agri.gov.il/Envir/aeration/aeration.html>.

SILVA, L. C. Stochastic Simulation of the Dynamic Behavior of Grain Storage Facilities. Viçosa: UFV. (Tese Doutorado). 2002.