

## **Emprego da seca-aeração para soja armazenada a granel na região Centro-Oeste do Brasil**

### **Use of dryeration for soybean stored in bulk in the Central West region of Brazil**

DOI:10.34117/bjdv7n7-360

Recebimento dos originais: 14/06/2021

Aceitação para publicação: 14/07/2021

#### **Maxwel Rodrigues Nascimento**

Doutorando do curso de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF  
Avenida Alberto Lamego, 2.000 – Parque Califórnia – Campos dos Goytacazes – RJ  
E-mail: maxwel.rn88@gmail.com

#### **Paulo Ricardo dos Santos**

Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas – UENF  
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL  
Rua Godofredo Viana, 1.300 – Centro – Imperatriz – MA  
E-mail: prs\_ufal@hotmail.com

#### **Alexandre Gomes de Souza**

Doutorando do curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF  
Avenida Alberto Lamego, 2.000 – Parque Califórnia – Campos dos Goytacazes – RJ  
E-mail: alexandre.souza.agronomo@gmail.com

#### **Paulo Alberto Paixão dos Santos**

Bacharelado em Ciências Sociais  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Avenida Lourival de Melo Mota, S/N – Tabuleiro do Martins – Maceió – AL  
E-mail: paulopaixao08@hotmail.com

#### **Selton David Cavalcanti Sobral**

Bacharelado em Engenharia Agrônômica  
Universidade Federal do Cariri – UFCA – *campus* Crato  
Rua Icaro de Sousa Moreira, 126 – Muriti – Crato – CE  
E-mail: sobralcdc@gmail.com

#### **Gabriela Gonçalves Costa**

Bacharelada em Engenharia Agrônômica  
Universidade Federal do Cariri – UFCA – *campus* Crato  
Rua Icaro de Sousa Moreira, 126 – Muriti – Crato – CE  
E-mail: gabrielaby4@gmail.com

#### **Jacklinne Matta Corrêa**

Mestre em Desenvolvimento Regional – UNIFAP  
Instituto Federal do Amapá – IFAP – *campus* Laranjal do Jari

Avenida Nilo Peçanha, 1.263 – Cajari – Laranjal do Jari – AP  
E-mail: jacklinne.correa@ifap.edu.br

**João Henrique Araújo de Albuquerque**

Universidade Federal do Cariri – UFCA – *campus* Crato  
Rua Icaro de Sousa Moreira, 126 – Muriti – Crato – CE  
E-mail: joahalbu@gmail.com

**RESUMO**

Durante o período de colheita, os setores de recepção das unidades armazenadoras de grãos normalmente ficam sobrecarregados de grãos com lotação máxima das moegas e silos-pulmão à espera da etapa de secagem. Isso acarreta filas extensas de caminhões com produto úmido a espera de serem descarregados. Uma solução para diminuir esse problema é a adoção da operação de seca-aeração. Esta operação consiste em retirar dos secadores grãos de 1 a 3 pontos percentuais de teor de água acima do recomendável para armazenagem e transferir para um silo, onde permanece por um período de 4 a 12 horas de descanso. Em seguida, são acionados os ventiladores para insuflar o ar ambiente, sob condições psicrométricas ideais, por um período que varia de 10 a 20 horas, com a finalidade de resfriar e retirar o excesso de água da massa de grãos até que o teor de água atinja 13%. As principais vantagens da seca-aeração têm-se a redução do consumo das energias calorífica e elétrica, aumento do fluxo de processamento e redução dos danos térmicos causado pela secagem em altas temperaturas. A falta de mão de obra qualificada que detêm conhecimentos psicrométricos e de equilíbrio higroscópico dos grãos faz com que essa técnica seja pouco utilizada no país. Sendo assim, foi levantado dados meteorológicos dos principais municípios produtores de soja da região Centro-Oeste do Brasil com o objetivo de determinar a viabilidade técnica da seca-aeração determinando o médio de horas ideais por dia para essa operação por ocasião do período da colheita. Diante dos dados essa operação é viável para região.

**Palavras chaves:** *Glycine max* L., condição psicrométrica, equilíbrio higroscópico, teor de água, unidades armazenadoras de grãos.

**ABSTRACT** – During the harvest period, the reception sectors of the grain storage units are usually overloaded with grains with maximum capacity in the hoppers and lung silos waiting for the drying stage. This leads to long lines of trucks with wet product waiting to be unloaded. A solution to alleviate this problem is the adoption of the dryeration operation. This operation consists of removing grains from 1 to 3 percentage points of water content above the recommended for storage from the dryers and transferring them to a silo, where they remain for a period of 4 to 12 hours of rest. Then, the fans are activated to insufflate the ambient air, under ideal psychrometric conditions, for a period ranging from 10 to 20 hours, in order to cool and remove excess water from the grain mass until the water content reach 13%. The main advantages of dryeration are reduced consumption of heat and electrical energy, increased processing flow and reduced thermal damage caused by drying at high temperatures. The lack of qualified labor with knowledge of psychrometric and hygroscopic balance of grains makes this technique little used in the country. Therefore, meteorological data of the main soy producing municipalities in the Central West region of Brazil were collected in order to determine the technical feasibility of dryeration, determining the average ideal hours per day for this operation during the harvest period. Given the data, this operation is feasible for the region.

**keywords:** *Glycine max* L.; psychrometric condition; hygroscopic balance; water content; grain storage unit.

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é uma das oleaginosas mais produzidas e consumidas no mundo. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021), a soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas quatro décadas e corresponde a 61% da área plantada em grãos do país. O aumento da produtividade está associado aos avanços tecnológicos, ao manejo, capacitação e eficiência dos produtores. A soja junto com o milho são componentes essenciais na fabricação de rações animais e sendo crescente o seu uso na alimentação humana e também como componente do biodiesel.

Segundo a CONAB (2021), em 1970, menos de 5% da produção nacional de soja era colhida na região Centro-Oeste. Em 1980, esse percentual passou para 13%, em 1990 já era superior a 40% e em 2004 esteve próximo dos 60%, porém na safra de 2020 esta participação reduziu-se para cerca de 45%, mas com tendências a ocupar maior espaço a cada nova safra. Essa transformação promoveu o Estado do Mato Grosso, de produtor marginal à líder nacional de produção e de produtividade de soja, e na safra 2020/2021 alcançou a incrível marca de 36 milhões de toneladas, que corresponde a 60% da produção da região Centro-Oeste (CONAB, 2021).

A soja é utilizada para elaboração de rações animais, produção de óleos comestíveis, produção de biocombustíveis, fabricação de diversos produtos alimentícios e diversos outros produtos (SEDIYAMA et al., 2015). A indústria nacional transforma, por ano, cerca de 30,7 milhões de toneladas de soja, produzindo 5,8 milhões de toneladas de óleo comestível e 23,5 milhões de toneladas de farelo proteico, contribuindo para a competitividade nacional na produção de carnes, ovos e leite. Além disso, a soja e o farelo de soja brasileiro possuem alto teor proteico e padrão de qualidade internacional, o que permite sua entrada em mercados de extrema exigência como os da União Europeia e do Japão (MATTOS et al., 2015).

O Brasil é o maior produtor mundial de soja, estando a frente dos Estados Unidos da América que, até pouco tempo, liderava o ranking de produção da oleaginosa (FAO, 2021). Diante desse cenário, a produção nacional de soja na última safra foi a maior da história, 135,5 milhões de toneladas, desse total cerca de 61,4 milhões de toneladas foram

colhidos na região Centro-Oeste, que corresponde a 45% do montante nacional (CONAB, 2021).

A colheita constitui uma importante etapa do processo produtivo da soja, principalmente pelos riscos a que está sujeita a lavoura destinada ao consumo ou à produção de sementes. A colheita deve ser iniciada tão logo a soja atinja o estágio R8 (ponto de colheita), a fim de evitar perdas na qualidade do produto. Nestas condições, a soja está com o teor de água entre 13% e 15%. Sementes colhidas com teor de água superior a 15% estão sujeitas a maior incidência de danos mecânicos latentes e amassamento e, quando colhidas com teor abaixo de 12%, estão suscetíveis ao dano mecânico imediato, como quebras e trincas (SEDIYAMA et al., 2015).

A fim de preservar a qualidade fisiológica dos produtos armazenados bem como outros quesitos que compreendem os preceitos da segurança alimentar, a soja deve apresentar baixos níveis de micotoxinas tais como: aflatoxinas, ocratoxinas, zearalenona, fumonisinas e tricotecenos. E essas micotoxinas são metabolizadas pelos fungos do armazenamento, que desenvolvem no espaço intergranular, que corresponde ao espaço entre os grãos armazenados, quando os níveis de atividade aquosa são superiores a 0,60 (SILVA, 1995; DARBY, 2004).

Para manter o nível de atividade aquosa no espaço intergranular próximo a 0,60 a massa de grãos de soja deve ser armazenada com teor de água entre 13 a 14,5%. Porém o ambiente de armazenagem é dinâmico em que correntes de ar convectivas naturalmente circulam pelo espaço intergranular, isso pode promover a migração de umidade para diferentes partes da massa de grãos levando a perda de uniformização do teor de água e, ou aumento da temperatura da massa de grãos (WEBER, 2001).

O sistema de produção brasileiro apresenta elevados índices de perdas, causados por danos físicos durante a operação de colheita, transporte, secagem e armazenamento ou por agentes biológicos como insetos, roedores, microrganismos e pela própria respiração dos grãos. Atualmente, a qualidade dos grãos agrícolas tem-se tornado aspecto muito importante, tanto para comercialização interna quanto para exportação. Dos processos de pós-colheita, a secagem do produto é um fator determinante para a manutenção da qualidade dos grãos, além de ser a fase em que o consumo de energia calorífica é mais significativo (DEVILLA, et al., 1999).

Durante a secagem e armazenagem, o ar é utilizado como veículo para transferência de massa, ou seja, água na forma de vapor e calor. Isso pode ocorrer em várias operações tais como: secagem a alta temperatura, secagem a baixa temperatura,

aeração, seca-aeração, aeração em silos-pulmão e resfriamento. Para cada operação desta é necessário observar as condições psicométricas (temperatura e umidade relativa do ar) e a intensidade do fluxo do ar empregado (SILVA, 1995; WEBER, 2001). Segundo Elias (2008), especificamente na operação de seca-aeração, o fluxo de ar empregado nos ventiladores varia de 1 a 3 m<sup>3</sup> de ar.min<sup>-1</sup>.t<sup>-1</sup> sendo maior que outras operações tais como secagem, aeração e resfriamento.

A seca-aeração visa complementar a operação de secagem de grãos. Os grãos de soja saem dos secadores com teores de água 15 a 16%. Sem passarem pelo resfriamento, os grãos são transferidos ainda quentes (50 a 60°C) a um determinado silo e ficam em repouso por um período de quatro a oito horas, dependendo do volume da massa grãos armazenados. Em seguida a massa de grãos é submetida à aeração por um período que varia de 10 a 20 horas, dependendo do fluxo de ar empregado nos ventiladores. Após a aeração, o produto é armazenado com teor de água em torno de 13% e 1% de impurezas em silos ou graneleiros (ELIAS, 2008; ELIAS et al., 2018).

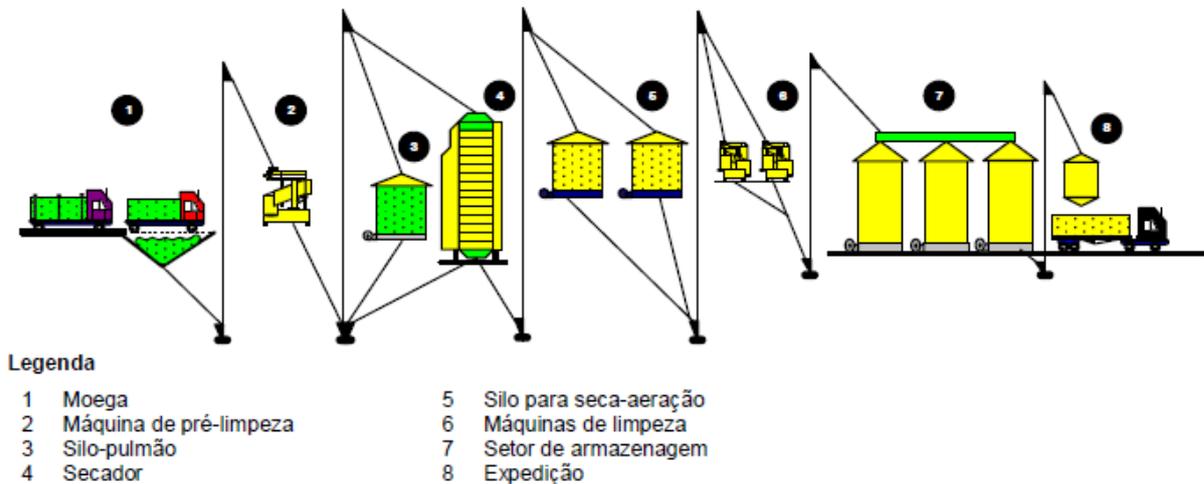
O objetivo desse trabalho foi realizar o levantamento dos dados meteorológicos dos principais municípios produtores de soja da região Centro-Oeste do Brasil com o intuito de determinar a viabilidade técnica da seca-aeração determinando o médio de horas ideias por dia para essa operação por ocasião do período da colheita e representá-los em forma de mapa temático georreferenciado.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 ESTRUTURA DE UMA UNIDADE ARMAZENADORA DE GRÃOS – UA**

Na cadeia produtiva de grãos, as unidades armazenadoras devem ser projetadas e estruturadas adequadamente a fim de gerenciar as operações de recepção, limpeza, secagem, armazenagem e expedição dos grãos, conforme ilustrado na Figura 1 (SILVA, 2010).

Figura 1. Fluxograma básico da lógica operacional de uma unidade armazenadora de grãos.

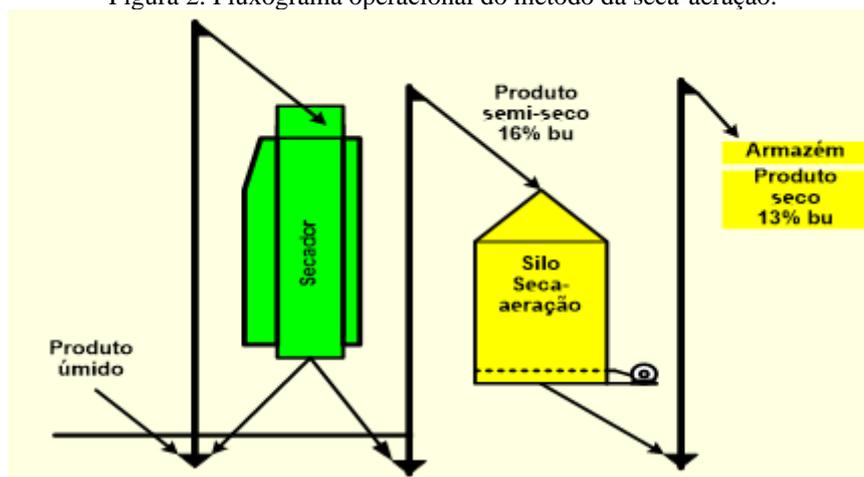


As moegas são estruturas empregadas para recepção de produto a granel. No projeto de moegas as faces internas devem possuir um ângulo de inclinação superior a 40°. Desse modo, mesmo a massa de grãos apresentando altos teores de água e impurezas não ficará retida em razão do maior ângulo de repouso que ocorre para essa situação (WEBER, 2001; SILVA, 2010).

O silo-pulmão tem por finalidade a armazenagem temporária do produto úmido. Isso ocorre quando o fluxo horário do setor de secagem não está sendo suficiente para processar todo produto oriundo das moegas. Isso faz ocorrer o aumento da extensão das filas de caminhões carregados, o que gera gargalos e pode afetar a qualidade do produto por viabilizar a proliferação de fungos (WEBER, 2001; SILVA, 2010).

Na Figura 2 abaixo representa o fluxograma operacional do método da seca-aeração que compreende desde a recepção do produto ainda quente (50 a 60°C) oriundo dos secadores até o armazenamento em silos ou graneleiros com teor de água de 13% e 1% de impurezas.

Figura 2. Fluxograma operacional do método da seca-aeração.



Os grãos podem ser armazenados em armazéns graneleiros ou em silos: metálicos, alvenaria ou concreto. Por fim, o sistema de expedição consiste em um depósito elevado abaixo do qual é estacionado para carregamento caminhões ou vagões ferroviários. Essa estrutura pode ser construída em concreto ou metal, ou ainda podem-se empregar silos metálicos (WEBER, 2001; SILVA, 2010).

## 2.2 SECA-AERAÇÃO

O mecanismo da seca-aeração baseia-se no aproveitamento do calor transferido aos grãos na etapa inicial em secador de coluna. Durante o período de repouso, com a energia interna elevada nos grãos ocorre a redistribuição e difusão de água das camadas mais internas dos grãos para as camadas mais externas e também a eliminação do gradiente de umidade que os grãos tinham quando saíram do secador de coluna (NEVES et al., 1983; BROOKER, 1992).

Segundo Devilla (1998), grandes quantidades de grãos colhidos num curto intervalo de tempo, com elevados teores de umidade, exigem maior desempenho no emprego de secagem artificial e agilidade no fluxo operacional, para reduzir os danos ocasionados pela atividade metabólica dos grãos no aguardo para a secagem.

A seca-aeração utiliza um secador de fluxo contínuo e manejo térmico adaptado, em que a câmara recebe ar quente, passando o secador ter duas ou mais câmaras de secagem, onde os grãos saem ainda quentes e parcialmente secos. Em seguida é levado a um silo-secador onde permanece em repouso por um determinado tempo (MILMAM, 2002).

Segundo Elias (2008), nesse método os grãos passam inicialmente por uma secagem preliminar convencional, quando perdem parte da água, sofrendo uma secagem

parcial. Esta etapa de secagem convencional é seguida por uma etapa de secagem estacionária, com ar sem aquecimento, após um período de repouso, finalizando a secagem até atingir 13% de teor de água.

De acordo com Silva (1995) e Weber (2001), a seca-aeração visa além de complementar a operação de secagem dos grãos, aumenta a capacidade de secagem e reduz gastos com energia elétrica e calorífica. O processo consiste em retirar do secador, grãos com 14 a 16% de teor de água com 50 a 60° C. Sem ser submetido ao resfriamento, o produto é encaminhado ao local de armazenagem, onde passa por um período de repouso de 4 a 8 horas. E por fim, é submetido à aeração, sendo recomendado um fluxo de ar de 1 a 3 m<sup>3</sup> de ar.min<sup>-1</sup>.t<sup>-1</sup> de produto por um período de 10 a 12 horas.

A seca-aeração comparado com os métodos de secagem convencionais, utiliza o próprio calor armazenado nas sementes para promover a migração de umidade, reduzindo o tempo de secagem com fonte de calor externo. Com isso é possível reduzir de 15 a 30 % o consumo de energia, aumentando acima de 50 % a capacidade do secador e proporcionando grãos menos susceptíveis à quebra, redução dos danos térmicos causados pela secagem em altas temperaturas e preservando a qualidade final do produto a ser armazenado (BROOKER et al. 1978; DALPASQUALE et al., 1987; SAUER, 1992).

Segundo Weber (2001), as unidades armazenadoras de grãos a granel que apresentam o sistema de secagem e seca-aeração apresentam dois secadores de fluxo mistos com capacidade que varia de 40 a 100 t.h<sup>-1</sup> e dois silos com capacidade estática máxima de 600 toneladas. Enquanto que um silo ocorre a aeração, o outro silo é abastecido com grãos e vice e versa.

De acordo com Devilla et al. (1999), quanto maior a temperatura de secagem e o tempo de repouso da massa de grãos, maior será a redução de teor de água dos grãos. A diminuição da temperatura de secagem e o aumento do tempo de repouso, resultam em grãos com menor susceptibilidade à quebra.

Segundo Silva (2012), as vantagens no emprego da seca aeração são várias: I – melhora a eficiência energética de secagem entre 25 a 40%; II – aproveita silos usados no resfriamento como silos para armazenagem; III – remove mais umidade porque a temperatura inicial dos grãos é elevada (50 a 60°C) – elevada quantidade de calor sensível armazenada no produto; IV – em épocas com elevada umidade relativa do ar é possível a realização da seca-aeração, pois a energia do processo de secagem vem do calor sensível armazenado na massa de grãos.

### 2.3 SECAGEM

A operação de secagem consiste na retirada da umidade 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. O processo de secagem requer que a pressão de vapor sobre a superfície do produto seja maior do que a pressão do vapor d'água no ar de secagem (AFONSO, et al., 2000).

Segundo Silva (2012), a redução da umidade tem por objetivo aumentar a conservação do produto por um longo período, isso por que: I – inviabiliza o desenvolvimento fungos e bactérias; II – reduz a taxa de respiração dos grãos; III – bloqueia a ocorrência de reações enzimáticas e químicas que resultam na autodegeneração dos grãos armazenados.

A secagem de produtos agrícolas pode ser realizada de duas formas: natural e artificial. A secagem natural é o método que utiliza a radiação solar. No Brasil esta modalidade tem sido empregada na secagem de milho e feijão por pequenos agricultores; café em terreiros e cacau em barcaças. As principais desvantagens dessa modalidade são a dependência das condições climáticas e o maior período de secagem, mas, em contrapartida, a principal vantagem é o fato de propiciar menor ocorrência de grãos trincados e/ou quebrados. A secagem artificial consiste no emprego de secadores para acelerar tal processo até que a massa de grãos atinja o equilíbrio higroscópico para serem armazenados. De acordo com Silva (1995) e Weber (2001), os secadores em nível comercial apresentam diferentes configurações e contêm os seguintes acessórios: I – sistema de aquecimento do ar (fornalhas a gás ou a lenha); II – sistema de movimentação do ar (ventiladores); III – sistema de movimentação de grãos (elevadores de caçambas, transportadores helicoidais e fitas transportadoras).

### 2.4 SECADORES

De acordo com Weber (2001) e Silva (2012), os secadores empregados para secagem a altas temperaturas são classificados quanto: I – sentidos de deslocamentos dos fluxos de grãos e do ar de secagem e II – funcionamento. Quanto aos sentidos dos fluxos de ar de secagem e dos grãos, os secadores são de: I – fluxo contracorrentes: tanto o ar de secagem quanto a massa de grãos fluem no mesmo sentido dentro dos secadores; II – fluxos concorrentes: a massa de grãos e o ar de secagem movimentam-se em sentidos contrários dentro dos secadores; III – fluxos cruzados: os fluxos de ar de secagem e a massa de grãos cruzam-se sob um ângulo de 90° na câmara de secagem; IV – leito fixo:

as camadas de grãos permanecem estáticas durante a secagem, sendo revolvidas a cada três horas; V – fluxos mistos.

Segundo Silva (2012) os secadores de fluxos mistos caracterizam-se por possuir uma torre de secagem que é montada pela superposição vertical de caixas de dutos. Cada caixa de duto corresponde a uma estrutura formada pela disposição de dutos na parte horizontal. Na disposição lateral das caixas de dutos, tem-se uma fileira de dutos abertos e uma fileira de dutos fechados, conforme ilustrado na Figura 3, em que o ar de secagem entra em paralelo a essas fileiras e sai em outras imediatamente adjacentes localizadas nas posições superiores ou inferiores. É o modelo de secador mais empregado nas unidades armazenadoras do Brasil.

Figura 3. Fileiras de caixa de dutos do secador de fluxos mistos.



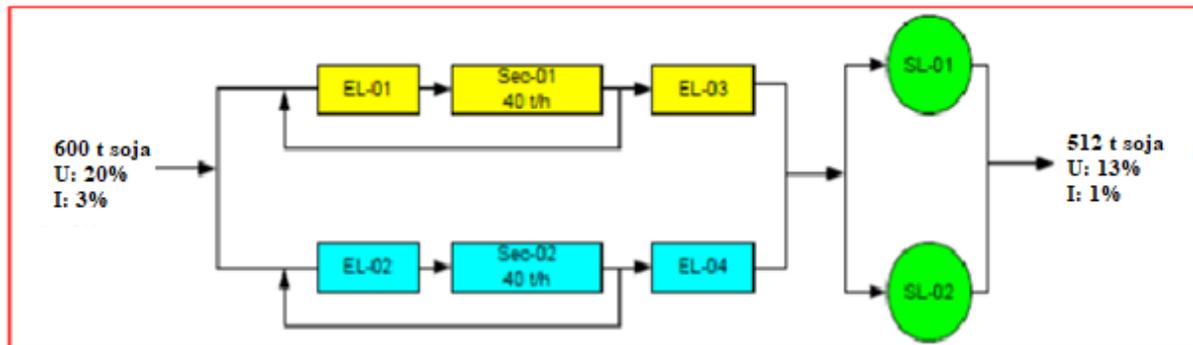
De acordo com Weber (2001) e Silva (2012), quanto ao funcionamento os secadores são classificados em contínuos e intermitentes. Nos secadores contínuos, o produto passa uma única vez pelo secador até atingir o teor de água recomendado para armazenagem. Enquanto os secadores intermitentes, o produto necessita de recircular várias vezes pelo secador até atingir o teor de água recomendado.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi traçado um cenário de recebimento e processamento de grãos conforme representado na Figura 4. Nesta linha, recebe-se um fluxo diário de 600 toneladas de soja, correspondente a 15 rodotrens com PBTC (Peso Bruto Total Combinado) de 74 toneladas, com dois secadores de fluxos mistos com capacidade de secagem de  $40 \text{ t.h}^{-1}$  e dois silos para seca-aeração de 600 toneladas cada. Assim podemos definir para um determinado dia, por exemplo, a massa de grãos proveniente dos secadores apresenta de 14 a 16% de teor de umidade e é direcionada para o silo SL-01. Pelo fluxo estabelecido esse silo completará a carga por volta das 20:00 horas. Das 20:00 às 07:00 do dia seguinte, a massa de grãos permanecerá em descanso. Após este tempo, serão acionados os ventiladores do

silos, com fluxo de ar de  $1 \text{ m}^3 \text{ de ar} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$  de produto, para o complemento da seca-aeração durante 10 horas. Sendo assim, por volta das 17:00 horas iniciará a descarga do silo seca-aeração, e o produto resfriado e seco, que apresenta 13% de teor de água e 1% de teor de impurezas, será armazenado em silos ou graneleiros. Por fim, este produto será expedido em vagões ferroviários ou em caçambas de caminhões.

Figura 4. Fluxograma da operação de seca-aeração.



**Legenda**

EL - Elevador de caçamba  
 Sec - Secador de fluxos mistos  
 SL - Silo para seca-aeração  
 U - Umidade relativa do ar  
 I - impureza

Para o período de operação dos ventiladores axiais do silo SL-01, a quantidade de produto que está sendo descarregadas dos secadores será conduzida para o silo SL-02, no qual serão executados os mesmos procedimentos descritos acima para o silo SL-01. Desse modo, para o fluxo proposto, necessita-se de dois silos para seca-aeração, pois para cada dia de operação um dos silos deverá estar disponível para ser carregado, enquanto no outro estará sendo feito o resfriamento e remoção de água da carga de produto recebida no dia anterior.

Considerando as dimensões dos silos de seca-aeração e as condições psicrométricas do ar ambiente para condução da seca-aeração será empregado o modelo de Thompson (BAKKER ARKEMA, 1999), para simular as quantidades de horas necessárias para o resfriamento e remoção de água do produto acondicionados nos silos de seca-aeração. De posse desses quantitativos de horas, e do banco de dados climatológicos dos municípios produtores de soja da região Centro-Oeste, será avaliado para cada município se há número de horas.dia<sup>-1</sup> suficientes para condução da seca-aeração nos períodos de colheita.

Utilizando informações disponibilizadas no sítio Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referentes à Produção Agrícola Municipal (PAM), foram levantados dados da produção de soja de 41 municípios brasileiros, distribuídos na região Centro-Oeste. Os municípios foram selecionados por destacarem como os maiores produtores de soja.

Para os municípios selecionados, foram levantados no banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), dados horários de temperatura do ar – °C (máxima, mínima e instantânea); umidade relativa do ar – % (máxima, mínima e instantânea) e precipitação – mm, referentes ao período de 01/01/2012 a 01/05/2012, perfazendo um total de 121 dias.

Os dados meteorológicos foram tabulados empregando planilha eletrônica Microsoft Office Excel®. Com isso, foi elaborado um banco de dados, em que para cada município são disponibilizadas 2.928 leituras das sete variáveis acima referidas, o que totaliza em 120.048 dados.

Para o cálculo das horas ideais para a seca-aeração nos 41 municípios, foi desenvolvido um aplicativo (Macro) no ambiente da Microsoft Office Excel®. Por meio deste aplicativo foram feitas varreduras no banco de dados por município com a finalidade de calcular o somatório das horas correspondentes a condições psicrométricas dos intervalos de temperatura e umidade relativa do ar apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Intervalos de temperatura (inferior e superior) e umidade relativa (inferior e superior) ideais para equilíbrio higroscópico do grão de soja armazenado.

| Temperatura média do ar (°C) |                 | Umidade Relativa do ar (%) |                 |
|------------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|
| Limite inferior              | Limite superior | Limite inferior            | Limite superior |
| 8                            | 12              | 60                         | 65              |
| 8                            | 12              | 65                         | 75              |
| 10                           | 14              | 65                         | 75              |
| 10                           | 14              | 70                         | 75              |
| 12                           | 16              | 65                         | 75              |
| 12                           | 16              | 70                         | 75              |
| 14                           | 18              | 70                         | 75              |
| 16                           | 20              | 70                         | 75              |
| 18                           | 22              | 70                         | 75              |
| 20                           | 24              | 70                         | 75              |
| 22                           | 26              | 70                         | 75              |
| 24                           | 28              | 70                         | 80              |
| 26                           | 30              | 70                         | 80              |
| 30                           | 34              | 70                         | 80              |

Os intervalos da Tabela 1 foram definidos segundo as condições psicrométricas associadas ao estágio de equilíbrio higroscópico da soja para os teores de águas dos grãos entre 13,0 a 14,5%.

Os dados relativos ao número de horas ideais para condução de seca-aeração foram confeccionados em forma de mapa temático georreferenciado empregando o componente ARCMAP 10.1 do software ArcGIS 10.1 elaborado pela empresa ERSI (sítio: <http://www.ersi.com>). Para o emprego do aplicativo foi elaborada uma planilha eletrônica com informações dos 41 municípios no que se refere à latitude, longitude, altitude e média de horas por dia apropriadas à condução da operação de seca-aeração. Através do software foi feito a interpolação linear dos dados da planilha para elaboração dos mapas de acordo com dados geodésicos WGS84 (World Geodetic System 1984).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados apurados na Tabela 2, o município de Cristalina (GO) foi que apresentou a maior média de horas ideais por dia para condução da seca-aeração, 12.99 horas.dia<sup>-1</sup>, enquanto a cidade de Comodoro (MT) apenas 6.60 horas.dia<sup>-1</sup>.

Tabela 2. Média de horas ideias por dia para condução da operação de seca-aeração de soja armazenada a granel na região Centro-Oeste do Brasil.

| Municípios      | UF | Latitude  | Longitude | Altitude | Horas Totais | Observação (Linhas de Dados) | Média (h.dia <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|----|-----------|-----------|----------|--------------|------------------------------|------------------------------|
| Cristalina      | GO | 16,7881 S | 47,6117 O | 1003     | 1572         | 2904                         | 12,99                        |
| Sidrolândia     | MS | 20,9817 S | 54,9719 O | 464      | 1456         | 2903                         | 12,03                        |
| Brasília        | DF | 15,7894 S | 47,9256 O | 1159     | 1444         | 2903                         | 11,93                        |
| Cuiabá          | MT | 15,5594 S | 56,0628 O | 240      | 1408         | 2902                         | 11,64                        |
| Dourados        | MS | 22,1939 S | 54,9114 O | 469      | 1331         | 2904                         | 11,00                        |
| Itaquiraí       | MS | 23,4494 S | 54,1817 O | 336      | 1305         | 2895                         | 10,79                        |
| Catalão         | GO | 18,1578 S | 47,9264 O | 890      | 1235         | 2900                         | 10,21                        |
| Niquelândia     | GO | 14,4666 S | 48,4500 O | 583      | 1215         | 2827                         | 10,04                        |
| Luziânia        | GO | 16,2634 S | 47,9665 O | 958      | 1200         | 2902                         | 9,92                         |
| Chapadão do Sul | MS | 18,8022 S | 52,6028 O | 818      | 1170         | 2904                         | 9,67                         |
| Campo Grande    | MS | 20,4500 S | 54,6166 O | 530      | 1149         | 2904                         | 9,50                         |
| Ponta Porã      | MS | 22,5333 S | 55,5333 O | 650      | 1129         | 2719                         | 9,33                         |
| Paraúna         | GO | 16,9625 S | 50,4253 O | 678      | 1112         | 2427                         | 9,19                         |
| Campo Verde     | MT | 15,3139 S | 55,0808 O | 749      | 1090         | 2904                         | 9,01                         |
| Rondonópolis    | MT | 16,4500 S | 54,5666 O | 284      | 1087         | 2904                         | 8,98                         |
| Guiratinga      | MT | 16,3417 S | 53,7661 O | 526      | 1083         | 2904                         | 8,95                         |
| Sorriso         | MT | 12,5452 S | 55,7113 O | 380      | 1083         | 2852                         | 8,95                         |
| Cassilândia     | MS | 19,1225 S | 51,7208 O | 516      | 1067         | 2904                         | 8,82                         |
| Itumbiara       | GO | 18,4097 S | 49,1919 O | 488      | 1044         | 2903                         | 8,63                         |
| Alto Taquari    | MT | 17,8411 S | 53,2894 O | 859      | 1040         | 2903                         | 8,60                         |
| Nova Ubiratã    | MT | 13,4111 S | 54,7522 O | 518      | 998          | 2904                         | 8,25                         |
| Rio Verde       | GO | 17,7856 S | 50,9647 O | 782      | 998          | 2900                         | 8,25                         |
| Silvânia        | GO | 16,6769 S | 48,6181 O | 949      | 991          | 2904                         | 8,19                         |
| Pires do Rio    | GO | 17,3075 S | 48,2831 O | 752      | 959          | 2902                         | 7,93                         |
| Juina           | MT | 11,3750 S | 58,7750 O | 374      | 956          | 2904                         | 7,90                         |

|                       |    |           |           |     |     |      |      |
|-----------------------|----|-----------|-----------|-----|-----|------|------|
| Paranatinga           | MT | 14,4214 S | 54,0353 O | 474 | 952 | 2904 | 7,87 |
| Morrinhos             | GO | 17,7166 S | 49,1000 O | 771 | 951 | 2818 | 7,86 |
| São Gabriel do Oeste  | MS | 19,4201 S | 54,5531 O | 647 | 951 | 2904 | 7,86 |
| Sinop                 | MT | 11,9822 S | 55,5658 O | 371 | 951 | 2904 | 7,86 |
| Campo Novo do Parecis | MT | 13,7833 S | 57,8333 O | 570 | 949 | 2451 | 7,84 |
| Gaúcha do Norte       | MT | 13,1847 S | 53,2575 O | 379 | 947 | 2903 | 7,83 |
| Juara                 | MT | 11,2803 S | 57,5267 O | 260 | 932 | 2904 | 7,70 |
| Rio Brillhante        | MS | 21,7750 S | 54,5281 O | 329 | 926 | 2901 | 7,65 |
| São Félix do Araguaia | MT | 11,6189 S | 50,7278 O | 218 | 925 | 2904 | 7,64 |
| Goiânia               | GO | 16,6428 S | 49,2200 O | 770 | 910 | 2836 | 7,52 |
| Água Boa              | MT | 14,0161 S | 52,2122 O | 432 | 907 | 2904 | 7,50 |
| Carlinda              | MT | 9,9703 S  | 55,8272 O | 300 | 884 | 1985 | 7,31 |
| Nova Maringá          | MT | 13,0386 S | 57,0922 O | 353 | 838 | 2904 | 6,93 |
| Querência             | MT | 12,6272 S | 52,2208 O | 382 | 824 | 2904 | 6,81 |
| Jataí                 | GO | 17,9239 S | 51,7178 O | 582 | 810 | 2903 | 6,69 |
| Comodoro              | MT | 13,4231 S | 59,4546 O | 591 | 799 | 2904 | 6,60 |

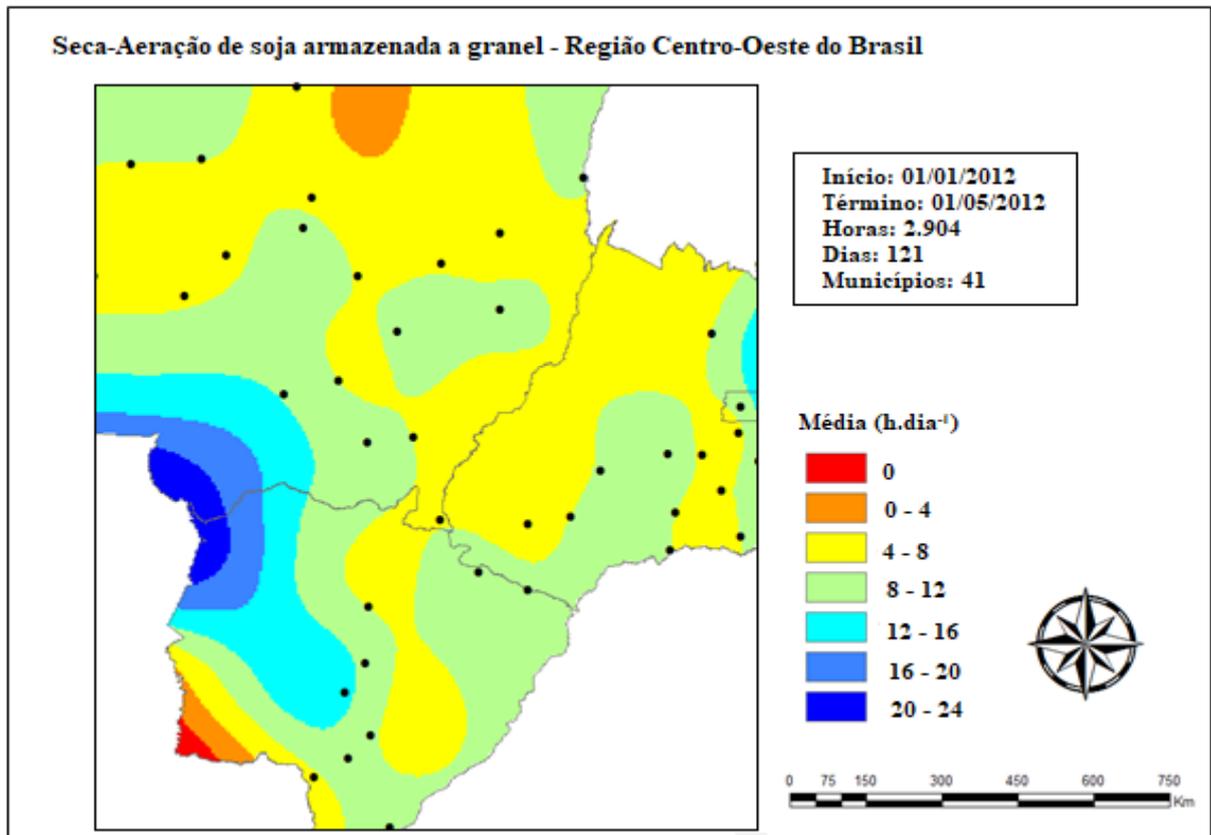
Na Figura 5, traz o mapa temático representado a média de horas propícias a operação de seca-aeração por dia. Conforme pode ser observado, as áreas com restrição à essa operação estão destacadas em vermelho e laranja, concentram-se no extremo norte do estado do Mato Grosso, e extremo sul do estado do Mato Grosso do Sul. Nessa região compreendida por essas cores, as condições psicrométricas para a insuflação do ar ambiente nos silos de seca-aeração são inviáveis, podendo causar problemas de superaquecimento ou umedecimento da massa de grãos.

Nota-se que a maioria dos municípios estão compreendidos no intervalo entre 4 a 8 horas.dia<sup>-1</sup> representado pela cor amarelo. Nesses lugares, para tal operação as unidades armazenadoras necessitam de ventiladores para insuflar o ar ambiente de maior fluxo de ar para que haja a aeração nos silos de seca-aeração a fim de se obter um produto a ser armazenado com teor de água entre 12 a 13,5%.

No intervalo de 8 a 12 horas.dia<sup>-1</sup>, destacadas em verde, compreende os municípios que apresentam condições psicrométricas ideais para insuflação do ar ambiente nos silos de seca-aeração. Esse intervalo está presente em todos os estados da região Centro-Oeste, mostrando a viabilidade do emprego da seca-aeração em diferentes lugares da região.

Os intervalos de 12 a 16 horas.dia<sup>-1</sup>; 16 a 20 horas.dia<sup>-1</sup> e 20 a 24 horas.dia<sup>-1</sup> representados pelos diferentes tons de azul, que compreendem o sudoeste do estado do Mato Grosso, noroeste e parte central do estado do Mato Grosso do Sul, são áreas cujo emprego da seca-aeração pode-se utilizar ventiladores de baixo fluxo de ar, reduzindo o consumo de energia elétrica das unidades armazenadoras.

Figura 5. Mapa de disponibilidade média de horas propícias por dia para condução de seca-aeração de soja na região Centro-Oeste.



## 5 CONCLUSÃO

O emprego da operação de seca-aeração é viável em maior parte da região Centro-Oeste. Tal técnica pode ser utilizada em unidades armazenadoras de grãos situadas em outras regiões como é o caso da região denominada de MATOPIBA – região que compreende os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, que vem se destacando na produção de grãos nos últimos dez anos.

## REFERÊNCIAS

AFONSO, A.D.L.; DONZELLES, S.M.L.; SILVA, J.S. Secagem e Secadores. In: SILVA, J.S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2000. p. 107-137.

ArcGIS 10.1. San Diego, EUA: **ESRI International User Conference**, 2013. Disponível em: <http://www.esri.com> Acesso em: 01/02/2013.

BAKKER ARKEMA, F. W. [editor] **Agro-Processing Engineering. Edited by CIGR - The International Commission of Agricultural Engineering**. Volume IV. ASAE.1999.

BROOKER, D.B., F.W. BAKKER-ARKEMA & C.W. HALL. 1978. **Drying cereal grains**. 1.ed. Westport, Avi Publishing Company, 265 p.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Série histórica das safras. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 01 jun. 2021.

DALPASQUALE, V.A. et al. **Secagem de grãos em altas temperaturas**. Viçosa: CETREINAR, 1987. 47 p.

DARBY, J. Aeration increases marketing choices. **Farming Ahead**, n. 144, p. 26-28, 2004.

DEVILLA, I. A. **Qualidade de grãos de milho (*Zea mays* L.) submetidos ao processo de seca-aeração**. Viçosa: UFV, 1998. Dissertação (Mestrado).

DEVILLA, I. A.; COUTO, S. M.; QUEIROZ, D. M.; DAMASCENO, G. S.; REIS F. P. Qualidade de grãos de milho submetidos ao processo de seca-aeração. Revista Brasileira de **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 211-215, 1999.

ELIAS, M. C. **Manejo tecnológico da secagem e do armazenamento de grãos**. 1. ed. Santa Cruz, Pelotas, 2008. v. 1. 368 p.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L. Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos no armazenamento. In: LORINI, I.; MIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M.; FARONI, L. R. D. (Org.). **Armazenagem de grãos**. Jundiaí: Instituto Bio Geneziz, p. 279-326, 2018

Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and agriculture data – FAOSTAT. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 01 jun. 2021.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 01 fev. 2013.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. **Banco de dados meteorológicos**. Disponível em: <http://www.inmrt.gov.br> Acessos em: 01 abr. 2012 e 01 jul. 2012.

MATTOS, E. C. de; ATUI, M. B.; SILVA, A. M. da; FERREIRA, A. R.; NOGUEIRA, M. D.; SOARES, J. dos S.; MARCIANO, M. A. M. Estudo da identidade histológica de subprodutos de soja (*Glycine max* L.). **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 74, n. 2, p. 104-110, 2015.

MILMAN, M. J. **Equipamentos para Pré-Processamento de Grãos**. Pelotas, 2002, 206 p.

NEVES, M.J.B.; FORTES, M; MOREIRA, S.M.C.; PINHEIRO FILHO, J.: **Simulação físico-matemática do processo de seca-aeração**. Revista Brasileira de Armazenamento, v. 8, n. 1 e 2, 1983.

SAUER, D.B. **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1992. 615p.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015. 333 p.

SILVA, J. S. [editor] **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. 509 p.

SILVA, L.C. **Estruturas para Armazenagem de Grãos a Granel**. CENTREINAR – Centro de Nacional de Treinamento em Armazenagem. Viçosa: março de 2010.

SILVA, L.C. **Fundamentos de Secagem de Grãos**. CENTREINAR – Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem. Viçosa: setembro de 2012.

WEBER, E. A. **Armazenagem Agrícola**. Editora. Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba: RS. 2001. 396 p.