



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA “ELISEU MACIEL”
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



DISSERTAÇÃO

**Efeitos da umidade de colheita e do manejo da massa de grãos
na secagem em silo-secador sobre a dinâmica operacional e
qualidade da soja**

Guilherme Gonçalves Amaral
Engenheiro Agrônomo

Pelotas, 2020

Guilherme Gonçalves Amaral

**Efeitos da umidade de colheita e do manejo da massa de grãos na
secagem em silo-secador sobre a dinâmica operacional e qualidade da
soja**

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado Profissional em Ciência e
Tecnologia de Alimentos da
Universidade Federal de Pelotas,
como requisito parcial à obtenção do
título de Mestre em Ciência e
Tecnologia de Alimentos.

Orientadores: Prof. Dr. Maurício de Oliveira
Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

Pelotas, 2020

Guilherme Gonçalves Amaral

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

A111e Amaral, Guilherme Gonçalves

Efeitos da umidade de colheita e do manejo da massa de grãos na secagem em silo-secador sobre a dinâmica operacional e qualidade da soja / Guilherme Gonçalves Amaral ; Mauricio de Oliveira, orientador ; Moacir Cardoso Elias, coorientador. — Pelotas, 2020.

48 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

1. Secagem estacionaria. 2. Soja. 3. Qualidade de soja. 4. Custo operacional. 5. Vazão. I. Oliveira, Mauricio de, orient. II. Elias, Moacir Cardoso, coorient. III. Título.

CDD : 664

**Efeitos da umidade de colheita e do manejo da massa de grãos na
secagem em silo-secador sobre a dinâmica operacional e qualidade da
soja**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Curso de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 29/09/2020

Banca examinadora: Volnei Meneghetti. Ricardo T. Paraginski e Jackson Zucchi.

Dedicatória

Dedico esse trabalho aos meus pais Miriam Cristina Gonçalves Amaral e Antonio Joaquim Amaral, ao meu irmão Bruno Amaral, a minha namorada Natalia Maldaner e a empresa VL Sul.

Agradecimentos

A minha família que sempre me incentivou, e me possibilitou buscar novos desafios.

Ao orientador Dr. Mauricio de Oliveira que sempre disposto, me guiou e orientou com sabedoria para a melhor resolução.

Aos colegas da empresa que me ajudaram na elaboração da metodologia e execução do trabalho, em especial Filipe Ávila, Gabriel Neto, Rafael Lucas dos Santos e João Pedro Schifino.

Aos colegas de pós-graduação e amigos, mestre Eng. Agrícola Gustavo Lang, mestre Eng. Agrônomo Adriano Ramos, pela oportunidade de trabalharmos juntos e por me ajudarem sempre que precisei, esclarecendo dúvidas, construindo o conhecimento de forma conjunta, meu eterno agradecimento.

Aos professores do DCTA, Álvaro Renato Guerra Dias, Ângela Maria Fiorentini, Cesar Valmor Rombaldi, Elessandra da Rosa Zavareze, Fábio Clasen Chaves, Leonardo Nora e Moacir Elias, pelas contribuições ao longo do período de mestrado no programa.

A minha namorada Natalia Maldaner que sempre esteve ao meu lado, acompanhando e ouvindo o trabalho.

A estagiária Marina Peter que sempre se dedicou muito as análises.

Resumo

AMARAL, Guilherme Gonçalves. **Efeitos da umidade de colheita e do manejo da massa de grãos na secagem em silo-secador sobre a dinâmica operacional e qualidade da soja**. Dissertação, 39p. (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

A secagem em silo-secador é uma alternativa para a redução dos investimentos em instalações e dos custos operacionais, bem como para o aumentada capacidade de recebimento de grãos. No entanto, este método exige longos tempos de secagem, e por este motivo, necessita de maiores cuidados com manejo da massa de grãos, para que seja assegurada a qualidade dos grãos, especialmente a soja, que é altamente susceptível à degradação devido ao elevado teor de lipídeos. Nesse sentido, este estudo objetivou avaliar a influência de diferentes manejos de distribuição massa de grãos (sem manejo, nivelado, transilado/nivelado) e umidades de colheita (14,0% - 16,0% e 16,1% - 18,0%) em parâmetros operacionais, composição química, coloração e propriedades do óleo de grãos de soja durante a secagem em silo-secador em escala industrial. Os resultados demonstraram que a utilização do manejo de transilado e nivelado da massa de grãos reduz o custo operacional da secagem, pois melhora a uniformidade da vazão entre o centro e a lateral do silo-secador e diminui o tempo de secagem. Independentemente do manejo, o teor de lipídeos reduziu e a acidez lipídica aumentou durante a secagem. No entanto, as menores alterações foram observadas nos grãos colhidos com umidade de 14-16% e submetidos ao manejo transilado/nivelado. Os produtos de oxidação do óleo (K232 e K270), a acidez da farinha e a variação da coloração foram maiores nos grãos submetidos à secagem sem manejo. Este estudo sugere a utilização do manejo de transilagem e nivelamento da massa de grãos, colhidos com teor de umidade de no máximo 16% como ideais para a redução dos custos operacionais e manutenção da qualidade dos grãos de soja.

Palavras chaves: secagem estacionária; custo operacional; composição química; acidez lipídica; coloração, qualidade dos grãos

Abstract

AMARAL, Guilherme Gonçalves. **Effects of harvest moisture content and grain mass configuration during in-bin drying of soybean on operational dynamics and quality aspects**. Dissertação, 39p. (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

In-bin drying is an alternative for reducing investments and operating costs, as well, as increasing the capacity for receiving grains by industries. However, this method requires long drying times, and for this reason, a correct handling is essential to ensure the quality of the grains. Especially when it comes to soybeans, which are highly susceptible to degradation due to the high content of lipids. In this sense, this study aimed to evaluate the influence of different grains mass configuration (peaked, leveled and inverted/leveled) and of the moisture content (14.0% - 16.0% e 16.1% - 18.0%) on operational dynamic, chemical composition, coloration and the oil quality during industrial in-bin drying of soybean. The results showed that a configuration of inverting and leveling of the grain mass reduces the operational cost of drying, due to the better uniformity of the airflow between the center and periphery (close to the wall) that reduces the drying time. Regardless of configuration, the lipid content decreased and the lipid acidity increased during in-bin drying. However, the smallest changes were observed in the grains harvested at 14-16% moisture content and subjected to inverted/leveled configuration. The oxidation products of the oil (K232 and K270), the acidity of the flour and the color variation were greater in the soybeans submitted to peaked configuration. This study suggests the use of inverting and leveling configuration of the grain mass, as well soybeans harvested with a maximum moisture content of 16%, like as an ideal for reducing operating costs and maintaining the quality parameters.

Keywords: in-bin drying; operating cost; chemical composition; lipid acidity; coloration, grains quality

Lista de Figuras

Figura 1. Séries históricas da área plantada, produção e produtividade da soja no Brasil desde 1976/77 a 2018/19.....	14
Figura 2. Ilustração de um secador contínuo de grãos	18
Figura 3. Secagem por camada de no máximo 1,5m em silos-secadores	19
Figura 4. Vazão de ar (m/s) durante a secagem em silo-secador sem manejo de distribuição massa de grãos.....	20
Figura 5. Redução de umidade dos grãos colhidos com umidade de 14-16% (A) e 16-18% (B) e o custo operacional da secagem em silo-secador (C).....	31
Figura 6. Teor de lipídeos, acidez lipídica e lipólise dos grãos submetidos à secagem em silo-secador com umidades de colheita de 14-16% (A, C e E) e 16-18% (B, D e F)	35
Figura 7. Acidez da farinha dos grãos colhidos com umidade de 14-16% (A) e 16-18% (B) e a variação de cor (ΔE) (C) durante a secagem em silo-secador	38

Lista de Tabelas

Tabela 1. Composição química dos grãos de soja	15
Tabela 2. Delineamento experimental.....	26
Tabela 3. CNU e vazões na lateral e centro dos silos-secadores com diferentes manejos de distribuição da massa de grãos	29
Tabela 4. Composição química dos grãos de soja submetidos à secagem em silo-secador com diferentes umidades de colheita e manejos de distribuição da massa de grãos.....	32
Tabela 5. Parâmetros de qualidade do óleo de grãos de soja submetidos à secagem em silo-secador com diferentes umidades de colheita e manejos de distribuição da massa de grãos.....	36

Sumário

1 INTRODUÇÃO	13
4.1 Composição química da soja	14
4.2 Secagem de grãos de soja	16
4.2.1 Secagem em secador contínuo.....	17
4.2.2 Secagem em silo-secador	18
4.3 Armazenamento de grãos de soja	21
2 HIPÓTESES	23
3 OBJETIVOS	23
3.1 Objetivo geral.....	23
3.2 Objetivos específicos	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1 Material	24
4.2 Procedimento experimental	24
4.3 Parâmetros operacionais da secagem.....	25
4.4 Análises de qualidade dos grãos	25
4.4.1 Teor de umidade	25
4.4.2 Composição química.....	25
4.4.3 Acidez da farinha.....	27
4.4.4 Atividade da enzima lipase e acidez do óleo.....	27
4.4.5 Produtos de oxidação do óleo.....	27
4.4.6 Coloração dos grãos (ΔE)	27
4.5 Análise estatística	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 Parâmetros operacionais da secagem.....	28
5.2 Composição química	29
5.4 Índice de acidez, lipólise e produtos de oxidação do óleo	34
5.5 Acidez da farinha e coloração dos grãos	37
6 CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
APÊNDICES	46

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycinemax* L.) é um dos principais produtos agrícolas do país e do mundo, está inserida em um mercado de exportação consolidado e em constante crescimento. Com Brasil é o maior produtor de soja no mundo, com uma produção de 120,9 milhões de toneladas (5,1% maior em relação ao ciclo passado CONAB, 2020)), das 362,8 milhões de toneladas produzidas mundialmente (WASDE, 2020) na safra 2019/2020. O Rio Grande do Sul é o quarto maior produtor do país, com uma produção de 10,7 milhões toneladas (EMATER, 2020). Atualmente, estima-se que cerca de 60 % dos produtos industrializados no mundo apresentem soja ou seus derivados em sua composição (LIU *et al.*, 2008).

A soja é constituída principalmente de proteínas (38%) e lipídeos (20%) (FARHOOSH *et al.*, 2009; FERREIRA, OLIVEIRA & ZIEGLER, 2020), e por este motivo, sua utilização se baseia na extração de óleo comestível e produção de *tofu*, tendo como derivado farelo ou torta de soja. A fração protéica é constituída predominantemente por globulinas (90%), que devido a sua característica hidrofílica, são essenciais para produção de *tofu* e extrato aquoso soja. No entanto, o rendimento de extração e a qualidade dos produtos são diretamente afetados pelas condições de secagem e armazenamento. Condições inadequadas acarretam em redução do rendimento e extração das proteínas, aumento da dureza do *tofu* e aumento da acidez do leite de soja (HOU; CHANG, 2004). Da mesma forma, processos de pós-colheita também podem influenciar na qualidade do óleo. Os óleos vegetais são constituídos de moléculas de triacilgliceróis, ou seja, três ácidos graxos ligados a um glicerol (NETO; ROSSI, 2000). Os ácidos graxos são compostos por 8 a 24 carbonos que podem ou não apresentar insaturações. No entanto, ligações insaturadas são mais facilmente rompidas pela ação de enzimas e processos oxidativos, que degradam os ácidos graxos em cetonas, aldeídos e álcoois conferindo odores e sabores indesejáveis, associados à rancidez (FARHOOSH *et al.*, 2009).

A importância econômica da soja caracteriza-se pelo crescente aumento da produção, da produtividade e do valor de mercado dos grãos. Avanços no desenvolvimento de novas cultivares adaptadas para cada região do país, bem

como técnicas e tecnologias mais avançadas de cultivo colocaram o Brasil no cenário mundial de produção de soja. A série histórica da área plantada, produtividade e produção estão apresentadas na Figura 1. Aliado aos constantes avanços na melhoria da produção e produtividade, a correta operação dos processos de pós-colheita torna-se essencial para a manutenção da qualidade dos grãos, enquanto a matéria prima aguarda industrialização e/ou exportação.

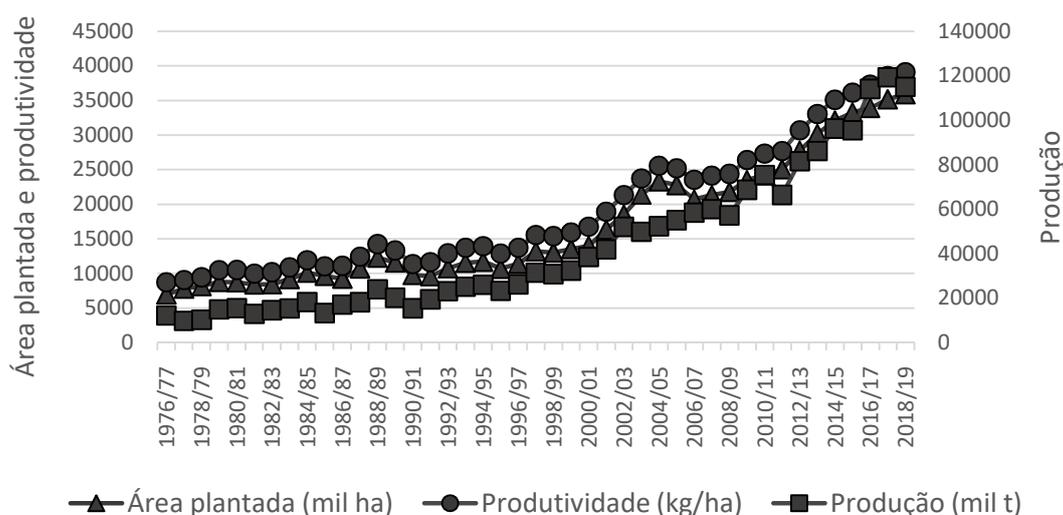


Figura 1. Séries históricas da área plantada, produção e produtividade da soja no Brasil desde 1976/77 a 2018/19

Fonte: CONAB, 2020

4.1 Composição química da soja

A soja é considerada uma oleaginosa devido ao elevado valor comercial do óleo, mesmo contendo uma grande quantidade de proteínas. Apesar de haver variações, a maioria das cultivares de soja apresenta 30% a 40% de proteínas e 15% a 22% de óleo, armazenados nos corpos protéticos esferossomos, respectivamente (OLIVEIRA, *et. al.*, 2017). A composição química dos grãos de soja estão apresentados na Tabela 1.

O óleo de soja é constituído de 65,4% de ácidos graxo poli-insaturados, 23,2% de monoinsaturados e 11,3% de saturados, como por exemplo, o ácido palmítico (16:0), o ácido oléico (18:1) e o ácido linoléico (18:2), respectivamente (ZIEGLER *et al.*, 2017). Isso torna o óleo de soja um

excelente ingrediente alimentar para o consumo in natura, pois auxilia na redução do colesterol e problemas cardíacos.

Tabela 1. Composição química dos grãos de soja

Composição química	Grão
Umidade (%)	11,0
Carboidratos (Açúcares) (%)	30,0-40,0
Fibras (%)	4,0
Minerais (%)	3-5%
Proteínas (%)	30,0-40,0
Aminoácidos (g/40gN)	
Cistina	3,25
Isoleucina	11,25
Leucina	19,5
Lisina	16,0
Metionina	3,25
Fenilalanina	12,25
Treonina	9,75
Triptofano	3,25
Tirosina	7,75
Valina	12,0
Lipídeos (%)	15-22
Ácidos graxos (%)*	
Saturados	15,0
Monoinsaturados	23,0
Poli-insaturados	58,0
Compostos fenólicos (mg/g)	
Ácido vanílico	20,3
Ácido gálico	79,0
Ácido sinápico	11,8
Ácido trans-cinâmico	261,3
Ácido clorogênico	736,4

Fontes: Weingartner (1987);Kagawa (1995);Xu e Chang (2008). *percentual de ácidos graxos com base no total de lipídeos.

A soja é um dos poucos materiais vegetais que contém todos os aminoácidos essenciais necessários ao desenvolvimento humano. O consumo de 40 g de soja é capaz de suprir a necessidade diária de isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina, treonina, tirosina e valina (FAO, 1987).A proteína de soja é uma mistura complexa contendo várias proteínas, que tem diferentes temperaturas de desnaturação. A β -conglucina e a glicina são as principais proteínas de armazenamento e compreendem o grupo das globulinas,

com temperaturas de desnaturação de cerca de 68-86°C, respectivamente (PREECE *et al.*, 2017).

Além dos compostos majoritários, a soja também possui vários compostos bioativos -e antioxidantes, como carotenóides, isoflavonas, tocoferóis, vitamina C, compostos fenólicos solúveis e insolúveis, peptídeos de soja, lecitinas e saponinas, que retardam a velocidade da oxidação. Isso ocorre por meio de um ou mais mecanismos, tais como a inibição de radicais livres e a complexação de metais (KUMAR *et al.*, 2009). A quantidade desses compostos varia de acordo com a coloração do tegumento (KUMAR *et al.*, 2010), bem como com a cultivar, o local de produção e as condições climáticas e de stress em que a planta foi submetida (OOMAH *et al.*, 2010).

Os fitoquímicos presentes nos grãos desempenham importantes funções na parede celular, atuando como barreiras físicas e químicas, protegendo contra a invasão de patógenos e adstringência que impede o ataque de insetos e animais, possuem funções antibacterianas, antifúngicas e antioxidantes. Ácidos fenólicos, tais como hidroxicinâmico e hidroxibenzóico, formam ligações éter com lignina através de seus grupos hidroxila e ligações ésteres com aminoácidos aromáticos, carboidratos e proteínas estruturais através do seu grupo carboxílico (LIU, 2007).

4.2 Secagem de grãos de soja

Os grãos recém colhidos, com umidade em torno de 18-22%, necessitam ser submetidos à secagem para a redução do grau de umidade para níveis seguros, entre 12 a 13% (TOHIDI *et al.*, 2017). Baixos graus de umidade garantem estabilidade durante o armazenamento devido à redução na taxa respiratória e conseqüentemente nas reações metabólicas que causam a deterioração dos grãos. Além disso, a secagem permite a antecipação da colheita, reduzindo as perdas ocasionados pelo ataque de patógenos e fatores ambientais, como chuvas e altas temperaturas (SOUZA *et al.*, 2015a).

De acordo com Elias *et al.*, (2017), a secagem de grãos consiste em um processo de transferência de calor e massa, normalmente conduzido por convecção forçada do ar aquecido com finalidade de reduzir o grau de umidade até níveis desejados e adequados para a conservação e operações subsequentes.

A qualidade dos grãos é afetada pelas condições de secagem, especialmente pela temperatura e taxa de secagem, que são dependentes do método utilizado. Grãos de soja são mais tolerantes ao aumento da temperatura, em comparação aos grãos de arroz, por exemplo. No entanto, a temperatura máxima de secagem está associada a finalidade na qual os grãos serão destinados.

De acordo com Oliveira (2008), temperaturas inferiores à 60°C devem ser utilizadas para a secagem de soja destinada à extração de proteínas, enquanto que, temperaturas acima disso inativam enzimas lipase responsáveis pela degradação do óleo durante o armazenamento. Diferentes métodos podem ser utilizados para a secagem de grãos, e a sua escolha depende da realidade de cada unidade.

4.2.1 Secagem em secador contínuo

A secagem contínua utiliza secadores de coluna com movimentação dos grãos por queda livre na câmara de secagem, fluxo de ar misto e elevadas temperaturas de secagem (entre 60 a 100°C) (BUCKLIN *et al.*, 2013). As operações de carga e descarga são simultâneas e os contatos entre ar e grãos são ininterruptos, em toda a operação, havendo entrada de ar aquecido na câmara de secagem e de ar ambiente (sem aquecimento) na câmara de resfriamento. Um exemplo de secador contínuo está ilustrado na Figura 2.

Durante a operação, sempre há grãos úmidos entrando no secador, grãos passando nas câmaras de secagem e de resfriamento, e grãos secos e resfriados saindo do secador. Grandes riscos de danos e choques térmicos são as características mais indesejáveis desse sistema, que tem a rapidez como característica mais positiva (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

A secagem contínua é a mais difundida para grãos de soja devido à eficiência do método e a menor exigência de movimentação dos grãos, uma vez que grãos de soja são susceptíveis à quebra. Este método é adequado para indústrias que armazenam grandes quantidades de grãos devido ao elevado rendimento de secagem (19 a 136 t/h).

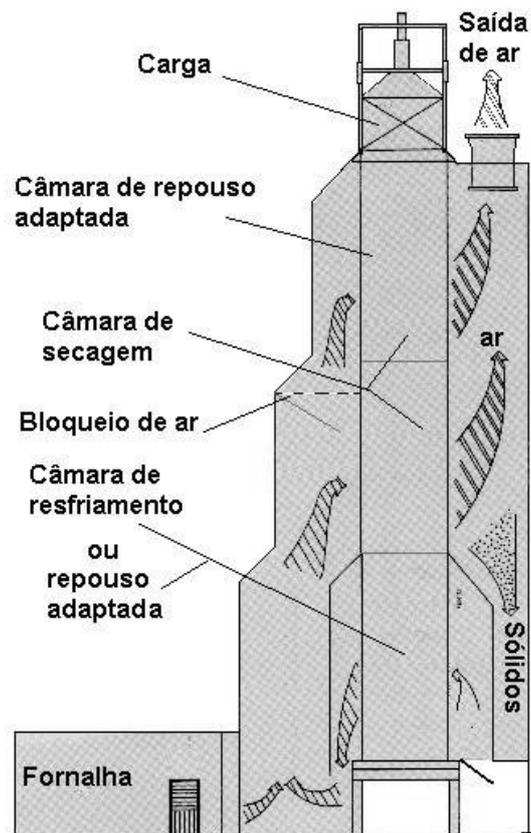


Figura 2. Ilustração de um secador contínuo de grãos

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2008)

Por outro lado, à nível de fazenda e em unidades armazenadoras menores, este método torna-se oneroso uma vez que o investimento é alto e o seu uso é sazonal. A utilização de silos-secadores surge como uma alternativa, pois reduz a movimentação dos grãos, utiliza baixas temperaturas de secagem e otimiza o uso de apenas uma instalação para a secagem e o armazenamento.

4.2.2 Secagem em silo-secador

A secagem em silos-secadores é dependente de um adequado manejo da massa de grãos e de condições climáticas favoráveis. A temperatura e a umidade do ar ambiente determinam o grau de umidade dos grãos por meio do equilíbrio higroscópico. Os exaustores são responsáveis pela circulação do ar no interior dos silos-secadores, fazendo com que o ar saturado do meio seja substituído por um ar com capacidade de reter a umidade removida dos grãos. Normalmente, nestes sistemas são utilizadas velocidades do ar em torno de 0,15 a 0,30 m/s (GUIMARÃES *et al.*, 2015).

Uma das maiores dificuldades da secagem em silos-secadores é o controle da frente de secagem. Devido à ausência de movimentação, os grãos da parte inferior do silo-secador estão sujeitos a uma secagem excessiva pela proximidade da entrada do ar. Enquanto que, os grãos da parte superior permanecem por longos períodos com umidade elevada até que os grãos abaixo estejam secos (SOUZA *et al.*, 2015a). Este período é ainda mais longo em comparação com a secagem estacionária convencional, uma vez que a grande maioria dos silos-secadores não apresentam sistemas de aquecimento do ar e dependam unicamente das condições climáticas.

Sadaka *et al.* (2019) sugeriu que a secagem em silos-secadores deve ocorrer por camadas de no máximo 1,5m, adicionando a próxima somente quando a inferior estiver seca, até o preenchimento total do silo-secador, como demonstrado na Figura 3. No entanto, o recebimento contínuo de grãos pela unidade durante a colheita dificulta a adoção deste manejo. Por este motivo, alternativas como o nivelamento da massa de grãos e a transilagem podem viabilizar o processo de secagem no silo-secador completamente carregado.

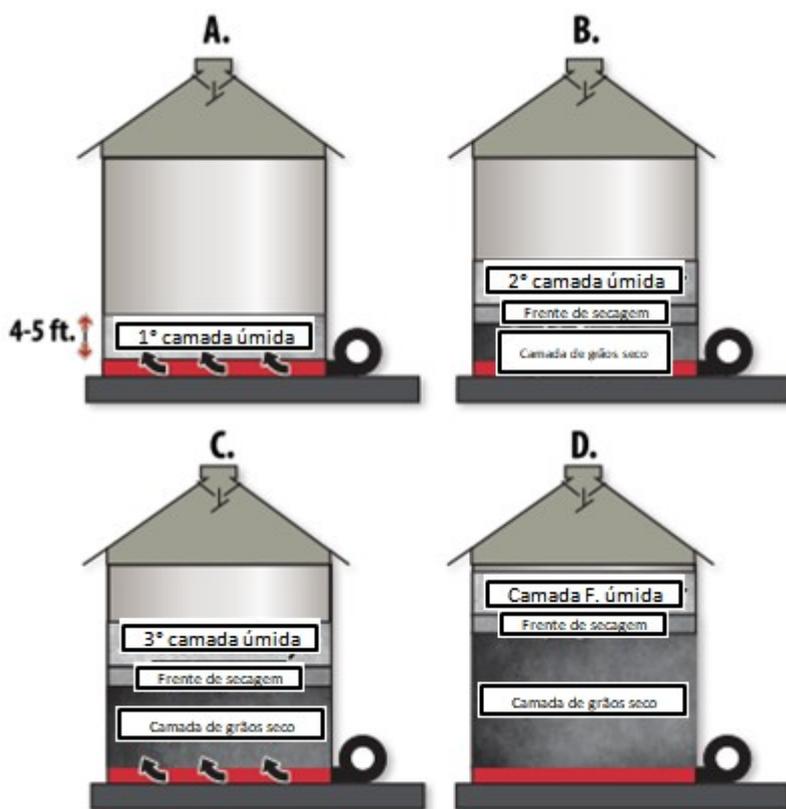


Figura 3. Secagem por camada de no máximo 1,5m em silos-secadores

Fonte: Adaptado de Sadaka *et al.* (2019)

A uniformidade da vazão de ar também é extremamente importante para garantir uma secagem eficiente. Durante o carregamento dos silos-secadores, é natural que a queda livre dos grãos faça com que partículas maiores se acumulem nas extremidades, enquanto que impurezas menores se concentrem no centro do silo. Este fenômeno ocasiona uma diferença na porosidade entre estas regiões, que conseqüentemente modifica a resistência à passagem do ar. De acordo com estudo conduzido por Chung *et al.* (2001), a adição de 2% de impurezas finas nos silos contendo sorgo com 16,5% de umidade acarretou em um aumento de 30,7% na pressão estática. Além disso, o carregamento por queda livre forma um cone na parte superior da massa de grãos, onde não há a passagem do ar de secagem (OLATUNDE *et al.*, 2016; LAWRENCE; MAIER, 2011). Estas diferenças nas vazões podem ser observadas na Figura 4.

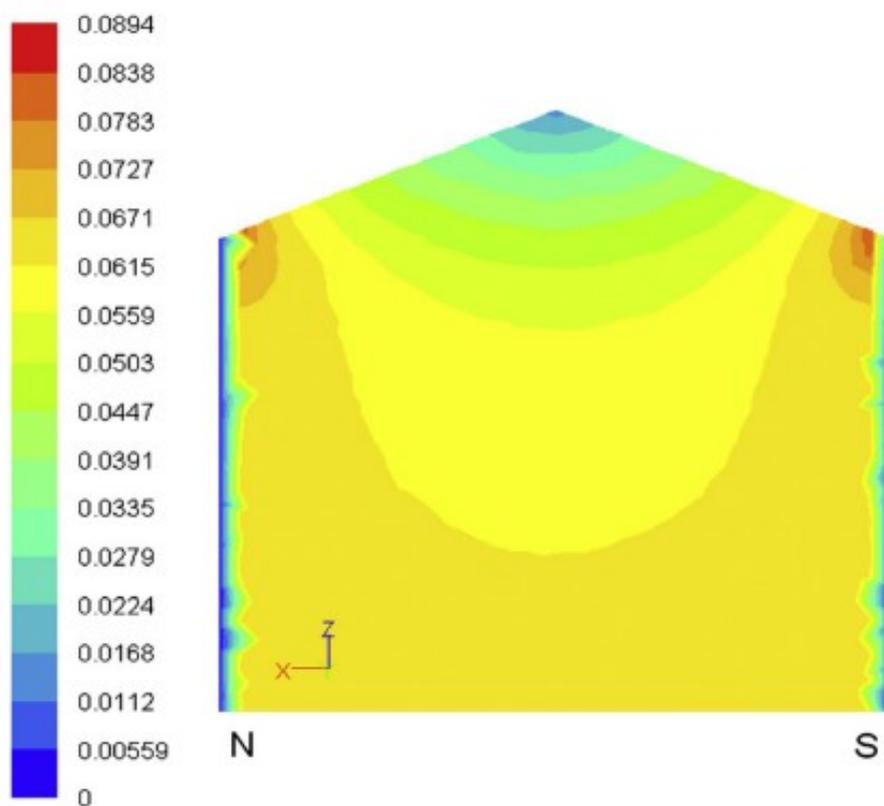


Figura 4. Vazão de ar (m/s) durante a secagem em silo-secador sem manejo de distribuição da massa de grãos.

Fonte: Adaptado de Lawrence e Maier (2011)

A má distribuição do fluxo de ar na massa de grãos, ou até mesmo a ausência de aeração em alguns locais do silo-secador, podem levar a variações no grau de umidade que prejudicam a qualidade do grão e favorecem o crescimento fúngico (BARTOSIK; MAIER, 2006). Um adequado manejo da massa de grãos, bem como uma correta remoção de impurezas são essenciais para assegurar uma secagem eficiente e conseqüentemente manter a qualidade dos grãos.

Além das mudanças prováveis nas propriedades físicas e químicas dos grãos, é necessária uma grande quantidade de energia no processo de secagem. Em comparação com outros processos, a secagem consome uma grande quantidade de energia devido à eficiência energética relativamente baixa dos secadores e ao alto calor latente de evaporação da água (TOHIDI *et al.*, 2017). Syahrulet *al.* (2002) relataram que 10-15% da energia total consumida na indústria nacional do Canadá, França e EUA, bem como 20-25% na Alemanha e na Dinamarca é utilizada pela indústria de secagem.

Dessa forma, manejos operacionais que reduzam o tempo de secagem sem afetar a qualidade dos grãos são essenciais para a viabilidade financeira das indústrias. De acordo com estudo conduzido por Bartosik e Maier (2006) na região norte dos EUA (Nebraska), a não uniformidade da vazão do ar durante a secagem sem nenhum manejo da massa de grãos, ocasiona uma diferença de 150% entre o centro e a lateral do silo-secador, aumentou o tempo de secagem em 1.100h e o custo operacional em R\$ 6,90 por tonelada de soja, em comparação com o silo com nivelamento e transilagem.

4.3 Armazenamento de grãos de soja

A necessidade de armazenamento por longos períodos é potencializada pela colheita desses grãos, que acontece em época específica do ano, juntamente com a necessidade que as indústrias possuem de manter suas plantas de processamento em funcionamento durante o ano todo. Outro motivo para o armazenamento por longos períodos é o elevado percentual de grãos de soja que são exportados (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Dessa forma, o armazenamento é essencial para aguardar o melhor momento de comercialização, em um mercado externo cada vez mais competitivo e exigente.

O comportamento dos grãos durante o armazenamento é diretamente influenciado pela sua qualidade inicial, condições físicas, umidade dos grãos, temperatura e umidade relativa do ar no ambiente de armazenamento. O controle da umidade relativa do ar é de suma importância, pois os grãos de soja possuem alta higroscopicidade, o que faz com que sua atividade de água seja alterada facilmente conforme as oscilações de umidade relativa do ar (SILVA *et al.*, 2008).

Os grãos armazenados continuam o processo respiratório e dependendo das condições de armazenamento, a atividade metabólica pode ser retardada ou acelerada, desencadeando uma série de reações bioquímicas que afetam quantitativamente e qualitativamente os componentes dos grãos, bem como suas propriedades tecnológicas.

Tais modificações têm sido atribuídas a alterações nas paredes celulares e na estrutura das proteínas e dos lipídeos, interação entre as proteínas com produtos da oxidação lipídica e interações entre amido e proteína (ZIEGLER *et al.*, 2017; RANI *et al.*, 2013; LEE: CHO, 2012). Uma das alternativas para isso é a técnica de resfriamento artificial de grãos, que vem surgindo como uma alternativa para a redução dessas alterações e a obtenção de um produto com melhores características ao final do armazenamento, pois reduz a velocidade das reações metabólicas e enzimáticas (PARK *et al.*, 2012).

As operações de armazenamento e de manutenção dependem do sistema de conservação e podem incluir movimentação ou manuseio, expurgo corretivo, intra-silagem, transilagem, aeração, combate a roedores, proteção contra o ataque de micro-organismos, insetos e pássaros, retificação da secagem ou da limpeza. Todas devem ser acompanhadas de amostragens periódicas e monitoramento por análises e observações criteriosas (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

2 HIPÓTESES

2.1 Grãos de soja submetidos à secagem em silo-secador sem manejo apresentam um número maior de horas de funcionamento dos exaustores, em comparação ao manejo nivelado e transilado/nivelado, devido à menor circulação de ar na parte central e superior (cone) da massa de grãos.

2.2 A distribuição desuniforme do ar nos silos-secadores sem manejo favorece o envelhecimento mais acelerado dos grãos, com o aumento da acidez e produtos de degradação do óleo e alterações na coloração.

2.3 O maior grau de umidade (16,0% - 18,0%) acelera o a taxa respiratória dos grãos favorecendo o metabolismo responsável pela redução da qualidade da soja submetida à secagem em silo-secador.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Este estudo objetivou avaliar a influência de diferentes manejos de distribuição massa de grãos (sem manejo, nivelado, transilado/nivelado) e umidades de colheita (14,0% - 16,0% e 16,1% - 18,0%) nos parâmetros operacionais, composição química, coloração e propriedades do óleo de grãos de soja durante a secagem em silo-secador à nível industrial.

3.2 Objetivos específicos

3.2.1 Avaliar os parâmetros operacionais como tempo de secagem, umidade dos grãos, horas de funcionamento dos ventiladores e vazão de ar durante a secagem de grãos de soja em silo-secador com diferentes manejos de distribuição e umidade de colheita dos grãos de soja.

3.2.2 Avaliar a influência dos manejos da massa de grãos com queda livre (sem manejo), com o nivelamento da parte superior e com transilagem e nivelamento na qualidade dos grãos de soja durante a secagem em silo-secador.

3.2.3 Avaliar a influência da umidade de colheita nas faixas de 14,0% - 16,0% e 16,1% - 18,0% na qualidade dos grãos de soja submetidos à secagem em silo-secador.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Material

Foram utilizados grãos de soja cultivados na planície costeira externa do Rio Grande do Sul, colhidos mecanicamente com umidade entre 14,0% – 18,0% e transportados até a unidade da VL Sul Agronegócios, onde o experimento foi realizado. Na recepção da unidade, os grãos foram amostrados e classificados conforme IN11 da soja de 2007, as impurezas e matérias estranhas removidas para um percentual máximo de 1% por meio de máquinas de ar e peneira (Apêndice 1), e após acondicionados nos silos secadores.

4.2 Procedimento experimental

Durante recebimento na unidade armazenadora do estudo, os grãos foram separados quanto ao seu grau de umidade em duas faixas, de 14% – 16% e de 16,1% – 18,0%. Em seguida, os silos secadores foram carregados e diferentes manejos de distribuição da massa de grãos foram adotados: (1) sem manejo, (2) nivelado e (3) transilado/nivelado, conforme delineamento experimental na Tabela 2. O experimento foi realizado em duplicata, totalizando 12 silos.

Nos silos sem manejo, a massa de grãos foi mantida intacta após o carregamento por queda livre, formando-se um cone na parte superior. Nos silos com manejo nivelado, o cone naturalmente formado após o carregamento por queda livre dos grãos foi nivelado manualmente, deixando-se a parte superior nivelada. Para o manejo transilado/nivelado, após o carregamento e anteriormente ao nivelamento da parte superior, foi realizado o processo de transilagem.

Em seguida, os grãos foram submetidos à secagem com ventilação de ar natural (temperatura ambiente) com fluxo de 0,15 m³/s até que atingissem umidade de 14,5% (b.u.). Os ventiladores foram acionados somente quando as condições de temperatura e umidade ambiente permitissem equilíbrio higroscópico abaixo de 14,5% de umidade dos grãos. Amostragens foram realizadas em triplicata na parte superior (centro e laterais a cada 60 graus) e inferior da massa de grãos no início, após 20 dias e ao final da secagem.

Todas as amostras foram homogeneizadas e particionadas em três amostras representativas de cada silo. As amostragens na parte superior foram realizadas com o auxílio de um calador manual de dois metros de altura com 10 gavetas, e na parte inferior em um único ponto através de uma porta lateral.

4.3 Parâmetros operacionais da secagem

Os parâmetros de umidade dos grãos e as horas de funcionamento e vazões dos exaustores foram mensurados durante o período de secagem. A vazão de ar na parte superior da massa de grãos foi medida com o auxílio de um cone, conforme demonstrado no Apêndice 2.

O coeficiente de não uniformidade (CNU) da vazão de ar entre as laterais e a parte central do silo foi calculado pela Eq. (1), conforme descrito por Bartosik e Maier (2006). O custo da secagem (R\$/t) foi calculado através da multiplicação da potência do motor (kW), horas de funcionamento (h) e o custo da energia (R\$/kW.h), divididos pela quantidade de grãos no silo (t), conforme Eq. (2). A potência dos motores são de 25cv (18,38kW), o custo da energia considerado foi de 0,55 R\$/kW.h e o silos continham 600 toneladas de grãos.

$$CNU (\%) = \frac{(vazão\ na\ lateral - vazão\ no\ centro) * 100}{(vazão\ na\ lateral + vazão\ no\ centro)} \quad (1)$$

$$Custo = \frac{potência\ motor \times hrs\ funcionamento \times custo\ energia}{quantidade\ de\ grãos} \quad (2)$$

4.4 Análises de qualidade dos grãos

4.4.1 Graude umidade

A umidade dos grãos de soja foi determinada por método indireto utilizando equipamento Motomco 999ES (Motomco, Brasil), conforme procedimento descrito pela Instrução Normativa n° 11/2007.

4.4.2 Composição química

Os teores de cinza, proteína, amido, fibra bruta e lipídeos dos grãos foram determinados indiretamente com o auxílio do equipamento NIRS (DS 2500, FOSS, Dinamarca).

Tabela 2. Delineamento experimental

Tratamentos	Variáveis independentes			Variáveis dependentes
	Umidades de colheita	Manejos de distribuição	Períodos de coleta	
1	14,0% - 16,0%	Sem manejo	Inicial	Vazão de ar
2	16,1% - 18,0%	Nivelado	20 dias	Horas funcionamento dos ventiladores
3		Transilado/Nivelado	Final	Graude umidade dos grãos
.				Composição química
.				Acidez da farinha
.				Acidez do óleo
				Produtos de oxidação do óleo
				Lipólise
18				Coloração dos grãos

4.4.3 Acidez da farinha

A acidez da farinha foi determinada de acordo com metodologia proposta pela AOAC (2006). 5g de farinha foram pesadas em um Becker e adicionados 50mL de água deionizada por um período de 24h. Após, a acidez foi definida pelo método de titulação com o auxílio de fenolftaleína como indicador e os resultados expressos em mg de KOH por 100g de farinha.

4.4.4 Atividade da enzima lipase e acidez do óleo

A atividade da enzima lipase foi medida de acordo com Kaur et al. (1993) e expresso em porcentagem de lipólise (%), com base no índice de saponificação do substrato. A acidez lipídica foi determinada de acordo com o método AACC 02-01A descrito pela AACC(2000). A acidez foi determinada por titulação com NaOH 0,1 M usando a solução de fenolftaleína como indicador, e os resultados expressos em porcentagem de acordo com a Eq. (3). Onde v é o volume de NaOH gasto na titulação (mL), FC é o fator de correção da base NaOH (0,1 M) e P é o peso da amostra (g).

$$\text{Índice de acidez (\%)} = \frac{V \times FC \times 100}{P} \quad (3)$$

4.4.5 Produtos de oxidação do óleo

Os produtos de oxidação do óleo foram medidos indiretamente através dos coeficientes de extinção específicos (K232 e K270) usando o método proposto pela American Oil Chemistry's Society (AOCS, 2009). 0,1 g de óleo (limpo e filtrado) foram pesados e adicionados em um balão de 10mL que foi completado com isooctano padrão HPLC. A absorvância da solução foi medida usando um espectrofotômetro (Jenway, 6705 UV/Vis) à 232 e 270nm.

4.4.6 Coloração dos grãos(ΔE)

A luminosidade e os parâmetros a^* e b^* foram determinados por meio de um colorímetro Minolta (CR-310, Osaka, Japão). Os grãos foram dispostos em uma placa de Petri e a leitura realizada em triplicata. Com base nos resultados, o coeficiente de variação da coloração (ΔE) foi determinado pela Eq. (4).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (4)$$

4.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com 5% de probabilidade ($P < 0,05$), a fim de identificar a interação entre as variáveis independentes. A comparação de médias do manejo de distribuição e dos períodos de coleta foi realizada pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). A comparação de médias da variável umidade de colheita foi realizada pelo teste t ($P < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Parâmetros operacionais da secagem

Os coeficientes de não uniformidade (CNU) juntamente com as vazões da lateral e do centro do silo estão apresentados na Tabela 3. As vazões de ar na lateral foram maiores que na parte central do silo-secador durante a secagem sem manejo e com manejo nivelado, em ambas as umidades de colheita. O CNU foi menor no manejo nivelado/transilado, seguido do nivelado em comparação aos silo-secadores sem manejo, com valores variando de 2,24-2,49%, 6,29-16,33%, e 98,18-100,00%, respectivamente (Tabela 3).

Os resultados experimentais de grau de umidade dos grãos ajustados à uma curva de regressão linear e o custo operacional da secagem em silo-secador com diferentes manejos estão apresentados na Figura 5. Os tempos de secagem nos silos sem manejo e com manejo nivelado e transilado/nivelado foram de 42, 28 e 28 dias, RESPECTIVAMENTE PARA OS GRAUS DE UMIDADE DE14-16% (Figura 5A)... E 54, 35 e 36 dias para os graus de umidade iniciais de 16-18% (Figura 5B), respectivamente.

Nos grãos colhidos com umidade de 14-16%, o custo de secagem foi maior nos silo-secador sem manejo (R\$ 3,97 por tonelada) em comparação aos manejos nivelado (R\$ 3,20 por tonelada) e transilado/nivelado (R\$ 2,95 por tonelada) (Figura 5C). Nos grãos colhidos com umidade de 16-18%, o custo aumentou conforme os manejos transilado/nivelado (R\$ 3,44 por tonelada), nivelado (R\$ 3,81 por tonelada) e sem manejo (R\$ 5,28 por tonelada) foram adotados. Independente do manejo, o custo da secagem foi menor nos grãos colhidos com menor grau de umidade (Figura 5C).

A adoção do manejo de transilagem e nivelamento auxilia na melhor distribuição do fluxo de ar no interior do silo-secador devido a remoção de impurezas menores e do cone formado na parte superior da massa de grãos. Durante o carregamento do silo, impurezas menores que os grãos se acumulam na parte central e reduzem a porosidade do meio, aumentando a resistência à passagem do ar (OLATUNDE *et al.*, 2016; LAWRENCE; MAIER, 2011). Como a circulação de ar no interior do silo percorre caminhos preferenciais de menor resistência, estas regiões do silo, central e superior (cone), apresentam pouca ou nenhuma circulação de ar, acarretando em maiores tempos de secagem e conseqüentemente maiores custos operacionais (Figura 5 e Tabela 3).

Estudo conduzido por Bartosik e Maier (2006), demonstrou que quando o CNU durante a secagem de milho em silo-secador aumentou de 0% para 117%, o custo operacional aumentou de 2,5 para 7,6\$/t. Além disso, segundo os autores, nas regiões do silo sem circulação de ar a umidade dos grãos permanece alta por períodos prolongados, podendo ocorrer redução da qualidade dos grãos, crescimento de fungos e produção de micotoxinas.

Tabela 3. CNU e vazões na lateral e centro dos silos-secadores com diferentes manejos de distribuição da massa de grãos

Tratamentos	Vazão (m ³ /s)		CNU (%)
	Lateral	Central	
Umidade de 14-16%			
Sem manejo	0,181 ± 0,01 ^{Aα}	0,002 ± 0,00 ^{Bγ}	98,18
Nivelado	0,129 ± 0,05 ^{Aγ}	0,113 ± 0,08 ^{Bβ}	6,29
Transilado/nivelado	0,153 ± 0,01 ^{Aβ}	0,146 ± 0,08 ^{Aα}	2,34
Umidade de 16-18%			
Sem manejo	0,169 ± 0,01 ^{Aα}	0,000 ± 0,00 ^{Bβ}	100,00
Nivelado	0,169 ± 0,05 ^{Aα}	0,122 ± 0,11 ^{Bα}	16,33
Transilado/nivelado	0,144 ± 0,01 ^{Aβ}	0,137 ± 0,09 ^{Aα}	2,49

Média ± desvio padrão seguido de letras maiúsculas fazem comparação entre lateral e central pelo teste *t* ($P < 0,05$), e letras gregas fazem comparação entre manejos pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

5.2 Composição química

A composição química dos grãos de soja durante a secagem em silo-secador com diferentes manejos, estão apresentados na Tabela 4 e Figura 6. A

análise de variância demonstrou efeito simples ($P < 0,05$) apenas da umidade de colheita no teor de fibras (Apêndice 3). Nos teores de cinza, amido e proteína foi observado efeito simples ($P < 0,05$) apenas do manejo (Apêndice 4). No teor de lipídeos, foi observada influência significativa ($P < 0,05$) do manejo de distribuição e do período de secagem (Apêndice 3).

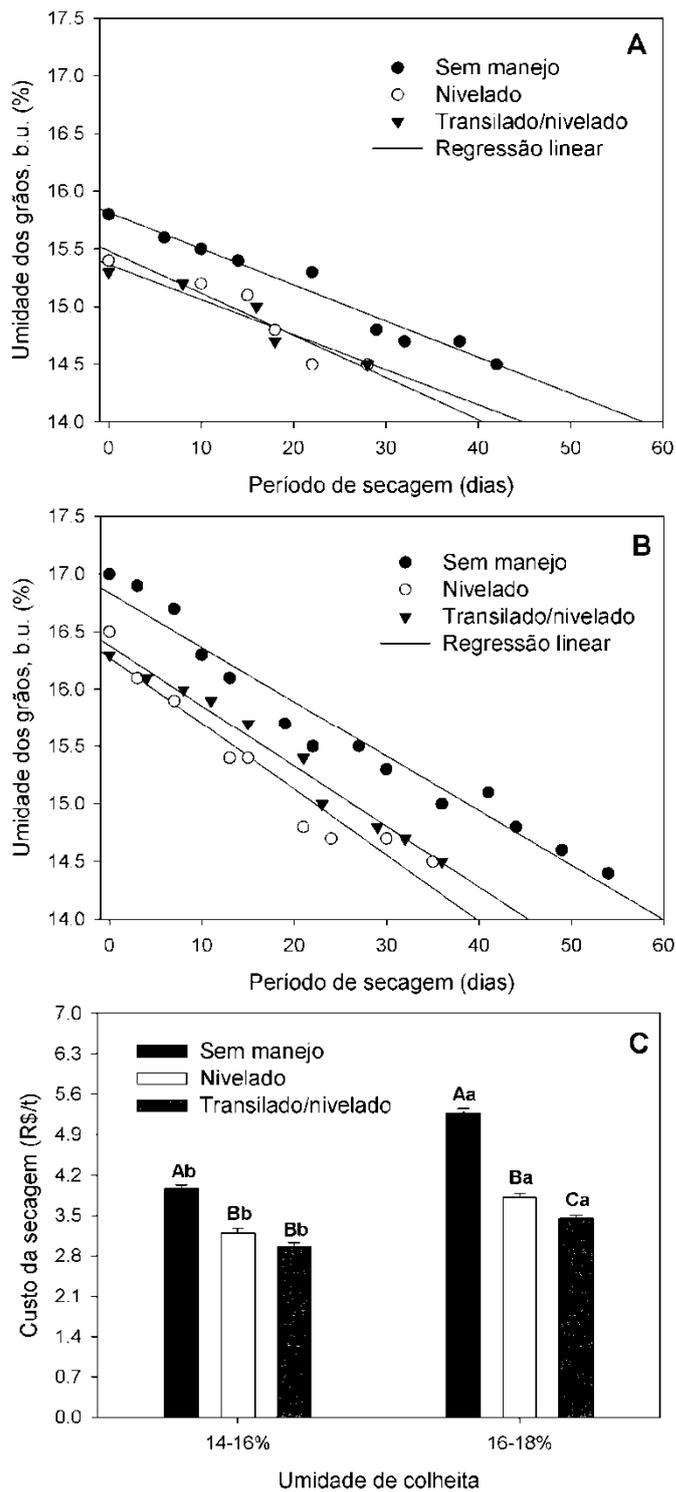


Figura 5. Redução de umidade dos grãos colhidos com umidade de 14-16% (A) e 16-18% (B) e o custo operacional da secagem em silo-secador (C)

*Letras maiúsculas fazem comparação entre umidades pelo teste t ($P < 0,05$) e letras minúsculas fazem comparação entre manejos pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Tabela 4. Composição química dos grãos de soja submetidos à secagem em silo-secador com diferentes umidades de colheita e manejos de distribuição da massa de grãos

Tratamentos	Inicial		20 dias		Final	
	14 a 16	16 a 18	14 a 16	16 a 18	14 a 16	16 a 18
<i>Proteínas (%)</i>						
Sem manejo	32,10 ± 0,74 ^β	32,75 ± 0,33 ^α	32,10 ± 0,74 ^α	32,78 ± 0,54 ^α	33,04 ± 0,25 ^β	32,47 ± 0,47 ^β
Nivelado	32,93 ± 0,39 ^{αβ}	33,21 ± 0,14 ^α	32,93 ± 0,39 ^α	33,43 ± 0,51 ^α	33,41 ± 0,43 ^β	33,26 ± 0,44 ^{αβ}
Transilado/nivelado	34,05 ± 0,54 ^α	33,15 ± 0,32 ^α	34,05 ± 0,54 ^α	33,24 ± 0,12 ^α	34,62 ± 0,53 ^α	34,04 ± 0,66 ^α
<i>Lipídeos (%)</i>						
Sem manejo	17,58 ± 0,27 ^α	18,35 ± 0,36 ^α	17,25 ± 0,09 ^α	17,28 ± 0,48 ^α	16,44 ± 0,43 ^α	16,35 ± 0,04 ^α
Nivelado	17,25 ± 0,05 ^α	17,12 ± 0,30 ^β	17,51 ± 0,25 ^α	16,33 ± 0,69 ^α	16,35 ± 0,24 ^α	16,26 ± 0,29 ^α
Transilado/nivelado	17,37 ± 0,28 ^α	17,60 ± 0,52 ^{αβ}	17,13 ± 0,66 ^α	16,91 ± 0,40 ^α	16,34 ± 0,75 ^α	16,67 ± 0,18 ^α
<i>Fibras (%)</i>						
Sem manejo	5,16 ± 0,04 ^A	5,13 ± 0,02 ^A	5,18 ± 0,01 ^A	5,14 ± 0,01 ^B	5,20 ± 0,01 ^A	5,14 ± 0,01 ^B
Nivelado	5,18 ± 0,02 ^A	5,15 ± 0,02 ^A	5,14 ± 0,01 ^A	5,13 ± 0,01 ^A	5,17 ± 0,02 ^A	5,15 ± 0,03 ^A
Transilado/nivelado	5,13 ± 0,01 ^A	5,13 ± 0,01 ^A	5,17 ± 0,01 ^A	5,18 ± 0,03 ^A	5,24 ± 0,10 ^A	5,15 ± 0,02 ^B
<i>Cinzas (%)</i>						
Sem manejo	4,87 ± 0,06 ^α	4,95 ± 0,05 ^α	4,65 ± 0,06 ^{αβ}	4,86 ± 0,20 ^α	4,73 ± 0,10 ^α	4,68 ± 0,02 ^α
Nivelado	5,04 ± 0,22 ^α	4,97 ± 0,14 ^α	4,74 ± 0,05 ^α	4,97 ± 0,14 ^α	4,91 ± 0,09 ^α	4,80 ± 0,10 ^α
Transilado/nivelado	5,00 ± 0,26 ^α	5,08 ± 0,37 ^α	4,49 ± 0,16 ^β	4,69 ± 0,15 ^α	4,73 ± 0,14 ^α	4,73 ± 0,12 ^α
<i>Amido (%)</i>						
Sem manejo	39,78 ± 0,27 ^α	38,72 ± 0,60 ^α	40,23 ± 0,70 ^α	39,94 ± 0,17 ^α	40,29 ± 0,93 ^α	41,35 ± 0,43 ^α
Nivelado	39,25 ± 0,45 ^α	39,55 ± 0,35 ^α	39,17 ± 0,51 ^{αβ}	40,14 ± 0,90 ^α	40,80 ± 0,66 ^α	40,53 ± 0,42 ^{αβ}
Transilado/nivelado	38,44 ± 0,60 ^α	39,05 ± 0,40 ^α	38,65 ± 0,16 ^β	39,97 ± 0,14 ^α	39,07 ± 1,03 ^α	39,42 ± 0,74 ^β

Médias ± desvio padrão seguidas de letras maiúsculas fazem comparação pelo teste $t(P < 0,05)$ os grãos com diferentes graus de umidade. Letras gregas fazem comparação pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) os diferentes manejos na camada de grãos

Inicialmente o teor de proteínas dos grãos colhidos com umidade de 14-16% presentes no silo-secador com manejo transilado/nivelado foi maior em comparação ao silo sem manejo (Tabela 4). Ao final do período de secagem, grãos colhidos com umidade de 14-16% e manejo transilado/nivelado apresentaram teor de proteína superior (34,62%) aos grãos submetidos ao manejo nivelado (33,41%) e sem manejo (33,04%); e nos grãos colhidos com umidade de 16-18%, o teor de proteínas foi maior no grãos submetidos ao manejo transilado/nivelado (34,04%) em comparação aos sem manejo (32,47%) (Tabela 4).

O teor de fibras foi maior nos grãos colhidos na faixa de umidade de 14-16% em comparação à 16-18%, aos 20 dias nos grãos sem manejo e ao final da secagem nos grãos sem manejo e transilado/nivelado (Tabela 4). Diferenças nos teores de cinzas foram observados apenas aos 20 dias de secagem dos grãos colhidos com umidade de 14-16% e submetidos ao manejo nivelado (4,74%) em comparação os grãos com manejo transilado/nivelado (4,49%) (Tabela 4). O teor de amido foi menor aos 20 dias e ao final da secagem dos grãos colhidos com umidade de 14-16% e submetidos ao manejo transilado/nivelado, em comparação aos grãos do silo sem manejo (Tabela 4).

Estas variações nos teores de proteína, fibras, cinzas e amido estão possivelmente associadas com diferenças que ocorrem naturalmente devido às condições de cultivo nas quais os grãos foram submetidos. De acordo com Lee e Cho (2012), condições do solo e adubação e variações climáticas, como temperatura e precipitação afetam a composição química dos grãos de soja. Mesmo as amostras sendo coletas nos mesmos pontos durante o período de secagem, não houve segregação dos lotes recebidos na unidade, ocorrendo uma mistura dos grãos com diferentes composições provenientes da lavoura.

Por outro lado, o teor de lipídeos apresentou redução durante o período de secagem, independentemente da umidade de colheita e do manejo de distribuição adotado (Figura 6A e 6B). Diferenças entre manejos foram observadas nos grãos recém colhidos na faixa de umidade de 16-18% acondicionados sem manejo (18,35%) e com manejo nivelado (17,12%) (Tabela 4). A redução do teor de lipídeos durante o período de secagem está associado à ação de enzimas lipases que atuam na hidrólise da ligação éster dos triacilgliceróis, liberando ácidos graxos livres (ZIEGLER *et al.*, 2017).

Neste estudo, possivelmente a redução do teor de lipídeos é consequência do método de secagem utilizado, que expõe os grãos com elevado grau de umidade a um período longo de secagem em temperatura ambiente, favorecendo assim a ação das enzimas. A utilização do silo-secador é interessante para pequenas indústrias e agricultores devido ao menor custo das instalações e de operação. No entanto, este método produz uma frente de secagem onde os grãos na camada inferior podem secar excessivamente, enquanto que os grãos com elevada umidade na camada superior podem perder qualidade devido à uma exposição prolongada (OLATUNDE *et al.*, 2016). De acordo com Sadaka *et al.* (2019), a adoção de menores camadas de secagem, a utilização do manejo de transilagem e nivelamento e a instalação de um sistema de aquecimento no sistema de ventilação para o controle da temperatura e umidade do ar, auxiliam na redução do tempo de secagem e consequentemente na manutenção da qualidade dos grãos.

5.3 Índice de acidez, lipólise e produtos de oxidação do óleo

Os parâmetros de qualidade do óleo de soja durante o período de secagem em silo-secador com diferentes umidades de colheita e manejos da massa de grãos estão apresentados na Figura 6 e Tabela 5. A análise de variância demonstrou efeito simples ($P < 0,05$) de todos os fatores (umidade de colheita, manejo e período de secagem) na acidez lipídica (Apêndice 4). No percentual de lipólise, o efeito simples ($P < 0,05$) apenas do período de secagem foi observado (Apêndice 4). Para os coeficientes de extinção específicos K232 e K270 foi observado efeito ($P < 0,05$) apenas do manejo (Apêndice 4).

A acidez lipídica e o percentual de lipólise aumentaram durante o período de secagem, em ambas as umidades e manejos de distribuição utilizados (Figura 6). No entanto, os grãos submetidos à secagem com grau de umidade de 16-18% apresentaram valores mais elevados de acidez em comparação à 14-16%, independentemente do manejo adotado (Tabela 5). Comparativamente entre os manejos, após 40 dias de secagem os grãos com umidade de 16-18% submetidos ao silo-secador sem manejo (37,73%) e com manejo nivelado (36,20%) apresentaram acidez superior ao manejo transilado/nivelado (25,16%) (Tabela 5).

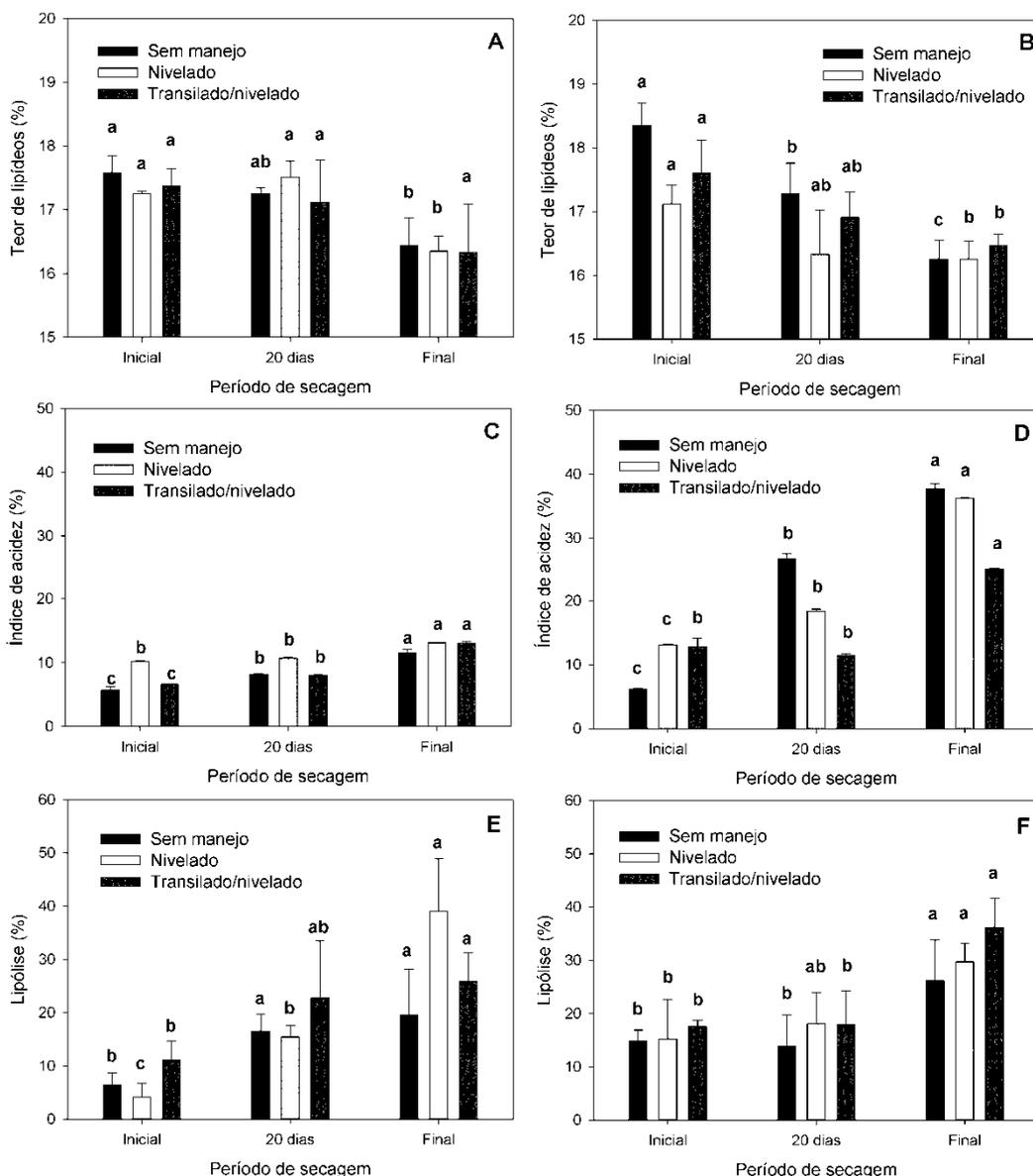


Figura 6. Teor de lipídeos, acidez lipídica e lipólise dos grãos submetidos à secagem em silo-secador com umidades de colheita de 14-16% (A, C e E) e 16-18% (B, D e F)

*Letras minúsculas fazem comparação entre períodos pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Os coeficientes de extinção específicos K232 e K270 foram maiores nos grãos submetidos a secagem sem manejo, seguido do manejo nivelado e transilado/nivelado (Tabela 5). Os produtos de oxidação mensurados pelo coeficiente K232 correspondem aos peróxidos e hidroperóxidos originados da oxidação primária dos ácidos graxos livres, e o K270 corresponde à oxidação destes compostos em álcoois, cetonas e aldeídos (CLODOVEO *et al.*, 2007).

Tabela 5. Parâmetros de qualidade do óleo de grãos de soja submetidos à secagem em silo-secador com diferentes umidades de colheita e manejos de distribuição da massa de grãos

Tratamentos	Inicial		20 dias		Final	
	14 a 16	16 a 18	14 a 16	16 a 18	14 a 16	16 a 18
<i>Acidez lipídica (%)</i>						
Sem manejo	5,68 ± 0,64 ^{AB}	6,31 ± 0,17 ^{AB}	8,19 ± 0,06 ^{BB}	26,70 ± 0,78 ^{Aα}	11,53 ± 0,52 ^{Bα}	37,73 ± 0,72 ^{Aα}
Nivelado	10,20 ± 0,07 ^{Bα}	13,13 ± 0,13 ^{Aα}	10,69 ± 0,16 ^{Bα}	18,40 ± 0,28 ^{Aβ}	13,07 ± 0,02 ^{Bα}	36,20 ± 0,22 ^{Aα}
Transilado/nivelado	6,59 ± 0,01 ^{BB}	12,87 ± 1,29 ^{Aα}	8,01 ± 0,07 ^{BB}	11,42 ± 0,23 ^{Aγ}	13,04 ± 0,24 ^{Bα}	25,16 ± 0,05 ^{AB}
<i>K270</i>						
Sem manejo	0,33 ± 0,08 ^α	0,51 ± 0,09 ^α	0,40 ± 0,06 ^α	0,35 ± 0,01 ^α	0,57 ± 0,35 ^α	0,52 ± 0,11 ^α
Nivelado	0,43 ± 0,03 ^α	0,22 ± 0,05 ^β	0,33 ± 0,01 ^α	0,37 ± 0,07 ^α	0,31 ± 0,11 ^{αβ}	0,47 ± 0,17 ^{αβ}
Transilado/nivelado	0,33 ± 0,00 ^α	0,21 ± 0,05 ^β	0,15 ± 0,02 ^β	0,23 ± 0,02 ^β	0,21 ± 0,04 ^β	0,33 ± 0,04 ^β
<i>K232</i>						
Sem manejo	0,36 ± 0,11 ^β	0,55 ± 0,07 ^α	0,45 ± 0,07 ^α	0,39 ± 0,02 ^α	0,57 ± 0,32 ^α	0,53 ± 0,18 ^{αβ}
Nivelado	0,53 ± 0,01 ^α	0,26 ± 0,09 ^β	0,37 ± 0,02 ^α	0,39 ± 0,06 ^α	0,32 ± 0,10 ^{αβ}	0,58 ± 0,15 ^α
Transilado/nivelado	0,38 ± 0,00 ^β	0,22 ± 0,03 ^β	0,18 ± 0,02 ^β	0,24 ± 0,07 ^β	0,25 ± 0,01 ^β	0,36 ± 0,03 ^β
<i>Lipólise (%)</i>						
Sem manejo	6,36 ± 2,41	14,82 ± 2,04	16,55 ± 3,21	13,84 ± 5,88	19,60 ± 8,51	26,23 ± 7,57
Nivelado	4,17 ± 2,52	15,21 ± 7,51	15,44 ± 2,21	18,07 ± 5,80	39,03 ± 9,82	29,73 ± 3,52
Transilado/nivelado	11,08 ± 3,52	17,54 ± 1,21	22,75 ± 10,69	17,88 ± 6,43	25,85 ± 5,39	36,13 ± 5,55

Médias ± desvio padrão seguido de letras maiúsculas fazem comparação pelo teste $t(P < 0,05)$ os grãos com diferentes graus de umidade. Letras gregas fazem comparação pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) os diferentes manejos na camada de grãos.

O aumento destes compostos nos grãos sem manejo está associado à menor circulação de ar nas regiões centrais e superior (cone) do silo-secador (Tabela 3). Isso acarreta em aumento da temperatura, que aliada à elevada umidade dos grãos, favorecem a ação de enzimas e microrganismos responsáveis por perdas quantitativas e qualitativas na fração lipídica. Estudo conduzido por Ziegler *et al.* (2017) demonstrou que os valores de acidez, K232 e K270 aumentaram gradativamente após 12 meses conforme a temperatura de armazenamento dos grãos de arroz marrom, preto e vermelho aumentaram de 16°C para 24, 32 e 40°C.

O aumento da acidez lipídica e da atividade da enzima lipase por meio dos resultados de lipólise corroboram com a redução do teor de lipídeos (Figura 6). Por este motivo, para a obtenção de grãos de soja com valores de acidez abaixo de 8%, condição exigida para a exportação, a secagem em silo-secador deve ser conduzida nos grãos colhidos com umidade entre 14-16% e manejo com transilagem nivelamento da massa de grãos. O período máximo de secagem depende da condição inicial dos grãos recém colhidos, no entanto, melhores são os parâmetros de qualidade dos grãos quanto menor o período de secagem.

5.5 Acidez da farinha e coloração dos grãos

A acidez da farinha dos grãos de soja submetidos a secagem em silo-secador com diferentes umidades de colheita e manejos da massa de grãos estão apresentados na Figura 7. A análise da variância demonstrou efeito simples ($P < 0,05$) apenas do manejo de distribuição (Apêndice 5). Aos 20 dias de secagem, nos grãos com umidade de 16-18% os menores valores de acidez da farinha foram observados no manejo nivelado (0,26%) em comparação aos grãos sem manejo (0,36%) (Figura 7B). Esse comportamento também foi observado ao final da secagem dos grãos colhidos com umidade de 14-16% (Figura 7A). Maiores valores de acidez estão associados à uma série de reações químicas e enzimáticas responsáveis pela desestruturação da membrana celular e lixiviação de compostos como íons H^+ , ácidos graxos livres e peptídeos hidrolisados a partir de proteínas e lipídeos (NASAR-ABBAS *et al.*, 2008; RANI *et al.*, 2013).

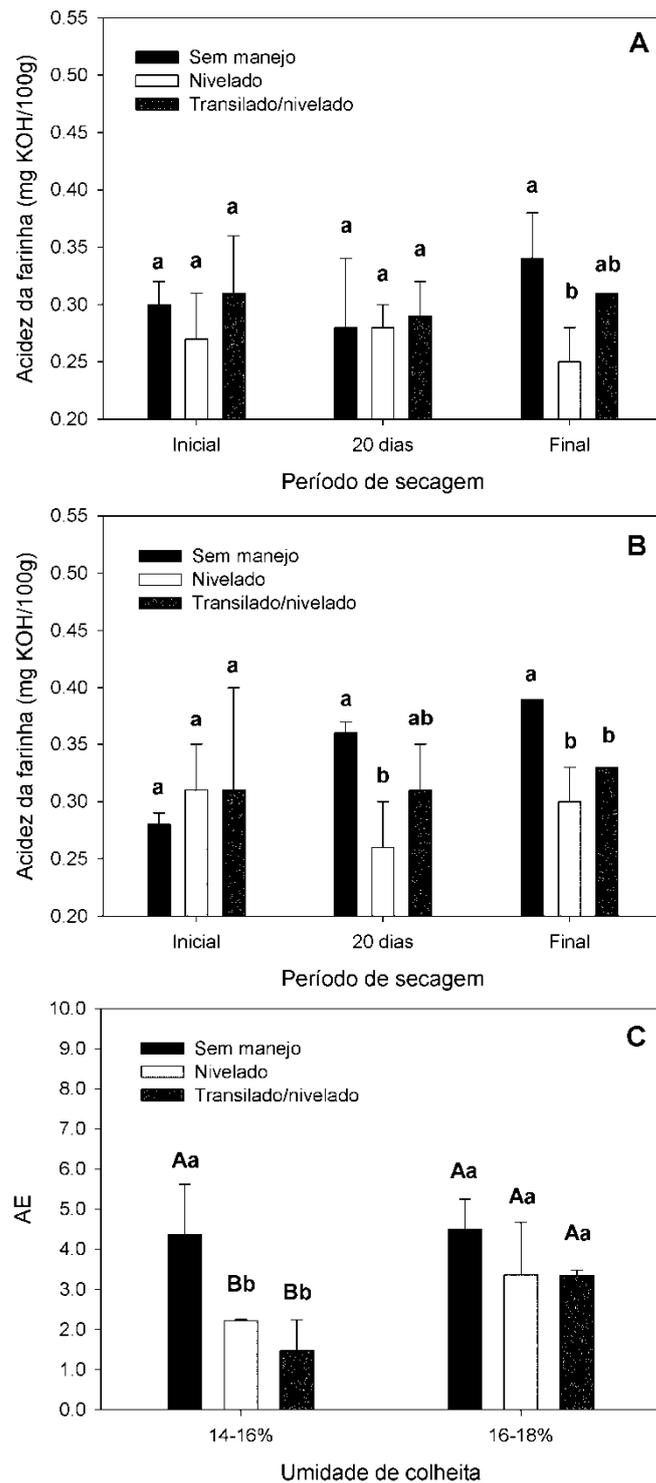


Figura 7. Acidez da farinha dos grãos colhidos com graus de umidade de 14-16% (A) e 16-18% (B) e a variação de cor (ΔE) (C) durante a secagem em silo-secador com diferentes manejos da massa

*Letras maiúsculas fazem comparação entre umidades pelo teste t ($P < 0,05$) e letras minúsculas fazem comparação entre manejos pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

A variação da coloração (ΔE) dos grãos de soja submetidos a secagem em silo-secador com diferentes umidades de colheita e manejos da massa de grãos estão apresentados na Figura 7C. A análise de variância demonstrou efeito simples ($P < 0,05$) apenas da umidade e do manejo de distribuição (Apêndice 5). O ΔE foi menor nos grãos submetidos a secagem com manejo transilado/nivelado (1,47), seguido do nivelado (2,22) em comparação com os grãos do silo-secador sem manejo (4,36), somente quando colhidos com grau de umidade entre 14-16%. Independentemente do manejo, o ΔE foi maior nos grãos colhidos com grau de umidade entre 16-18%.

As alterações na coloração estão associadas ao escurecimento dos grãos devido às condições de umidade e temperatura que favorecem o crescimento fúngico, o aumento de grãos ardidos e a degradação de compostos fenólicos e carotenóides (ALENCAR *et al.*, 2009; ZIEGLER *et al.*, 2016). Alencar *et al.* (2009) observaram um aumento mais acentuado do ΔE em grãos de soja nos maiores graus de umidade e a temperaturas de armazenamento. Segundo os autores, o escurecimento dos grãos reflete o seu envelhecimento e conseqüentemente alterações em suas propriedades qualitativas. Os resultados de acidez da farinha e ΔE são consistentes com o aumento da acidez e dos produtos de oxidação do óleo (Tabela 5), reforçando a hipótese de que a adoção do nivelamento e transilagem auxiliam na redução das reações metabólicas que danificam os grãos.

6 CONCLUSÃO

A utilização do manejo de transilagem e nivelamento da massa de grãos reduz o custo operacional da secagem em razão do menor tempo de secagem devido à melhor uniformidade de vazão entre o centro e a lateral do silo-secador.

O teor de lipídeos reduz e a acidez lipídica aumenta durante a secagem, independentemente do manejo utilizado. No entanto, as menores alterações foram observadas nos grãos colhidos com umidade de 14-16% e submetidos ao manejo transilado/nivelado.

Os produtos de oxidação do óleo (K232 e K270), a acidez da farinha e a variação da coloração são maiores nos grãos submetidos à secagem sem manejo.

Diante do exposto, para a obtenção dos menores custos operacionais e melhores parâmetros de qualidade da soja, a secagem em silo-secador deve ser conduzida nos grãos com teor de umidade abaixo de 16% associado ao manejo de transilagem e nivelamento da massa de grãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC, 2000. Fat acidity e general method. Method 02-01A. In: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. **American Association of Cereal Chemists**, Inc, St. Paul, MN, USA.

ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.D.; LACERDA FILHO, A.F.; PETERNELLI, L.A.; COSTA, A.R. (2009). Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 606- 613, 2009.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 18^a ed. Washington DC US, 2006.

AOCS. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemist's Society. **American Oil Chemist's Society**, 5th ed. Champaign, IL, USA, 2009.

BARTOSIK, R. E.; MAIER, D. E. Effect of airflow distribution on the performance of NA/LT in-bin drying of corn. **Transactionsofthe ASAE**, v. 27, p. 1579-1585, 2006.

BRASIL. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Secretaria de Defesa Agropecuária**, Brasília, v. 399, 2009.

BUCKLIN, R.; THOMPSON, S.; MONTROSS, M.; ABDEL-HADI, A. Grain Storage Systems Design. In: *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering*, Myer Kutz (Editor), 2^oed., Academic Press, p. 123-175, 2013. ISBN 9780123858818

CHUNG, D. S.; MAGHIRANG, R. G.; KIM, Y. S.; KIM, M. S. Effects of moisture and fine material on static pressure drops in a bed of grain sorghum and rough rice. **Transactions of the ASAE**, v. 44, p. 331–336, 2001.

CLODOVEO, M. L.; DELCURATOLO, D.; GOMES, T.; COLELLI, G. Effect of different temperatures and storage atmospheres on Coratina olive oil quality. **Food Chemistry**, v. 102, p. 571–576, 2007.

CONAB. Série histórica das safras – Soja. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Fonte: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>, consultado em 09 de junho de 2020.

EMATER. Série histórica das safras – Soja. **Entidade Autárquica de Assistência Técnica e Extensão Rural**. Fonte: <http://www.emater.tche.br/site/servicos/serie-historica.php#.XueAAkVKjIV>, consultado em 09 de junho de 2020.

ELIAS, M.C.; OLIVEIRA, M.; LANG, G. H.; VANIER, N. **Certificação de unidades armazenadoras de grãos e fibras no Brasil**. 3. ed. Pelotas: Cópias Santa Cruz, 2017. v. I. 375p. FARHOOSH, R.; EINAFSHAR, S.; SHARAYEI, P. The effect of commercial refining steps on the rancidity measures of soybean and canola oils. **Food Chemistry**, v. 115, p. 933-938, 2009.

FERREIRA, C. D.; OLIVEIRA, M.; ZIEGLER, VALMOR. **Tecnologia industrial de grãos e derivados**. 1. ed. Curitiba: Editora CRV, 2020. v. I. 326p.

GUIMARRÃES, D.S.; DA LUZ, C.A.S.; PERES, W.B.; DA LUZ, M.L.G.S.; GADOTTI, G.I. **Secagem de grãos e sementes**. Editora Santa Cruz, Pelotas, 314p, 2015.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Storage affects color and chemical composition and tofu making quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 28, p. 473-88, 2004.

KAGAWA, A. **Standard table of food composition in Japan**. University of Nutrition for Woman, Tokyo, p. 104-105, 1995.

KAUR, J.; RAMAMURTHY, V.; KOTHARI, R. M. Characterization of oat lipase for lipase for lipolysis of rice bran oil. **Biotechnology Letters**, v. 15, p. 257-262, 1993.

KUMAR, V.; RANI, A.; DIXIT, A. K.; PRATAP, D.; BHATNAGAR, D. A comparative assessment of total phenolic content, ferric reducing-anti-oxidative power, free radical-scavenging activity, vitamin C and isoflavones content in soybean with varying seed coat colour. **Food Research International**, 43, 323-328, 2010.

KUMAR, V.; RANI, A.; DIXIT, A.; BHATNAGAR, D.; CHAUHAN, G. S. Relative changes in tocopherols, isoflavones and antioxidative properties of soybean during different reproductive stages. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 57, 2705–2710, 2009.

LAWRENCE, J.; MAIER, D. E. Three-dimensional airflow distribution in a maize silo with peaked, levelled and cored grain mass configurations. **Biosystems engineering**, v. 110, p. 321-329, 2011.

LEE, J. H.; CHO, K. M. Changes occurring in compositional components of black soybeans maintained at room temperature for different storage periods. **Food Chemistry**, n.131, p.161-169, 2012.

LIU, C.; WANG, X.; MA, H.; ZHANG, Z.; GAO, W.; XIAO, L. Functional properties of protein isolates from soybeans stored under various conditions. **Food Chemistry**, v. 111, p. 29-37, 2008.

LIU, R. Whole grain phytochemicals and health. **Journal of Cereal Science**, 46, 207-219, 2007.

NASAR-ABBAS, S.M.; PLUMMER, J.A.; SIDDIQUE, K.H.M.; WHITE, P.; HARRIS, D.; DODS, K. Cooking quality of faba beans after storage at high temperature and the role of lignins and other phenolics in bean hardening. **LWT- Food Science and Technology**, v. 41, p. 1260–1267, 2008.

NETO P. R. C.; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v. 23, p. 531-537, 2000.

OLATUNDE, G.; ATUNGULU, G. G.; SADAKA, S. CFD modeling of air flow distribution in rice bin storage system with different grain mass configurations. **BiosystemsEngineering**, v. 151, p. 286–297, 2016.

OLIVEIRA, M. de. Temperatura na secagem e condições de armazenamento sobre propriedades da soja para consumo e produção de biodiesel. **Dissertação de mestrado**. Dissertação, 70p. (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

OLIVEIRA, M.; FERREIRA, C.D.; VILLANOVA, F.A.; VANIER, N.V.; ELIAS, M.C. **Classificação oficial, pós-colheita e industrialização de soja**. Editora Santa Cruz, Pelotas, 355p., 2017.

OOMAH, B.D.; CORBÉ, A.; BALASUBRAMANIAN, P. Antioxidant and anti-inflammatory activities of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) hulls. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 58, 8225-8230, 2010.

PARK, C.; KIM, Y.; PARK, K.; KIM, B. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, 48, 25-29, 2012.

PREECE, K.E.; HOOSHYAR, N.; ZUIDAM, N.J. Whole soybean protein extraction processes: A review. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 43, 163-172, 2017.

RANI, P.R.; CHELLADURAI, V.; JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; KAVITHA-ABIRAMI, C.V. Storage studies on pinto beans under different moisture contents and temperature regimes. **Journal of Stored Products Research**, v.52, p. 78–85, 2013.

SADAKA, S.; ATUNGULU, G.G.; LUTHRA, K. Layer drying of grains and its potential for rough rice drying. **Division of Agriculture Research and Extension**, University of Arkansas System, FSA1093, 2019. Fonte: <http://www.uaex.edu>

SILVA, J. S., AFONSO, A. D. L., DONZELLES, S. M. L. Secagem e secadores. In: **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. SILVA, J.S. (Editor), 2ªed, Viçosa: Aprenda Fácil, p. 107-138, 2008.

SOUZA, G.F.M.V.; MIRANDA, R.F.; BARROZO, M.A.S. Soybean (*Glycine max* L. Merrill) seed drying in fixed bed: Process heterogeneity and seed quality. **Drying Technology: An International Journal**, v. 33, p. 1779–1787, 2015a.

SOUZA, G.F.M.V.; MIRANDA, R.F.; LOBATO, F.S.; BARROZO, M.A.S. Simultaneous heat and mass transfer in a fixed bed dryer. **Applied Thermal Engineering**, v. 90, p. 38–44, 2015b.

SYAHRUL, S.; HAMDULLAHPUR, F.; DINCER, I. Thermal analysis in fluidized bed drying of moist particles. **Applied Thermal Engineering**, v. 22, p. 1763–1775, 2002.

TOHIDI, M.; SADEGHI, M.; TORKI-HARCHEGANI, M. Energy and quality aspects for fixed deep bed drying of paddy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 519–528, 2017.

WEINGARTNER, K.E. Processing, nutrition and utilization of soybeans. In: **Soybeans for the tropics: Research, production and utilization**. SING, S.R.; RACHIE, K.; DASCHIEL, K.E. (Editors). Interscience Publications, UK, 1987p, 149-178.

XU, B.; CHANG, S. K. C. Anthocyanins and antioxidant properties of yellow and black soybeans as affected by thermal. **J. Agric. Food Chem**, 56, 7165–7175, 2008.

ZIEGLER, V.; DIETRICH, C.; MICHELE, F.; CRIZEL, M., OLIVEIRA, M; CARDOSO, M. Pigmented rice oil: Changes in oxidative stability and bioactive compounds during storage of whole grains. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, e13295, 2017.

ZIEGLER, V.; VANIER, N.L.; FERREIRA, C.D.; PARAGINSKI, R.T.; MONKS, J.L.F.; ELIAS, M.C. Changes in the bioactive compounds content of soybean as a function of grain moisture content and temperature during long-term storage. **Journal of Food Science**, 81, 762–768, 2016.

APÊNDICES

Apêndice 1. Máquina de ar e peneiras da unidade de armazenamento do estudo utilizada para a remoção de impurezas e matérias estranhas



Apêndice 2. Medição da vazão de ar na parte superior da massa de grãos



Apêndice 3. Análise de variância (ANOVA) da composição química dos grãos de soja submetidos a secagem em silo-secador

Variáveis independentes	GL	Média dos quadrados				
		Proteína	Lipídeos	Fibras	Cinzas	Amido
Umidade	1	1,42 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,12*	0,05 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Manejo	2	5,13*	0,74*	0,01 ^{ns}	0,09*	0,94*
Período	2	1,01 ^{ns}	2,34*	0,04 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Umidade*Manejo	2	0,66 ^{ns}	0,64*	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,78*
Umidade*Período	2	0,48 ^{ns}	1,46*	0,02 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Manejo*Período	4	0,51 ^{ns}	0,87*	0,03*	0,14*	1,91*
Umidade*Manejo*Período	4	0,33 ^{ns}	0,93*	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,44*
CV (%)		1,26	2,06	0,39	2,76	1,33

* Efeito significativo da variável independente. ns = Efeito não significativo da variável independente.

Apêndice 4. Análise de variância (ANOVA) dos parâmetros de qualidade do óleo dos grãos de soja submetidos a secagem em silo-secador

Variáveis independentes	GL	Média dos quadrados			
		Acidez lipídica	K232	K270	Lipólise
Umidade	1	560,23*	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	54,40 ^{ns}
Manejo	2	126,22*	0,12*	0,13*	101,41 ^{ns}
Período	2	68,10*	0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}	978,88*
Umidade*Manejo	2	119,08*	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	41,41 ^{ns}
Umidade*Período	2	457,50*	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	98,00*
Manejo*Período	4	177,87*	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	47,71 ^{ns}
Umidade*Manejo*Período	4	109,92*	0,04*	0,04*	50,52*
CV (%)		2,50	19,17	18,18	30,49

* Efeito significativo da variável independente. ns = Efeito não significativo da variável independente.

Apêndice 5. Análise de variância (ANOVA) da acidez da farinha e da variação de coloração dos grãos de soja submetidos a secagem em silo-secador

Variáveis independentes	GL	Média dos quadrados	
		Acidez Farinha	ΔE
Umidade	1	0,00 ^{ns}	6,64*
Manejo	2	0,01*	9,21*
Período	2	0,00 ^{ns}	3,17 ^{ns}
Umidade*Manejo	2	0,00 ^{ns}	1,55 ^{ns}
Umidade*Período	2	0,00 ^{ns}	0,93 ^{ns}
Manejo*Período	4	0,00 ^{ns}	0,24 ^{ns}
Umidade*Manejo*Período	4	0,00 ^{ns}	0,06 ^{ns}
CV (%)		11,11	22,77

* Efeito significativo da variável independente. ns = Efeito não significativo da variável independente.