

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Marília Boff de Oliveira

**EFEITO DE DIFERENTES OPERAÇÕES DE SECAGEM E
ARMAZENAGEM NA QUALIDADE DE DUAS CULTIVARES DE SOJA
(*Glycine Max (L.) Merrill*)**

Santa Maria, RS

2018

Marília Boff de Oliveira

**EFEITO DE DIFERENTES OPERAÇÕES DE SECAGEM E
ARMAZENAGEM NA QUALIDADE DE DUAS CULTIVARES DE
SOJA (*Glycine Max (L.) Merrill*)**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

Santa Maria, RS

2018

de Oliveira, Marília
EFEITO DE DIFERENTES OPERAÇÕES DE SECAGEM E
ARMAZENAGEM NA QUALIDADE DE DUAS CULTIVARES DE SOJA
(Glycine Max (L.) Merrill) / Marília de Oliveira.- 2018.
98 p.; 30 cm

Orientador: Paulo Carteri Coradi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2018

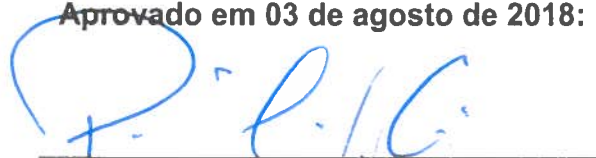
1. Engenharia de pós-colheita 2. Pré-processamento 3.
Qualidade 4. Grãos I. Carteri Coradi, Paulo II. Título.

Marília Boff de Oliveira

**EFEITO DE DIFERENTES OPERAÇÕES DE SECAGEM E ARMAZENAGEM
NA QUALIDADE DE DUAS CULTIVARES DE SOJA (*Glycine Max (L.)
Merrill*)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação Em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola.**


Aprovado em 03 de agosto de 2018:



Paulo Carteri Corádi, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Airton dos Santos Alonço, Dr. (UFSM)



Joseane Erbice dos Santos, Dra. (IFFAR)

Santa Maria, RS
2018

DEDICATÓRIA

À minha família, em especial meus pais Guilherme Meireles de Oliveira e Marli Terezinha Boff de Oliveira, à minha irmã Zanandra Boff de Oliveira e ao meu afilhado Antônio de Oliveira Knies.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida, pela minha família e por tornar possível a concretização de um sonho, dando-nos, além da vida, amor e força.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade e estrutura disponibilizada.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

Ao professor orientador Paulo Carteri Coradi pela oportunidade, ensinamentos, sugestões, disponibilidade, atenção, confiança e paciência.

À Cooperativa Tritícola de Espumoso LTDA e ao Laboratório de Bromatologia e Nutrição de Ruminantes – UFSM pela oportunidade concedida para realização dos trabalhos.

Aos meus pais Guilherme Meireles de Oliveira e Marli Terezinha Boff de Oliveira pelo exemplo de vida, me orientando pelos caminhos corretos da educação, honestidade e perseverança. Pelo incentivo em todos os momentos e por acreditar nos meus sonhos.

À minha irmã Zanandra Boff de Oliveira pelo incentivo, carinho e companheirismo, por acreditar nos meus sonhos e por ser minha grande inspiração como pessoa e como profissional.

Muito Obrigado!

EPÍGRAFE

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo”

Martin Luther King

EFEITO DE DIFERENTES OPERAÇÕES DE SECAGEM E ARMAZENAGEM NA QUALIDADE DE DUAS CULTIVARES DE SOJA (*Glycine Max (L.) Merrill*)

AUTOR: Marília Boff de Oliveira

ORIENTADOR: Paulo Carteri Coradi

Para adequar-se aos padrões internacionais de comercialização há uma preocupação crescente com relação à qualidade dos grãos de soja produzidos, cabendo às etapas de pós-colheita conservar a qualidade dos grãos até a comercialização. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física e físico-química de grãos de soja de cultivares RR e RR2-PRO submetidas a diferentes temperaturas de secagem e condições de armazenamento sob o manejo de diferentes teores de água em condições e volumes reais de recebimento e armazenamento de uma unidade armazenadora, e condições controladas em sistemas protótipos de secagem e armazenagem. O experimento I foi realizado na Cooperativa Tritícola de Espumoso Ltda. (Cotriel), do município de Rio Pardo, RS. Os tratamentos experimentais foram: T1 - Grãos de soja úmida da lavoura; T2 - Grãos de soja seca da lavoura RR; T3 - Grãos de soja seca da lavoura RR2; T4 - Grãos de soja seca em secador 1; T5 - Grãos de soja seca em secador 2; T6 - Grãos de soja seca em secador 3, T7 - Grãos de soja úmida da lavoura (SUL) + grãos de soja seca no secador - Silo 1; T8 - Grãos de soja seca no secador - Silo 2; T9 - Grãos de soja seca da lavoura RR2 - Silo 3; T10 - Grãos de soja seca da lavoura RR - Silo 4. O experimento II foi realizado na Universidade Federal de Santa Maria, onde foi utilizado duas cultivares (RR e RR2 PRO), três temperaturas de secagem sendo 35, 45 e 55 °C, após a secagem os lotes foram armazenados por um período de 60 dias nas temperaturas de 10 e 20 °C. A qualidade física e físico-química dos grãos de soja foi determinada antes e após a secagem e ao longo do tempo de armazenamento, realizando avaliações classificação física, porosidade, massa específica unitária e aparente, condutividade elétrica, massa seca, proteína bruta e lipídios. Conclui-se que a condutividade elétrica aumenta de acordo com o aumento da temperatura de secagem, a cultivar RR possui maior teor de proteína e lipídios, com o aumento da temperatura de secagem aumenta a porosidade e diminui a massa específica, a porosidade dos grãos aumentam ao longo do processo de armazenamento, em condições de unidade armazenadora, a condutividade elétrica aumentou com o tempo de armazenamento, os grãos de soja armazenados no Silo 1 apresentaram maior rendimento em extrato etéreo e proteína bruta, comparando-se com as condições do Silo 2, Silo 3 e Silo 4, independente da cultivar de soja.

Palavras-Chave: Engenharia de Pós-Colheita, Pré-Processamento, Qualidade, Grãos.

EFFECT OF DIFFERENT DRYING AND STORAGE OPERATIONS IN THE QUALITY OF TWO SOY CULTIVARS (*Glycine Max (L.) Merrill*)

AUTOR: Marília Boff de Oliveira

ORIENTADOR: Paulo Carteri Coradi

In order to adapt to the international marketing standards, there is a growing concern regarding the quality of the soybeans produced, and the post-harvest stages can preserve the quality of the beans until the commercialization. The objective of this work was to evaluate the physical and physico-chemical quality of soybean grains of RR and RR2-PRO cultivars submitted to different drying temperatures and storage conditions under the different water contents under real conditions and volumes of receiving and storage of a storage unit, and controlled conditions in prototype drying and storage systems. The experiment I was carried out at Cooperativa Tritícola de Espumoso Ltda. (Cotriel), in the municipality of Rio Pardo, RS. The experimental treatments were: T1 - Wet soybean grains; T2 - Dry soybean grains RR; T3 - Dry soybean grains RR2; T4 - Dry soybeans in dryer 1; T5 - Dry soybeans in dryer 2; T6 - Dry soybean grains in dryer 3, T7 - Wet soybean grains (SUL) + dry soybeans in dryer - Silo 1; T8 - Dry soybeans in dryer - Silo 2; T9 - Dry soybean grains RR2 - Silo 3; The experiment II was carried out at the Federal University of Santa Maria, where two cultivars (RR and RR2 PRO) were used, three drying temperatures being 35, 45 and 55 ° C, after drying the batches were stored for a period of 60 days at temperatures of 10 and 20 ° C. The physical and physicochemical quality of the soybean grains was determined before and after drying and during the storage time, evaluating the physical classification, porosity, unit and apparent specific mass, electrical conductivity, dry mass, crude protein and lipids. It is concluded that the electrical conductivity increases according to the increase of the drying temperature, the cultivar RR has higher content of protein and lipids, with the increase of the drying temperature increases the porosity and decreases the specific mass, the porosity of the beans increases the electrical conductivity increased with the storage time, the soybean grains stored in Silo 1 presented higher yield in ethereal extract and crude protein, compared to the conditions of Silo 2 , Silo 3 and Silo 4, independent of the soybean cultivar.

Keywords: Post-Harvest Engineering, Pre-Processing, Quality, Grains.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da capacidade estática do sistema de armazenamento brasileiro do ano de 2001 a 2016.....	20
Figura 2 - Fluxograma de uma unidade de armazenadora de grãos.....	21
Figura 3 - Sistema de amostragem, calador manual (A), calador pneumático (B) e (C) calador pneumático.	22
Figura 4 - Classificação física dos grãos, quarteadores de amostras (A), mesa e equipamentos para classificação física (B).	22
Figura 5 - Sistema de balança rodoviária para pesagem de cargas de grãos em caminhões.	23
Figura 6 - Sistema de descarga e recebimento de grãos com tombadores mecânicos.	23
Figura 7 - Sistema de pré-limpeza de ar e peneira	24
Figura 8 - Sistemas de secagem de grãos, secador contínuo com reaproveitamento do ar de secagem (A), secador intermitente (B), secador contínuo de fluxos concorrentes (C), secador de camada fixa (D).....	26
Figura 9 - Sistemas de armazenagem, silos metálicos verticais (A), silos verticais de concreto (B), silos graneleiros horizontais (C), armazenagem convencional em sacaria (D), silos bolsa (E).....	26
Figura 10 - Sistemas de transportes de grãos, elevadores de caçamba (A), correias transportadoras (B), correntes transportadoras (C), roscas transportadoras (D).	28
Figura 11 - Representação das curvas de equilíbrio higroscópico de dessorção e adsorção em produtos agrícolas.	30
Figura 12 - Representação esquemática da secagem.	32
Figura 13 - Representação esquemática das ligações da água e a distribuição das moléculas de água no espaço poroso dos tecidos vegetais.....	33
Figura 14 - Diagrama relacionando a atividade de água (A_w) e os teores de água com as principais causas de deterioração dos grãos armazenados. ...	39
Figura 15 - Unidade de pré-processamento e armazenamento de grãos – Cotriel.	40

Figura 16 - Unidade de pré-processamento e armazenamento de grãos de soja (Armazém 1 – Cooperativa-Cotriel) – Plano de amostragem experimental.....	41
Figura 17 - Procedimentos de amostragem na unidade de pré-processamento e armazenamento de grãos de soja (Armazém 1 – Cooperativa-Cotriel).	42
Figura 18 - Unidade de pré-processamento e armazenamento de grãos de soja (Armazém 1 – Cooperativa-Cotriel) – Plano de amostragem experimental.....	42
Figura 19 - Procedimentos de amostragem na unidade de pré-processamento e armazenamento de grãos de soja (Armazém 2 – Cooperativa-Cotriel).	43
Figura 20 - Vistas da estrutura e equipamentos do Armazém 1 (Cooperativa Cotriel).	44
Figura 21 - Vista da estrutura e equipamentos que compõe o Armazém 2 (Cooperativa Cotriel).	45
Figura 22 - Sistemas de automação do secador/fornalha e transportadores da unidade armazenadora de grãos.	46
Figura 23 – Normativa de classificação física da soja.....	53
Figura 24 - Análises de condutividade elétrica em grãos de soja. A) Amostras mantidas em câmara de germinação a 25 °C; B) Determinação da condutividade elétrica.....	55
Figura 25 - Equipamentos utilizados para as análises físico-químicas. A) Bloco digestor; B) Destilador; C) Ácido sulfúrico utilizado na titulação do teor de nitrogênio	56
Figura 26 - Equipamentos e processos realizados para determinação de Extrato Etéreo. A) Amostra moída a 1 mm para determinação das análises; B) Determinação de massa seca; C) Pesagem da amostra para determinação de extrato etéreo, D) equipamento extrator de óleo. .	57
Figura 27 - Curvas de secagem de grãos de soja de diferentes lotes, em secador contínuo à temperatura do ar de secagem de 90 °C.....	58
Figura 28 - Temperaturas da massa de grãos armazenada, monitoradas pelo sistema de termometria instalada no interior do Silo 1.....	63

Figura 29 - Temperaturas da massa de grãos armazenada, monitoradas pelo sistema de termometria instalada no interior do Silo 2.....	63
Figura 30 - Temperaturas da massa de grãos armazenada, monitoradas pelo sistema de termometria, instalada no interior do Silo 3.....	64
Figura 31 - Temperaturas da massa de grãos armazenada, monitoradas pelo sistema de termometria, instalada no interior do Silo 4.....	64
Figura 32 - Curvas de secagem de grãos de soja da cultivar RR.	70
Figura 33 Curvas de secagem de grãos de soja da cultivar RR2.....	71
Figura 34 - Umidade de equilíbrio higroscópico de grãos de soja armazenada. ...	73
Figura 35 - Matéria seca (%) de lotes de grãos de soja em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento.	75
Figura 36 - Massa específica aparente (kg m^{-3}) de lotes de grãos de soja em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento.	76
Figura 37 - Massa específica unitária (kg m^{-3}) de lotes de grãos de soja em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento.	77
Figura 38 - Porosidade (%) da massa de grãos em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento.	78
Figura 39 - Análise de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento.	79
Figura 40 - Proteína bruta (%) em grãos de soja armazenada em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento.	80
Figura 41 - Extrato etéreo (%) em grãos de soja armazenados em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equações para a determinação da umidade de equilíbrio higroscópico em produtos agrícolas.....	30
Tabela 2- Modelos matemáticos para determinação da razão de umidade em produtos agrícolas.....	33
Tabela 3. Condições do ar ambiente e dos grãos de soja antes e após a secagem – Experimento I.....	59
Tabela 4. Balanço de massa dos grãos de soja na secagem – Experimento I.	60
Tabela 5. Balanço de energia do sistema de secagem – Experimento I.....	60
Tabela 6. Continuação - balanço de energia do sistema de secagem – Experimento I.	60
Tabela 7. Classificação física de grãos de soja de diferentes lotes após secagem à temperatura do ar de 90 °C.....	61
Tabela 8. Qualidade físicas e físico-químicas de lotes de grãos de soja manejadas em unidade de recebimento, secagem e armazenamento.....	62
Tabela 9. Teores de água (b.u.) (%) de lotes de grãos de soja armazenadas.....	65
Tabela 10. Classificação física de grãos de soja armazenadas durante 30 e 60 dias.	65
Tabela 11. Matéria seca (%) de lotes de grãos de soja armazenadas.....	66
Tabela 12. Massa específica unitária (kg m^{-3}) de lotes de grãos de soja armazenada.	66
Tabela 13. Massa específica aparente (kg m^{-3}) de lotes de grãos de soja armazenada	67
Tabela 14. Porosidade (%) de massa de grãos de soja armazenada.....	67
Tabela 15. Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$) de lotes de grãos de soja armazenada	68
Tabela 16. Teores de óleo (%) de lotes de grãos de soja armazenada	
Tabela 17. Proteína bruta (%) de lotes de grãos de soja armazenada	
Tabela 18. Balanço de energia dos grãos de soja na secagem – Experimento II.	
Tabela 19 - classificação física da soja após processo de secagem sob diferentes temperaturas.	72

Tabela 20. Classificação física de grãos de soja armazenadas durante 30 e 60 dias.	74
Tabela 21. Matéria seca (%) de lotes de grãos de soja após a secagem com diferentes temperaturas do ar.	74
Tabela 22. Massa específica aparente (kg m^{-3}) de grãos de soja após a secagem com diferentes temperaturas do ar.....	76
Tabela 23. Massa específica unitária (kg m^{-3}) de grãos de soja após a secagem com diferentes temperaturas do ar	77
Tabela 24. Porosidade (%) da massa de grãos de soja após a secagem com diferentes temperaturas do ar	78
Tabela 25. Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) de lotes de grãos de soja após a secagem com diferentes temperaturas do ar	79
Tabela 26. Proteína bruta (%) em grãos de soja após secagem com diferentes temperaturas do ar	80
Tabela 27. Extrato etéreo (%) em grãos de soja na secagem.....	81

LISTA DE ABBREVIATURAS E SIGLAS

EE	Extrato etéreo
MS	Matéria seca
PB	Proteína bruta
RR	Soja transgênica
RR/RR2 PRO	Soja transgênica intacta
SSLRR	Grãos de soja seca da lavoura transgênica
SSLRR	Grãos de soja seca da lavoura transgênica
SSLRR2	Grãos de soja seca da lavoura transgênica intacta
SSLRR2	Grãos de soja seca da lavoura transgênica intacta
SSS1	Grãos de soja seca em secador 1
SSS2	Grãos de soja seca em secador 2
SSS3	Grãos de soja seca em secador 3
SUL	Grãos de soja úmida da lavoura
SUL	Grãos de soja úmida da lavoura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	HIPÓTESES	17
4	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
4.1	Cultura da soja	17
4.2	Cultivares de soja.....	18
4.3	Estruturas e operações de pós-colheita	19
4.4	Alterações da qualidade de grãos soja na secagem	29
4.5	Alterações da qualidade de grãos de soja na armazenagem.....	37
5	MATERIAIS E MÉTODOS	39
5.1	Experimento I	39
5.2	Experimento II	48
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
6.1	Experimento I	58
6.2	Experimento II	70
7	CONCLUSÕES.....	82
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
9	ANEXOS.....	90
9.1	Experimento I	90
9.2	Experimento II	93

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a oleaginosa mais cultivada no mundo, com um mercado em plena expansão no Brasil, sendo atualmente o segundo maior produtor mundial, destacando-se os estados do Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e Mato Grosso do Sul.

Os grãos de soja produzidos são destinados à extração de óleos e farelos para as indústrias de rações animais, e outra parcela da produção é exportada como matéria-prima há diversos países da Europa e Ásia. Para adequar-se aos padrões internacionais de comercialização há uma preocupação crescente do Brasil com relação à qualidade dos grãos produzidos. Dessa forma, cabe às etapas de pós-colheita conservar a qualidade dos grãos colhidos até a comercialização através do manejo adequado dos grãos nas operações de pós-colheita, minimizando perdas quantitativas e qualitativas.

Embora a secagem seja uma operação fundamental para a redução dos teores de água dos grãos até as condições de armazenamento, esse processo térmico não pode ser severo em termos de tempo e temperatura, pois além da remoção da água, a secagem poderá interferir na estrutura físico-química dos grãos, promovendo desestruturas nos tecidos celulares e acelerando o processo físico de deterioração dos grãos, conseqüentemente poderá aumentar os índices de acidez e redução dos teores de óleo e proteínas.

No armazenamento as principais perdas ocorrem principalmente devido a falta de monitoramento das condições de umidade e temperatura do grão e do ambiente em que o produto está armazenado. Estes fatores interferem na umidade de equilíbrio higroscópico e na respiração da massa de grãos, influenciando diretamente na presença de insetos, desenvolvimento de microrganismos e alterações físico-químicas dos grãos.

A heterogeneidade dos lotes de grãos colhidos do início ao final do período de colheita, que destinados às unidades de pós-colheita dificulta a manutenção das capacidades das operações de recebimento, secagem e armazenagem em alta produtividade, bem como a qualidade final dos lotes. O monitoramento e o manejo dos produtos e processos quanto aos teores de água e impurezas na massa de grãos, a temperatura do ar e dos grãos durante a secagem e a umidade de equilíbrio

higroscópico dos grãos armazenados é fundamental e devem ser feitos via amostragem e controle dos grãos nas operações de pré-limpeza, secagem e armazenagem.

Atualmente surgiram outros pontos relevantes para controle, que é a diversidade genética das sementes e as alterações que poderiam ocorrer com os grãos na pós-colheita, até então pouco conhecidas. Embora existam cobranças diferenciadas sobre as tecnologias genéticas de grãos de soja recebidas em unidade armazenadoras de grãos, não temos um controle sobre esses produtos durante as etapas de secagem e armazenagem, quanto à qualidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Objetivou-se neste trabalho avaliar a qualidade física e físico-química de grãos de soja de cultivares RR e RR2-PRO submetidas a diferentes temperaturas de secagem e condições de armazenamento sob o manejo de diferentes teores de água em condições e volumes reais de recebimento e armazenamento de uma unidade armazenadora, e condições controladas em sistemas protótipos de secagem e armazenagem.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar se os manejos realizados em escala real estão atendendo o os padrões de qualidade, comparando com manejos laboratoriais;
- Avaliar a influencia do processo de secagem na qualidade física e química de grãos de soja;
- Avaliar a influencia diferentes temperaturas de secagem na qualidade física e química de grãos de soja RR e RR2 PRO;
- Avaliar a influencia do processo de armazenamento sob diferentes teores de água na qualidade física e química de grãos de soja;
- Avaliar a influencia do processo de armazenamento sob diferentes temperaturas de armazenamento na qualidade física e química de grãos de soja.

3 HIPÓTESES

- Supõe-se que o aumento da temperatura e tempo do processo de secagem, assim como o aumento do período de armazenamento, diminuem a qualidade do grão, diminuindo sua massa, teor de óleo e lipídios e aumenta sua condutividade elétrica.
- Condições de armazenamento a baixas temperaturas reduzem as perdas físico-químicas dos grãos.
- A cultivar de soja RR2 PRO possui suas qualidades físico químicas inferiores à cultivar RR, devido sua alta variabilidade genética.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma oleaginosa originária da Manchúria, região da China, plantada pelo menos há cinco mil anos, espalhou-se pelo mundo através de viajantes e imigrantes. Foi no século XX que a soja passou a ser cultivada comercialmente nos Estados Unidos e a partir de então, houve um rápido crescimento na produção e o desenvolvimento das primeiras cultivares, chegando no Brasil em 1882 (EMBRAPA, 2017).

No estado do Rio Grande do Sul, a soja foi introduzida no ano de 1914, sendo este o lugar onde as cultivares trazidas dos Estados Unidos melhor se adaptaram às condições edafoclimáticas, sendo possível o avanço da cultura para regiões de baixas latitudes com a implantação de programas de melhoramento (BONETTI, 1981; KIIHL & AMP; GARCIA, 1989).

Sendo uma das culturas mais importantes na economia mundial, a soja passou a ter grande relevância economicamente tendo em vista o aumento das áreas cultivadas, o aumento da produtividade e o desenvolvimento de novas tecnologias. Atualmente, o Brasil detém a segunda posição mundial na produção desta commodity, fomentando um mercado que está em plena expansão e demanda comercial, devido ao crescimento global da população, as novas técnicas de consumo deste produto (SOUZA et al., 2012) e da marcante importância nas

exportações agropecuárias no país (ESPIRITO SANTO et al., 2012; ALMEIDA et al., 2013; FREITAS, 2014).

O complexo da soja engloba uma cadeia produtiva que envolve desde a produção interna voltada para a exportação do produto bruto, até a transformação do mesmo para a indústria esmagadora, está processa a soja em farelo ou óleo e por fim destina para a exportação ou para consumo interno.

4.2 Cultivares de soja

Os trabalhos de melhoramento visam obter cultivares que associados aos teores de óleo e proteínas elevados, apresentem bom rendimento de grãos, porém, é importante uma avaliação geral do genótipo no final de um programa de melhoramento, de forma que a modificação genética sofrida pela linhagem não comprometa seu valor nutricional com o melhoramento, já que em linhagens de soja, o aumento do teor de proteína é acompanhado por redução no teor de óleo e redução no teor de carboidratos totais (MORAES, 2006).

Esse fato é afirmado por Minuzzi (2009) que avaliou o rendimento de grãos e a determinação de óleo e de proteína bruta de quatro cultivares em dois locais, concluindo que a cultivar BRS 206 apresentou o maior teor de proteína (35%) e menor teor de óleo (18%) e a cultivar CD 202 apresentou o menor teor de proteína (31%) e maior teor de óleo (22%). Embora, os teores de óleo e proteína da soja são governados geneticamente, estes são fortemente influenciados pelo ambiente, principalmente durante o período de enchimento dos grãos (PÍPOLO, 2002).

Enfatizando a influência genética nos teores de óleo e proteína, Rodrigues (2016), avaliou a divergência entre 49 genótipos de soja avaliando os percentuais de óleo e proteína em quatro ambientes diferentes, tendo variação dos teores médios de proteína e óleo de 34,25 a 45,18% e de 16,48 a 23,01%, respectivamente.

Em estudo, Leite (2014) observou que os grãos de soja transgênica tiveram maior resistência, conservando melhor a sua qualidade que os de soja convencional, verificados pela na classificação pela classificação física e pelo teste de condutividade elétrica dos grãos ao longo do armazenamento.

Buscando suprir a demanda por alimentos, e garantir produtos de qualidade nutricional, os programas de melhoramento genético possibilitou a ampliação da

base genética e a seleção dos melhores genótipos de plantas, capazes de superar os patamares da produtividade (COSTA et al., 2004).

De acordo com o comunicado técnico n.º 54, de 29 de setembro de 1998, a soja RR (Roundup Ready) da empresa Monsanto foi à primeira soja geneticamente modificada no Brasil, recentemente foi lançada pela mesma empresa a soja Intacta RR2 PRO evento MON 89788.

Esta soja com nome comercial INTACTA RR2 PRO™ confere tolerância ao glifosato para manejo de ervas daninhas que competem com a cultura, e também, apresenta um controle contra as principais lagartas, sendo elas a lagarta-da-soja (*Anticarsia gerrmatalis*), lagarta-falsa-medideira (*Chrysodeixis includens*), lagarta-das-maçãs (*Heliothis virescens*) e a broca-das-axilas (*Crociosema aporema*), além de supressão às lagartas do tipo Elasmopalpus (*Elasmopalpus lignosellus*) e Helicoverpa (*Helicoverpa zea* e *Helicoverpa armigera*), acarretando um menor custo de produção e melhor qualidade sanitária nesta cultivar (BERNARDI, 2012).

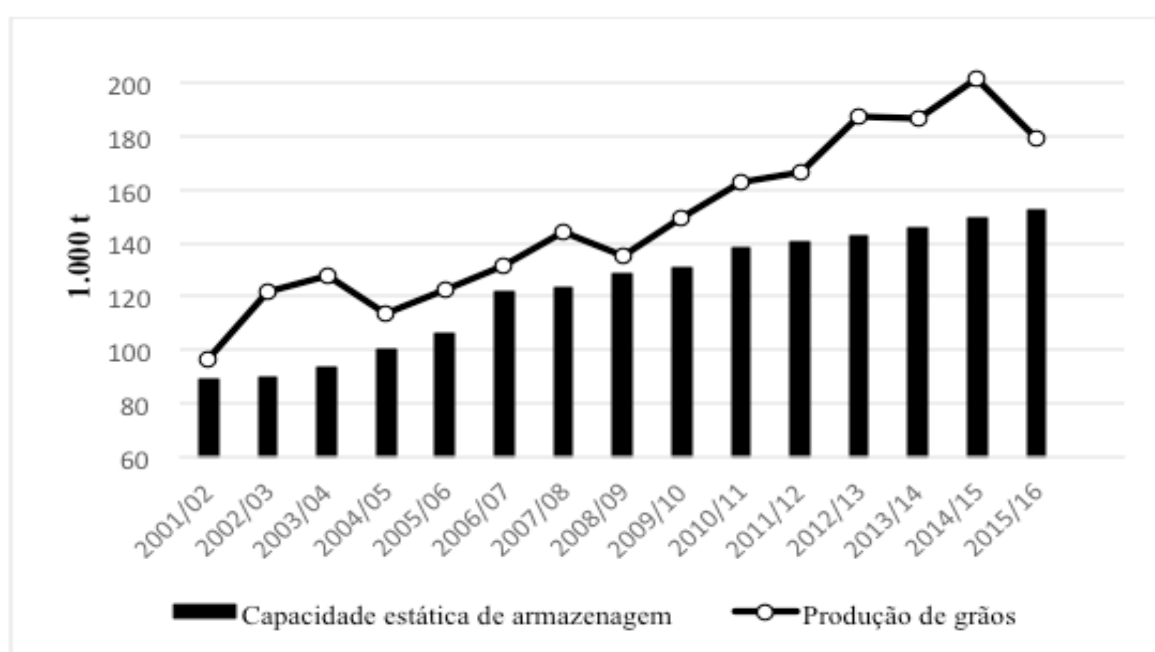
Embora essa nova cultivar de soja atinja altos patamares de produção, apresente tolerância a uma gama de pragas e doenças, não há estudos que comprovem a qualidade nutricional da cultivar Intacta RR2 PRO. Além dos fatores genéticos que determinam o potencial nutricional da cultura, há fatores externos que influenciam diretamente na qualidade do produto, tais como as operações de secagem e armazenamento na qual o grão é submetido a variações de umidade e temperatura, podendo ocasionar danos irreversíveis à qualidade química e física do produto.

4.3 Estruturas e operações de pós-colheita

As unidades de armazenagem desempenham um papel importante no agronegócio, especialmente no que se refere ao fluxo de grãos e políticas de abastecimento como a importação e exportação de produtos (FREDERICO, 2010), entretanto, o Brasil tem sérias deficiências neste setor porque a produção de grãos no país é maior do que a capacidade estática de armazenagem. A falta de unidades armazenadoras a nível de fazenda aumentam os problemas, uma vez que obriga os agricultores a comercializar seus produtos imediatamente após a colheita com preços de mercado baixos (SOUSA JUNIOR et al., 2011).

Embora a produção de grãos venha crescendo a cada ano, a evolução de todos os elos da cadeia agroindustrial não acontece no mesmo ritmo, pois apesar do crescimento da produção de grãos verificado nos últimos anos, a capacidade estática dos armazéns cadastrados na Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), não vem apresentando evolução significativa conforme o Figura 1.

Figura 1 - Evolução da capacidade estática do sistema de armazenamento brasileiro do ano de 2001 a 2016.



Fonte: (CONAB, 2016).

Segundo as recomendações da FAO, a capacidade estática de armazenagem deve ser de 1,2 vezes a produção anual, entretanto a capacidade de armazenamento brasileira é de 162.317,5 milhões de toneladas, sendo que as regiões sul e centro-oeste são responsáveis por 62% da produção brasileira, concentrando 57,5% da capacidade de armazenagem do país (CONAB, 2018; EMBRAPA, 2017).

O termo pós-colheita refere-se ao conjunto de técnicas aplicadas à conservação dos produtos vegetais durante as etapas de limpeza, secagem, beneficiamento e armazenamento. O objetivo principal da pós-colheita é manter os produtos agrícolas recém-colhidos em condições adequadas, evitando alterações

físico-químicas indesejáveis, como por exemplo, redução dos teores de proteína, teores de lipídios e aumento da acidez graxa, além de evitar danos físicos com o ataque de insetos, proliferação de fungos e perda de matéria seca.

Com uma acelerada modificação do mercado se torna cada vez maior a exigência por qualidade dos produtos e redução nos custos, dessa forma boas práticas de pós-colheita são necessárias para manter o produto com qualidade até a comercialização. No fluxo de grãos em unidades de recebimento e armazenagem (Figura 2), a operação de amostragem e pesagem dos lotes são as primeiras etapas a serem realizadas.

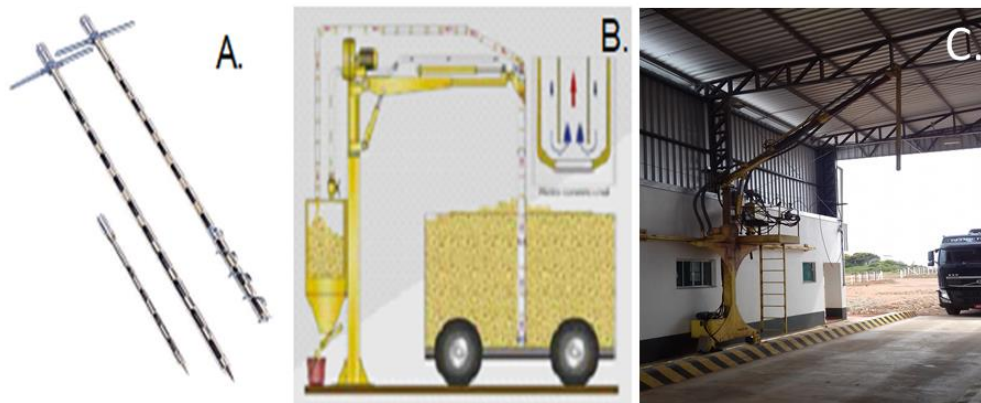
Figura 2 - Fluxograma de uma unidade de armazenadora de grãos.



Fonte: Autor.

A amostragem é realizada toda que vez que um lote de grãos chegar à unidade com diferentes especificações. De acordo com os critérios estatísticos simples, as amostras são coletadas ao acaso, com auxílio de caladores mecânicos manuais ou pneumáticos (Figura 3), e o número de calagens é feito conforme o tamanho do veículo de carga (caminhão, carreta, etc.), segundo metodologia descrita por Dalpasquale (2002).

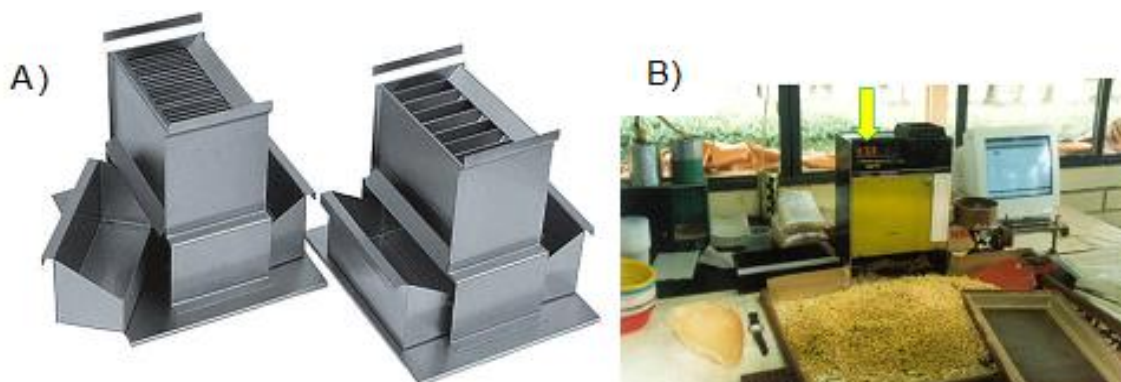
Figura 3 - Sistema de amostragem, calador manual (A), calador pneumático (B) e (C) calador pneumático.



Fonte: A e B, (SOUZA e SILVA, 2001); C, Autor.

A partir da obtenção das amostras simples são feitas as amostras compostas. Após a homogeneização das amostras compostas é retirada uma amostra simples de trabalho (SILVA et al., 2000). A partir da amostragem é determinado o teor de água dos grãos, a presença de avariados (materiais estranhos, impurezas), índice de danos e índice de trincas (Figura 4), baseado no padrão estabelecido via Instrução Normativa nº 11, de 15/05/2007 e Instrução Normativa nº 37, de 27/07/2007, que estabelece as especificações para a padronização, classificação e comercialização da soja.

Figura 4 - Classificação física dos grãos, quarteadores de amostras (A), mesa e equipamentos para classificação física (B).



Fonte: (SOUZA e SILVA, 2001).

Para a pesagem da matéria-prima é utilizado um sistema de balança rodoviária onde são registradas informações da tara do veículo, peso total, peso líquido, identificação do veículo, nome do proprietário da carga, produto transportado, horário de entrada e saída do veículo (Figura 5).

Figura 5 - Sistema de balança rodoviária para pesagem de cargas de grãos em caminhões.



Fonte: (SOUZA e SILVA, 2001).

A descarga dos grãos é feita por meio das bicas de saída das caçambas do caminhão ou então com auxílio de tombadores mecânicos onde a massa de grãos é retirada por gravidade. São usadas moegas para descarregamento e recebimento dos grãos (Figura 6).

Figura 6 - Sistema de descarga e recebimento de grãos com tombadores mecânicos.

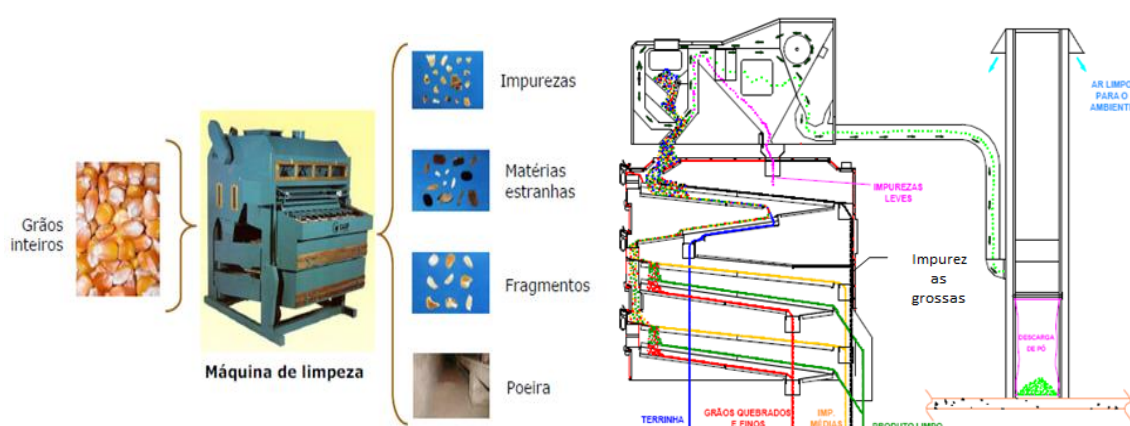


Fonte: (SOUZA e SILVA, 2001).

A operação de limpeza dos grãos visa reduzir e eliminar o teor de impurezas dos lotes de grãos. As impurezas que acompanham o produto se não eliminadas afetam consideravelmente sua qualidade, sofrendo interferências durante sua armazenagem (PARK et al., 2007). As impurezas em uma massa de grãos dificultam as operações de secagem, aeração e expurgo, além de ter grande quantidade de microrganismos e possuir atividade de água maior que a do grão, proporcionando condições favoráveis à proliferação de pragas e fungos (CASEMG, 2013). O sistema de pré-limpeza é composto por uma máquina de ar e peneira, em que o processo de separação das impurezas e grãos são feitos por meio de ventilação pela diferença de massa específica, e peneira pelo formato dos furos e caracterização física dos grãos, separando os grãos inteiros, quebrados e impurezas (Figura 7).

Após a remoção das impurezas, os grãos com altos teores de água, passam pela etapa de secagem. A secagem é a operação que tem por finalidade reduzir o teor de água do produto a nível adequado para estocagem por um período prolongado, de maneira a preservar a aparência e a qualidade nutritiva dos grãos, como alimento, e a sua viabilidade, como semente (OHJA, 1974). Essa é uma operação crítica dentro da sequência do processamento dos grãos e quando realizada de forma inadequada pode causar a deterioração do produto

Figura 7 - Sistema de pré-limpeza de ar e peneira



Fonte: (SOUZA e SILVA, 2001).

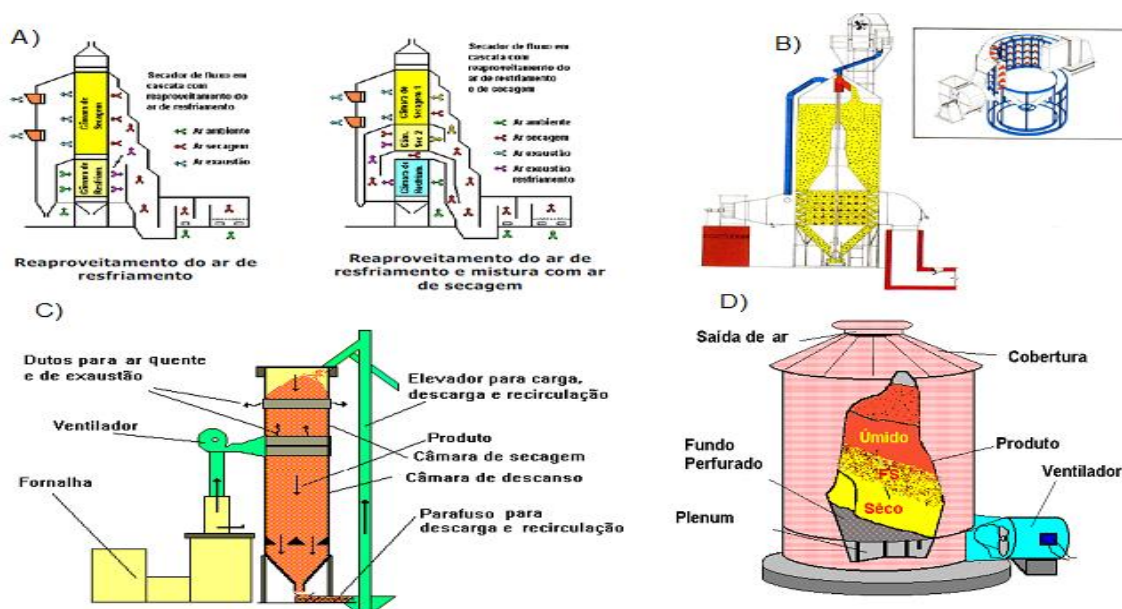
A secagem de grãos pode ser feita de diversas maneiras, conforme as tecnologias: com movimentação dos grãos em sistemas contínuos e intermitentes, com fluxos de produtos e ar de secagem contracorrentes, concorrentes, cruzados, mistos, em sistemas de leitos fluidizados e camadas fixas (Figura 8). Para controle dos sistemas de secagem são monitoradas a temperatura do ar de secagem, a vazão de ar de secagem, o tempo de residência do produto no secador e os teores de água inicial e final do produto. A circulação de ar no secador é feita por sucção, utilizando ventiladores e exaustores.

Após todos os processos do beneficiamento o produto estará apto para o armazenamento. O principal objetivo desta prática é manter a qualidade do produto que veio do campo por um longo período até o momento de sua comercialização. Entretanto, o armazenamento prolongado só pode ser realizado quando se adotam corretamente as práticas de manejo de pós-colheita. O sistema de armazenagem tem como principal finalidade regular o abastecimento dos grãos no mercado consumidor, sendo compostos por diferentes estruturas, para armazenagem convencional (em sacarias ou silos bolsas) ou a granel em silos graneleiros horizontais, silos metálicos e de concreto verticais (Figura 9).

Uma rede armazenadora é um conjunto de estruturas destinadas a armazenar grãos, além de conservá-los e redistribuí-los, é composta por unidades de armazenamento, como silos e armazéns, dotados de adequado sistema de termometria, aeração e/ou outros recursos para manutenção de qualidade dos grãos.

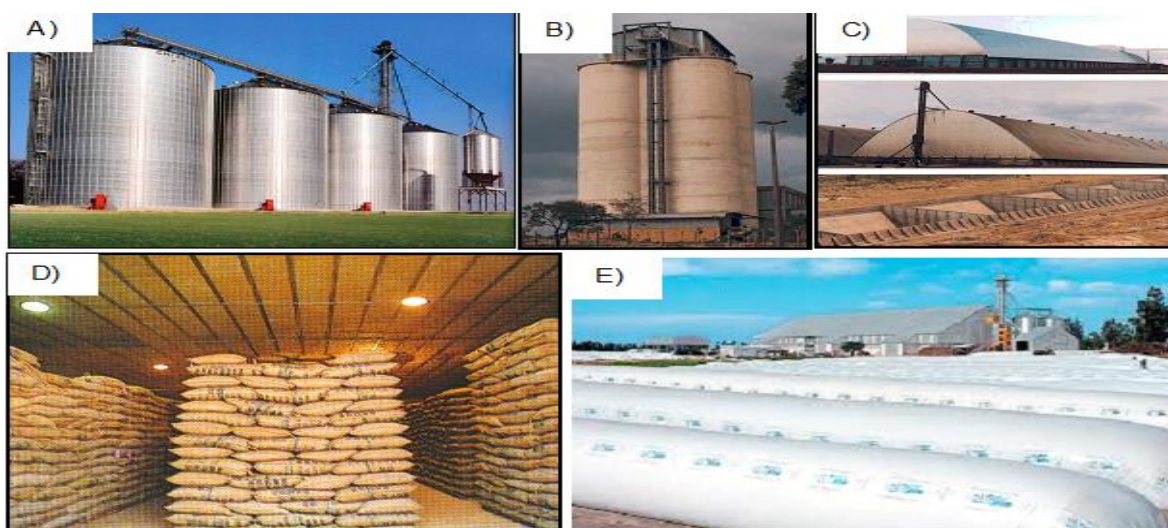
A armazenagem de grãos a granel é realizada em estruturas metálicas (silos), caracterizada por um ou mais compartimentos denominados células, equipadas com sistema de aeração, visando manter a temperatura e qualidade do produto armazenado por longo período (DEVILLA, 2004). O armazenamento de produtos em silos é considerado uma solução de grande viabilidade devido a uma série de fatores, tais como: economia de espaço físico, mão de obra, conservação do produto ensilado, custo de transporte, controle de escoamento e abastecimento.

Figura 8 - Sistemas de secagem de grãos, secador contínuo com reaproveitamento do ar de secagem (A), secador intermitente (B), secador contínuo de fluxos concorrentes (C), secador de camada fixa (D).



Fonte: (SOUZA e SILVA, 2001).

Figura 9 - Sistemas de armazenagem, silos metálicos verticais (A), silos verticais de concreto (B), silos graneleiros horizontais (C), armazenagem convencional em sacaria (D), silos bolsa (E).



Fonte: (SOUZA e SILVA, 2001).

Outra opção de armazenagem bastante difundida são os armazéns horizontais (graneleiros). São construídos com características simples, instalados em nível do solo ou semienterrados, são construções horizontais com grande

capacidade, apresentando predominância do comprimento sobre a largura (DEVILLA, 2004). Como desvantagem, este sistema de armazenamento necessita de maior investimento que o silo metálico para a mesma capacidade de estocagem e oferece maior resistência à passagem do ar durante a aeração, recomendando-se que o produto seja guardado com teor de umidade dos grãos ao redor de 13%.

Já os chamados armazéns convencionais são instalações de piso plano de compartimento único que se destinam à armazenagem de produtos acondicionados em embalagens, como, por exemplo, sacaria. Geralmente, são construídos em alvenaria, estruturas metálicas ou mistas, com ventilação, impermeabilização do piso, iluminação, pé-direito adequado e cobertura. Deve-se manter boa ventilação nas pilhas e, para possibilitar a circulação do ar também por baixo das pilhas, os sacos devem ser dispostos em estrados de madeira com altura mínima de 12 cm. Sempre que possível, deve-se limitar a altura das pilhas em 4,5 m (NEVES, 2007).

Para a manutenção da qualidade dos grãos armazenados, monitora-se a temperatura da massa de grãos utilizando sistemas de termometria e os teores de água. Dentre os diversos métodos físicos para preservar a qualidade do produto armazenado, a utilização de baixa temperatura apresenta-se como uma promissora técnica de manejo de grãos armazenados. O resfriamento artificial de grãos a granel surgiu no Brasil como resposta a uma demanda por soluções na armazenagem. Sendo que na década dos anos 80 e meados dos anos 90, surgiram em toda a América do Sul movimentos para o uso resfriamento artificial de sementes com equipamentos estáticos e móveis, no entanto, esta técnica não teve seus resultados difundidos, impedindo sua expansão (BARRETO, 2009).

O resfriamento artificial de grãos tem como objetivo promover a redução da temperatura da massa de grãos, independentemente das condições de temperatura e umidade do ar ambiente, podendo ser aplicado para a manutenção da qualidade dos grãos, reduzindo riscos de contaminações microbiológicas e o desenvolvimento de insetos (QUIRINO, 2013).

A refrigeração reduz a velocidade das reações químicas e enzimáticas, e permite controlar a perda de qualidade dos grãos decorrentes de atividade fisiológica e de outras reações químicas, como oxidação de lipídeos, degradação de pigmentos e vitaminas, desnaturação de proteínas, etc. (ORDÓÑEZ, 2005). Assim, aplicação do frio permite prolongar a vida útil dos grãos durante períodos de tempo

relativamente longos, com repercussão mínima nas suas características organolépticas.

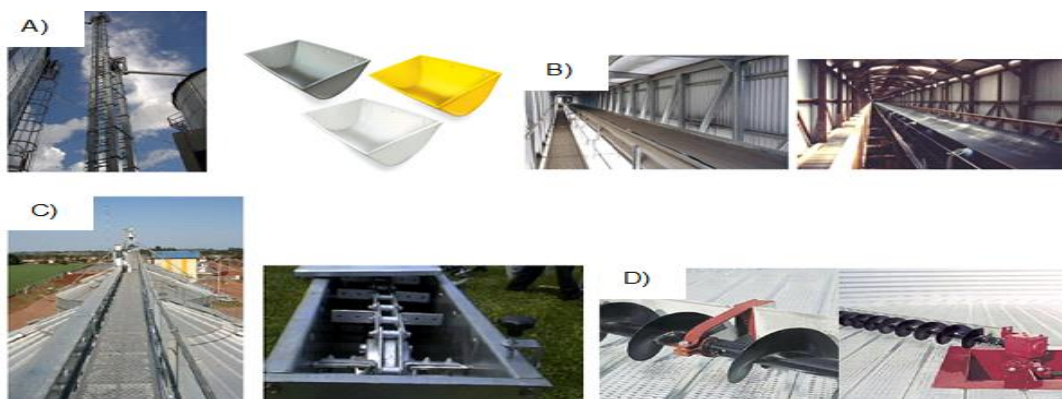
Para driblar o déficit de armazenamento no Brasil, surgiu como alternativa a utilização dos silos bolsa, esta prática está se tornando a cada ano mais comum, principalmente, em propriedades agrícolas como alternativa aos métodos tradicionais de armazenamento em fazenda (FARONI et al., 2009).

Essa nova técnica consiste no armazenamento de grãos em bolsas plásticas seladas hermeticamente, assim, o processo respiratório dos componentes bióticos do ecossistema (grãos, fungos, insetos, etc.) consome o oxigênio (O_2) gerando dióxido de carbono (CO_2), diminuindo a capacidade de reprodução e/ou desenvolvimento de insetos e de fungos, como também a própria atividade metabólica dos grãos, favorecendo a sua conservação, além de reduzir a taxa de oxidação do produto armazenado (MORENO et al., 2000; VILLERS et al., 2006; AGUIAR, 2012).

De acordo com os resultados de Faroni (2009) os silos tipo bolsa são uma alternativa viável do ponto de vista qualitativo para armazenagem de soja, e o armazenamento nesse tipo de estrutura não ocasiona alterações qualitativas no óleo bruto obtido a partir de soja armazenada seca e úmida.

O transporte de grãos entre as operações na unidade armazenadora ocorre no sentido vertical com elevadores de caçamba, no sentido horizontal com correias e correntes transportadoras e roscas transportadoras (Figura 10).

Figura 10 - Sistemas de transportes de grãos, elevadores de caçamba (A), correias transportadoras (B), correntes transportadoras (C), roscas transportadoras (D).



4.4 Alterações da qualidade de grãos soja na secagem

A soja é rica em proteínas, vitaminas e minerais, além de ser usada para alimentação humana e animal e ser uma grande aliada na manutenção da saúde, também é muito utilizada na substituição de solventes e derivados de petróleo. Cada tonelada de óleo bruto de soja rende aproximadamente 4,5 toneladas de farinha de soja, contendo aproximadamente 44% de proteína (KUMAR et al., 2002). Estes dados se aproximam com os observados por Silva (2006), que encontrou 40,4% de proteína bruta e 24,55% de óleo em grãos de soja, e Kawamura (1967), que encontrou 20% de óleo e 40% de proteína bruta. Teores de proteína e óleo em grãos de soja determinam seu valor comercial. O farelo de soja destinado à exportação é classificado em três categorias, de acordo com seu conteúdo de proteína: Hypro (>48%), Normal (46%) e LowPro (<43,5%) (MORAES, 2006).

Entretanto, o manejo inadequado dos grãos ou do sistema de secagem podem acarretar sérios danos ao produto, como descrito por Coradi et al., (2017) o qual afirma que a secagem de grãos de soja, com teor de água acima de 19% e temperatura do ar de secagem em 120 °C, tem aumentado significativamente o índice de acidez e o rendimento do óleo e proteína bruta, quando comparado às secagens com temperaturas inferiores, tais sendo de 75, 90 e 105 °C.

Hartmann Filho et al.,(2016) avaliou grãos de soja com teor de água de 23% (b.u.), os quais foram submetidos a secagem em temperaturas de 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C e 80 °C, até o teor de água de $12,5 \pm 0,7$ % (b.u.), concluindo que a qualidade da soja e do óleo bruto se reduzem conforme o incremento na temperatura do ar de secagem.

Os produtos agrícolas possuem a capacidade de ganhar ou perder água, esses fenômenos conhecidos respectivamente por adsorção e dessorção, ocorrem de acordo com as características higroscópicas recíprocas do produto e do ar, como a quantidade de vapor d'água do ar que o circunda a uma determinada temperatura e afinidade existente entre a água e os outros componentes dos grãos como a gordura, o amido, o açúcar, as proteínas etc. (Brooker et al.,1992). Assim, sempre que os teores de água dos grãos ficam em equilíbrio com a umidade relativa do ar a uma mesma temperatura, chama-se de equilíbrio higroscópico, esse equilíbrio, também conhecido com umidade higroscópica ou de equilíbrio (Figura 11), se dá

pelo fato que o teor de água do grão cuja tensão de vapor d'água é igual à do ar ambiente (BORDIGNON, 2009).

As curvas de equilíbrio higroscópico são fundamentais na definição dos limites de desidratação do produto, nas estimativas das mudanças do teor de água e para definir os teores de água adequados ao início de atividade de microrganismos, sendo o teor de água em que o calor isostérico de sorção é quase idêntico ao calor latente de vaporização da água livre, considerado como um indicador do conteúdo de água livre no produto, ideal para a proliferação dos microrganismos e degradação do produto (MULET et al., 1999). Além disso, através das curvas de equilíbrio higroscópico, pode-se a energia necessária para o processo de secagem.

Os resultados experimentais de teor de água de equilíbrio podem ser ajustados por modelos matemáticos, ou então, pode ser determinados a partir dos parâmetros conhecidos de cada produto, da umidade relativa do ar ou atividade de água e a temperatura do ar de secagem. Na Tabela 1 estão as equações mais atualizadas para a determinação da umidade de equilíbrio higroscópico dos produtos agrícolas.

Figura 11 - Representação das curvas de equilíbrio higroscópico de dessorção e adsorção em produtos agrícolas.

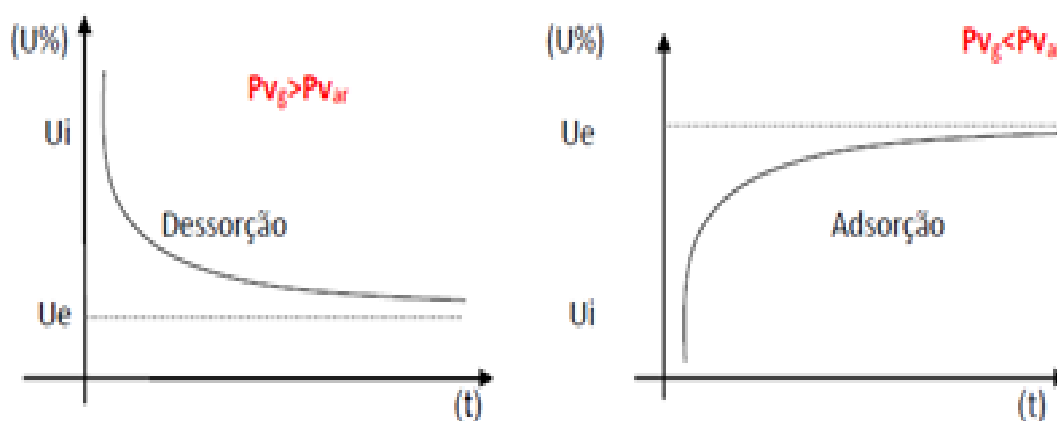


Tabela 1 - Equações para a determinação da umidade de equilíbrio higroscópico em produtos agrícolas

Nomes dos modelos	Equações
Sigma Copace	$U_e^* = \exp \{ a - (b \cdot T) + [c \cdot \exp(a_w)] \}$ (1)
Sabbah	$U_e^* = a \cdot (a_w^b / T^c)$ (2)
Oswin	$U_e^* = (a + b T) / [(1 - a_w) / a_w]^{1/c}$ (3)
Henderson	$U_e^* = [\ln(1 - a_w) / (-a \cdot T + 273,16)]^{1/b}$ (4)
Henderson Modificado	$U_e^* = \{ \ln(1 - a_w) / [-a \cdot (T + b)] \}^{1/c}$ (5)
Halsey Modificado	$U_e^* = [\exp(a - b \cdot T) / -\ln(a_w)]^{1/c}$ (6)
GAB	$U_e^* = (a \cdot b \cdot c \cdot a_w) / [(1 - c \cdot a_w) \cdot (1 - c \cdot a_w + b \cdot c \cdot a_w)]$ (7)
Copace	$U_e^* = \exp [a - (b \cdot T) + (c \cdot a_w)]$ (8)
Chung Pfost	$U_e^* = a - b \cdot \ln [-(T + c) \cdot \ln(a_w)]$ (9)
BET	$U_e^* = \{ 1 / [(1 - a_w) \cdot (1/a \cdot b + ((a - 1)/a \cdot b))] \}$ (10)

Fonte: Autor.

em que,

U_e – umidade de equilíbrio higroscópico (b.s.) (%);

a_w – atividade de água (decimal);

T – temperatura (°C);

a, b, c – coeficiente que depende do produto.

Segundo Wang e Brennan (1991), para remover o teor de água associada a um material higroscópico, a energia necessária é maior do que a utilizada para vaporizar igual quantidade de água livre, nas mesmas condições de pressão e temperatura. À medida que a temperatura do ar de secagem aumenta, a taxa de remoção de água dos grãos diminuiu, indicando uma maior resistência à transferência de calor e massa do interior do produto para sua superfície (CORADI & LEMES, 2018). Assim, uma vez obtidas as curvas de higroscopia do produto, pode-se determinar o seu calor latente de vaporização que, é a quantidade de energia necessária para evaporar uma unidade de massa de água contida nele (CORRÊA & ALMEIDA, 1999).

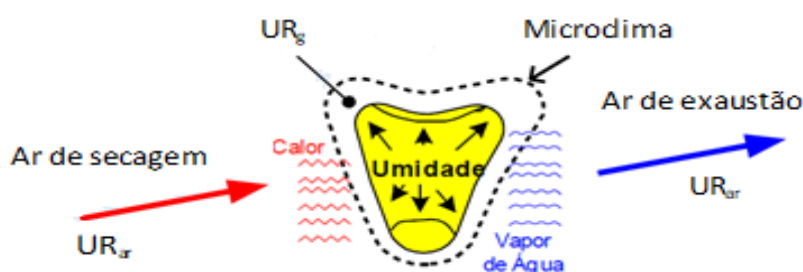
Smaniotto (2012) observou que a umidade de equilíbrio do milho é diretamente proporcional à atividade de água e diminuiu com o aumento da temperatura em uma mesma atividade de água e o calor latente de dessecamento aumenta com o decréscimo do teor de água e diminui com o incremento da

temperatura para o mesmo teor de água. Estes dados vão de encontro com o encontrado por Resende (2006) ao avaliar o equilíbrio higroscópico do feijão, concluindo também que com a redução do teor de água, ocorre aumento da energia necessária para a remoção de água do produto.

Tendo em vista a importância das condições ambientais no processo de secagem, pode-se definir a umidade relativa como a relação entre a fração molar do vapor de água e a fração de vapor de água numa mistura saturada sujeita a mesma pressão e mesma temperatura. Sabendo que a mistura ar-vapor de água à pressão atmosférica pode ser considerada um gás perfeito, definimos a umidade relativa como sendo a razão entre a pressão parcial do vapor na mistura (P_v) e a pressão do vapor saturado (P_{vs}) a mesma temperatura. Em uma mistura de ar seco e vapor de água em um processo de secagem, cada um dos componentes exerce certa pressão sobre o outro, denominada de pressão de vapor parcial, sendo que a diferença entre as pressões parciais de vapor de água no ar e no grão é a força necessária para que ocorra a secagem (CASSINI, 2004) (Figura 12).

Para realização da secagem de uma massa de grãos, além de conhecer as condições do ambiente (umidade relativa e temperatura do ar) é muito importante conhecer as características dos grãos, suas propriedades físicas e químicas que interferem diretamente na dinâmica do processo de secagem (SILVA, 2004). O teor de água dos grãos representa a quantidade de água por unidade de massa do grão úmido ou seco, este é um fator fundamental na conservação dos grãos.

Figura 12 - Representação esquemática da secagem.



Fonte: (SOUZA e SILVA, 2001).

Segundo Borges (2002), a água está presente no grão na forma líquida, podendo ser removida mediante rigorosas condições de temperatura e longo

período de tempo, presente em forma de água adsorvida, em forma não solvente aderida às camadas de água precedentes, água líquida sob pressão osmótica, que atua como solvente e retém várias substâncias dissolvidas e água livre, mantida fracamente por capilaridade nos poros do grão que evapora facilmente (Figura 13). Este processo é considerado importante na manutenção da qualidade dos grãos armazenados, pois mantendo baixo o teor de água diminui a respiração da massa de grãos, minimizando o desenvolvimento de microrganismos.

As curvas de secagem podem ser ajustadas aos dados experimentais usando equações semi-empíricas e empíricas (Tabela 2).

Figura 13 - Representação esquemática das ligações da água e a distribuição das moléculas de água no espaço poroso dos tecidos vegetais.



Fonte: (SOUZA e SILVA, 2001).

Tabela 2- Modelos matemáticos para determinação da razão de umidade em produtos agrícolas.

Equações	Nomes dos modelos	
$RU = \exp(-k \cdot t)$	Newton	(11)
$RU = \exp(-k \cdot t^n)$	Page	(12)
$RU = \exp(- (k \cdot t)^n)$	Page Modificado	(13)
$RU = \exp(-a - (a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{1/2}) / 2 \cdot b$	Thompson	(14)
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	Henderson e Pabis	(15)
$RU = a \exp(-kt) + c$	Logarítmico	(16)
$RU = a \cdot \exp(-k_o \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Dois Termos	(17)
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$	Exponencial Dois	(18)
$RU = 1 + a t + b t^2$	Wang e Singh	(19)
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	Midilli	(20)

Fonte: Autor

em que,

RU – razão de umidade (adimensional);

t – tempo de secagem (h);

K, k_0, k_1 – constantes de secagem;

a, b, c, n – constantes do produto.

Para determinar as proporções de umidade durante a secagem sob diferentes condições, usa-se a seguinte expressão:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (21)$$

em que,

U – teor de água do produto (b.s.) (%);

U_i – teor de água inicial do produto (b.s.) (%).

O conhecimento das propriedades termofísicas de grãos nos processos de secagem permite entender as restrições do fluxo de transferência de calor e massa (MOHSENIN, 1980; 1986; PABIS, 1998). Para a determinação da quantidade de energia requerida no aquecimento ou esfriamento de grãos é imprescindível a determinação do calor específico, sendo definido como a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de um corpo em 1 °C, por unidade de massa sem mudança de estado. Esta propriedade varia de acordo com o produto, levando em conta suas características. Através da equação 22 determina-se o calor específico em grãos:

$$C_p = 0,391 + 0,461 \left(\frac{x}{100} + X \right) \quad (22)$$

em que,

C_p – calor específico

x – massa

X - temperatura

O calor latente de vaporização é a quantidade de calor necessária para promover a secagem. A equação 23 determina o calor latente de vaporização em grãos:

$$H_v = \{(597,6 - 0,57t)[1 + 0,7001e(-0,1497m)]\} \quad (23)$$

em que,

H_v – calor latente de vaporização (kcal kg⁻¹);

m - massa dos grãos (kg);

t – temperatura (°C).

O coeficiente de difusão térmica é a grandeza que representa a capacidade em que um soluto se move em um determinado solvente. Essa teoria se apoia exclusivamente sobre a lei de Fick, expressando que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água. Utilizando a lei de Fick na equação de balanço de massa de água no interior do produto, temos a seguinte equação 24:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \nabla(D_{ef}\nabla X) \quad (24)$$

em que,

x – calor específico da substância

t – tempo de secagem

∇X - variação da temperatura

D_{ef} - difusão efetiva

O coeficiente de difusão térmica para soja, foi determinado por (MISRA e YOUNG, 1980), como pode ser encontrado na equação 25:

$$D = D_c \left(\frac{p_{ap0}}{\rho_{ap}} \right) n_1 \exp[n_2(X - X_0)] \quad (25)$$

em que,

D – Coeficiente de difusão

D_c - coeficiente de difusão constante ($W m^{-1}K^{-1}$);

p_{ap0} - massa específica aparente inicial do produto ($kg m^{-3}$);

X – teor de água final

X_0 - teor de água inicial;

ρ_{ap} - massa específica aparente ($kg m^{-3}$);

n_1, n_2 - parâmetros do produto.

A condutividade térmica é uma propriedade termofísica do material, que descreve a taxa que o fluxo de calor passa através do mesmo sob a influência de uma diferença de temperatura. O calor é transmitido no corpo sólido pela transferência física de elétrons livres e pela vibração de átomos e moléculas e cessa

quando a temperatura em todos os pontos do corpo for igual à temperatura do meio em que se encontra, isto é, atinge-se o equilíbrio térmico (PARK et al., 2007).

Devido à baixa condutividade térmica dos grãos, podemos afirmar que eles são bons isolantes térmicos, portanto após a secagem os grãos preservavam sua alta temperatura por longo tempo, fazendo-se necessário o uso da aeração para retirada do calor em excesso. Com o aumento de conteúdo de umidade, a condutividade térmica dos grãos aumenta.

Uma das mais importantes mudança físicas que ocorrem nos produtos agrícolas durante a secagem é a redução do seu volume externo, causada pela perda de água, podendo ocasionar danos à estrutura celular do grãos (GONELI, 2008; MAYOR; SERENO, 2004). Esta redução do conteúdo de água durante o processo de secagem é conhecida como contração volumétrica (RAMOS, 2003). As mudanças volumétricas dos grãos são consideradas as principais causas das alterações das principais propriedades físicas do produto, entretanto, a contração volumétrica durante a secagem não depende somente do teor de água do produto, mas também, das condições do processo e da geometria do produto (TOWNER, 1987; RATTI, 1994; ZOGZAS et. al., 1994).

A porosidade de um produto agrícola são os espaços vazios formados aleatoriamente entre os grãos. A porosidade de uma massa de grãos está associada à resistência que a camada de produto oferece ao movimento de ar, sendo amplamente utilizada no projeto de equipamentos de secagem e aeração. Enquanto que, a massa específica real é a relação existente entre a massa total de grãos e o volume ocupado somente pelos grãos descontando o espaço ocupado pelo ar. A massa específica aparente é definida como a razão entre a massa de grãos e o volume total ocupado pelos grãos e o espaço entre os mesmos. A massa específica aparente é também utilizada como parâmetro na avaliação da qualidade de alguns produtos e na estimativa dos danos causados por pragas aos grãos armazenados.

Botelho et al. (2015) observou que tanto a massa específica aparente quanto a massa específica unitária dos grãos de soja reduziram linearmente com a elevação da temperatura de secagem na faixa de 40 a 80 °C. A massa específica é uma característica física frequentemente utilizada para se avaliar a qualidade de

uma massa de grãos, de modo que, normalmente, quanto maior a sua magnitude, melhor a qualidade do produto.

4.5 Alterações da qualidade de grãos de soja na armazenagem

Durante o armazenamento os grãos estão sujeitos às transformações, deteriorações e perdas devido às interações entre os fenômenos físicos, químicos e biológicos. As perdas de qualidade de grãos ocorrem principalmente devido a infestações de insetos e fungos, que aceleram a respiração da massa de grãos, aumentando sua deterioração (ELIAS et al., 2010).

Na armazenagem dos grãos é importante monitorar a temperatura da massa de grãos e a umidade relativa intergranular, a fim de conservar a qualidade do produto. Mesmo após a secagem, os grãos ainda continuam respirando, e conseqüentemente, estão sujeitos a contínuas transformações. A respiração sob condições aeróbicas (em presença do oxigênio livre) é o processo pelo qual as células vivas do vegetal, através do oxigênio, oxidam os carboidratos e gorduras, produzindo gás carbônico, água e liberam energia na forma de calor (PUZZI, 1986).

A técnica de aeração natural permite o resfriamento de pontos aquecidos da massa de grãos, a uniformização da temperatura na massa de grãos, a regulação do estado de umidade do produto, a remoção de odores, além de promover a secagem ou a umidificação. O resfriamento da massa de grãos traz vários benefícios à conservação, tais como a diminuição das reações bioquímicas e metabólicas, permitindo a manutenção das características iniciais de armazenamento dos grãos por períodos mais longos (RIGUEIRA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2011; PARK et al., 2012).

No entanto, para que a operação de aeração natural seja eficiente é necessário monitorar a temperatura e a umidade relativa do ambiente. A umidade relativa do ar é a relação entre a pressão parcial da água contida no ar e a pressão de vapor da água à uma temperatura do ar. Como os grãos possuem característica higroscópica, o emprego do ar com alta umidade relativa ou com baixa umidade relativa, pode acarretar danos ao produto, levando este a absorver a umidade do ar aumentando seus processos bioquímicos ou então poderá levar os grãos a uma super secagem, acarretando em perda de peso.

Porém, nem toda umidade presente no grão colabora para sua deterioração, a atividade da água é o quão disponível a água está no grão, podendo encontrar-se livre, permitindo o crescimento de microrganismos ou então ligada às camadas de constituição do grão. A atividade da água (A_w) pode ser expressa pela equação 26:

$$A_w = \frac{P_{vparcial}}{P_{vsat}} \quad (26)$$

em que,

A_w – atividade de água (decima);

$P_{vparcial}$ - pressão parcial de vapor para uma mesma temperatura do ar

P_{vsat} – pressão de vapor de saturação para uma mesma temperatura do ar

A degradação dos grãos de soja durante o armazenamento pode ser indicada por meio de mudanças nos parâmetros de qualidade, incluindo o aumento dos níveis de acidez e peróxidos, no escurecimento do grão e redução dos teores de óleo e proteína da soja (Figura 14). Durante o período de armazenamento, a fração de proteína presente nos grãos pode ser submetida a várias reações que causam a desaminação de aminoácidos, ácidos orgânicos e compostos de amoníaco, formando a descarboxilação com a formação de aminas, causando deterioração do grão dando odor forte e desagradável e aumentando o escurecimento (ALENCAR et al., 2009).

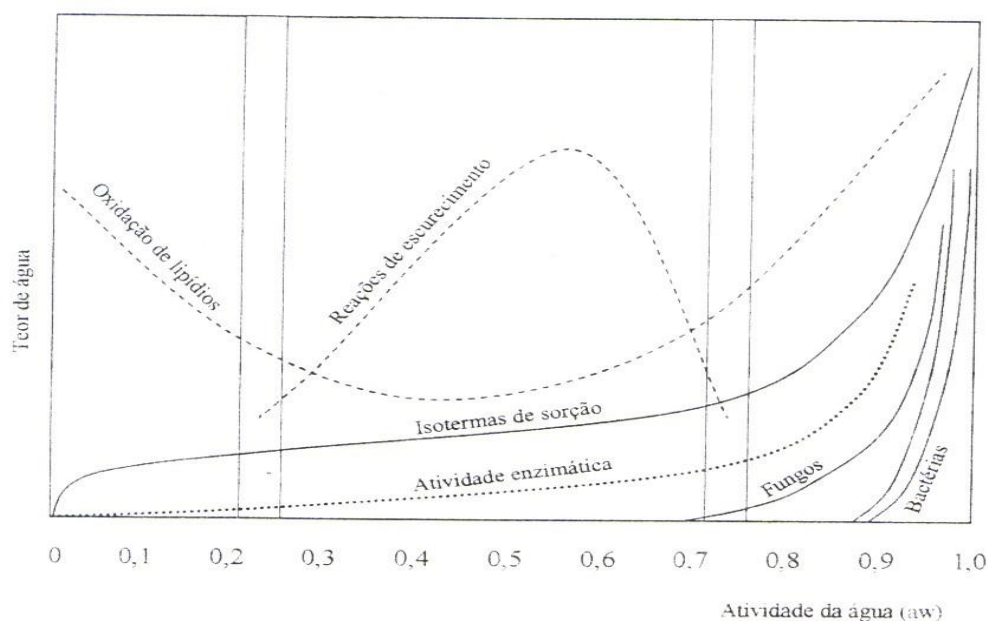
Avaliando-se as propriedades físicas de grãos soja SCHULTZ et al. (2017) armazenou grãos de soja em sacos de papel permeável e sacos de polietileno plástico nas temperaturas de 10 e 23 °C em dois meses de armazenamento, observou-se que o tempo de armazenamento teve maiores influências nas alterações das propriedades físicas de grãos de soja do que o sistema de armazenagem e a temperatura.

Oliveira et al. (2013) observou que em condições de armazenamento de 25 °C a 60% de umidade relativa, houve um incremento no teor de proteína e a diminuição dos teores de lipídios dos grãos de soja armazenados por 360 dias.

As reduções gradativas no teor de óleo dos grãos armazenados estão de acordo com os resultados encontrados por Greggio e Bonini (2014), que afirmam que em temperaturas elevadas, acima de 30 °C reduz significativamente o teor de lipídios dos grãos e causando oxidação das gorduras. Outro parâmetro de qualidade

afetado no armazenamento é a condutividade elétrica, a qual avalia a integridade das membranas celulares (VIEIRA et al., 1996), pela quantificação de íons lixiviados

Figura 14 - Diagrama relacionando a atividade de água (A_w) e os teores de água com as principais causas de deterioração dos grãos armazenados.



Fonte: Labuza (1970).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Experimento I

O experimento I foi realizado na safra de soja 2016/2017, na Cooperativa Tritícola de Espumoso Ltda. (Cotriel), na unidade de Capão do Valo, interior do município de Rio Pardo, RS. A unidade de recebimento e armazenamento de grãos da cooperativa é composta por duas estruturas de armazenagem à granel (Figura 15).

Os lotes de grãos de soja são transportados à unidade armazenadora via caminhões, os quais são pesados em balanças rodoviárias e submetidos à operação de amostragem com caladores compostos manuais. As amostras coletadas são encaminhadas a uma sala de controle de qualidade onde são analisados os teores de água, impurezas e matérias estranhas e submetidas à classificação física para determinação de grãos sadios e avariados. Para a determinação da porcentagem de

impurezas, utilizou-se uma amostra de trabalho de 375 gramas que foram passadas pelo equipamento de separação de impurezas Sintel. O cálculo da porcentagem de impureza removida foi feita a seguinte equação 27:

$$QI = \frac{(I_i - I_f)100}{100 - I_f} \quad (27)$$

em que,

QI – quebra de impurezas (%);

I_i – teor de impurezas inicial (%);

I_f – teor de impurezas final (%).

Figura 15 - Unidade de pré-processamento e armazenamento de grãos – Cotriel.



Fonte: Autor.

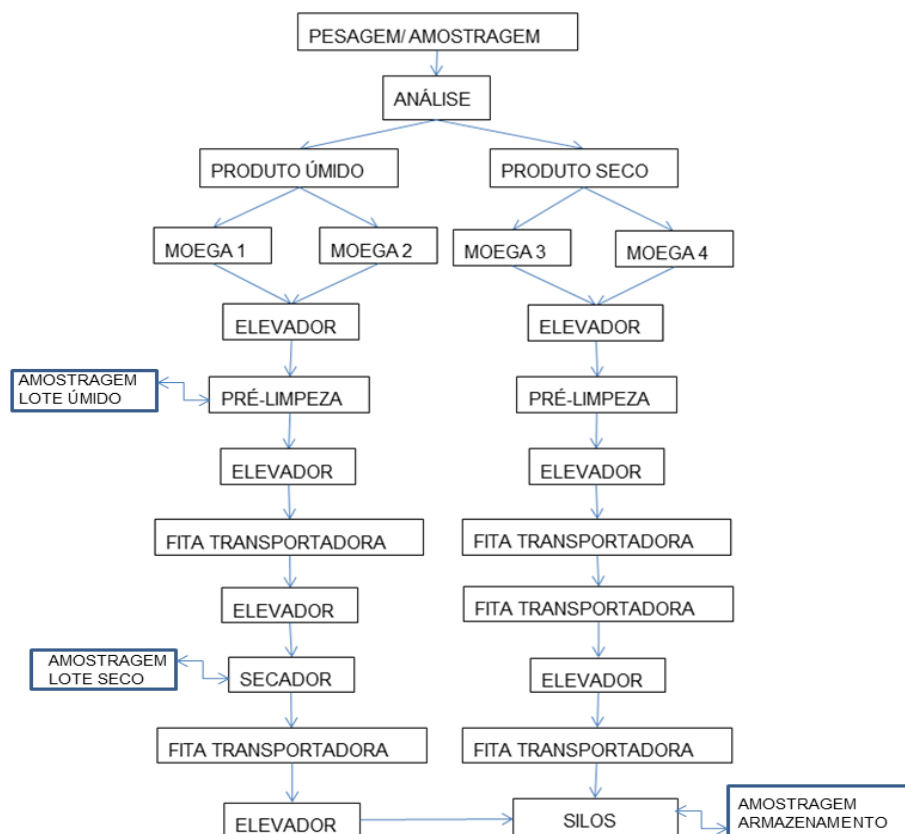
A determinação dos teores de água foi realizada pelo medidor de umidade indireta por capacitância elétrica, modelo *Motonco 9195. Após a caracterização física do lote foram tomadas as decisões sobre o descarregamento do produto. Conforme as faixas de teores de água dos grãos, os lotes foram direcionados para diferentes moegas. No Armazém 1, nas moegas 1 e 2 foram descarregados os grãos com teores de água acima de 15,5% (b.u.), nas moegas 3 e 4 os lotes de grãos com teor

*A citação de marcas e modelos comerciais não aplica nenhuma forma de aprovação ou recomendação dos mesmos por parte da autora.

de água abaixo de 14,5% (b.u.). No Armazém 2, na moega 5 e moega com tombador foram descarregados os lotes de grãos com teores de água entre 15,5% e 14,5% (b.u.).

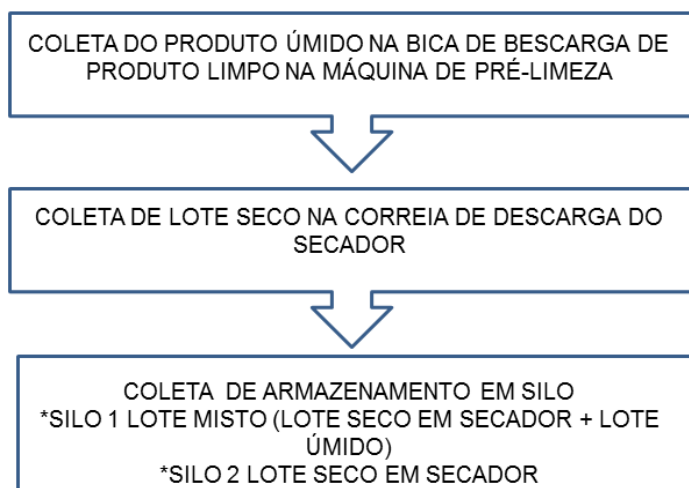
Nas Figuras 16 e 17 estão apresentados os fluxos de grãos nas operações de pré-processamento e os pontos experimentais de amostragem do Armazém 1 da Cotrirel. Nas Figuras 18 e 19 estão apresentados os fluxos de grãos nas operações de pré-processamento e os pontos experimentais de amostragem do Armazém 2 da Cotrirel. O Armazém 1 dispõe de duas linhas de pré-processamento (Figura 16), uma linha para produto úmido com sistema de recebimento (moega), pré-limpeza, secagem e armazenagem e uma linha para produto seco, sem sistema de secagem. O Armazém 2 é composto um sistema de recebimento (moega), pré-limpeza e armazenagem (Figura 18), que tem como objetivo processar os grãos de soja secos recebidos da lavoura.

Figura 16 - Unidade de pré-processamento e armazenagem de grãos de soja (Armazém 1 – Cooperativa-Cotrirel) – Plano de amostragem experimental.



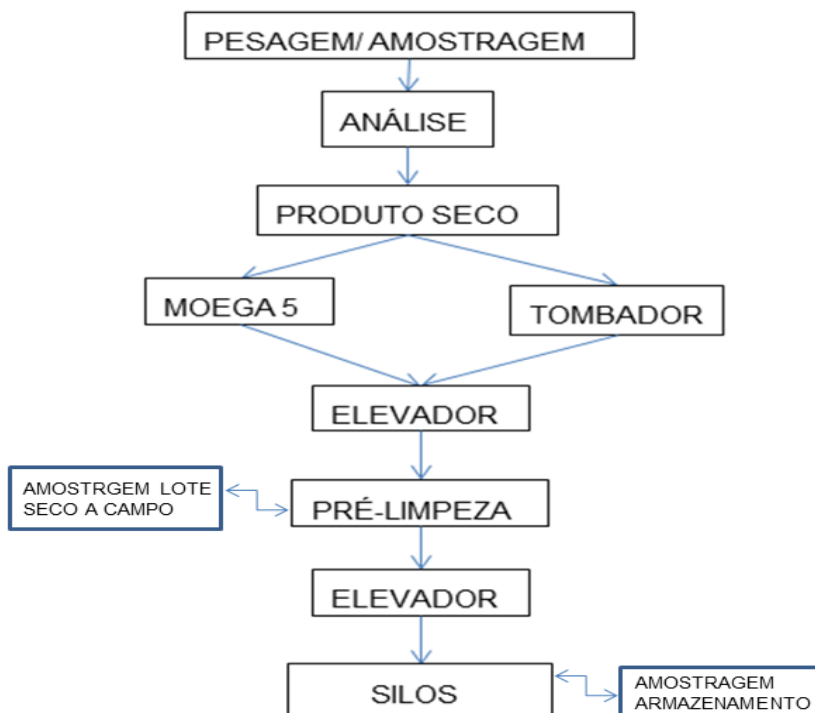
Fonte: Autor.

Figura 17 - Procedimentos de amostragem na unidade de pré-processamento e armazenamento de grãos de soja (Armazém 1 – Cooperativa-Cotrirel).



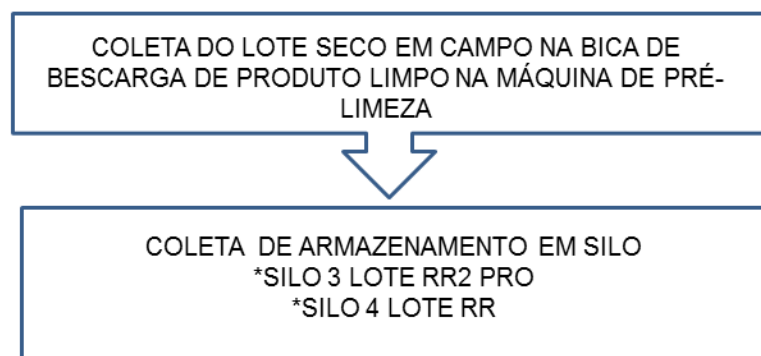
Fonte: Autor.

Figura 18 - Unidade de pré-processamento e armazenamento de grãos de soja (Armazém 1 – Cooperativa-Cotrirel) – Plano de amostragem experimental.



Fonte: Autor.

Figura 19 - Procedimentos de amostragem na unidade de pré-processamento e armazenamento de grãos de soja (Armazém 2 – Cooperativa-Cotrirel).



Fonte: Autor.

A estrutura do Armazém 1 caracteriza-se por receber os grãos em um conjunto de moegas com capacidade de 360 toneladas. A movimentação dos grãos das moegas até o elevador de transporte vertical é realizada via correia transportadora, localizada na parte inferior da moega, modelo *CT 20, de 16 m de comprimento e capacidade de 120 ton h⁻¹. Para o transporte vertical é utilizado um elevador de caçambas modelo *CAMC 15, com altura de 40 m e altura entre eixos de 38,70 m, com capacidade de 120 ton h⁻¹, com acionamento via motor elétrico de 30 CV, 4 pólos trifásicos 220/380, estrutura em chapa galvanizada n° 14, bico de saída e entrada de 240 mm, pé e cabeçote do elevador em chapa 2,65 mm galvanizada. Para a pré-limpeza são utilizadas quatro máquinas *Reinke, modelo PLS 40, com capacidade de 140 ton h⁻¹ cada. Para a secagem dos grãos é utilizado um secador *Condor, modelo *SCMS40, com sistema de secagem contínuo, com capacidade estática de 57 ton h⁻¹ e capacidade dinâmica de 40 ton h⁻¹. O sistema de descarga do secador é do tipo pneumático, com correia transportadora de 16" e 5 metros de comprimento, com capacidade de transporte de 60 ton h⁻¹ acionada por motor elétrico de 4 CV. O secador tem acoplado, após a fornalha de produção de calor, dois ventiladores axiais, modelo *Vane 800 de 15 CV para sucção e

*A citação de marcas e modelos comerciais não aplica nenhuma forma de aprovação ou recomendação dos mesmos por parte da autora.

movimentação do ar para a câmara de secagem, uma fornalha modelo 40, construída de alvenaria com revestimento interno de tijolo refratário, cobertura tipo abóboda de tijolo refratário, portas de alimentação, grelhas e suportes em ferro fundido, pilastras, tirantes, cinzeiros e venezianas em aço SAE 1008/1010, com consumo médio de lenha $1,40 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ para secagem de grãos de soja com umidade inicial de 18% (b.u.) e umidade final de 13% (b.u.).

O sistema de transporte dos grãos secos do secador para os silos pulmão e silos armazenadores são realizados verticalmente, pelo elevador descrito acima e horizontalmente por uma correia transportadora superior, modelo *CT 20 de 58 m de comprimento e capacidade de 120 ton h^{-1} . O sistema de armazenagem do Armazém 1 é composto por dois silos metálicos com capacidade de 20 mil sacas cada, de fundo plano com altura total de 19,50 m e diâmetro de 13,06 m, dotado de sistemas de aeração com ventiladores modelo *ARF 800 ARR 4, acionado por motores de 15 CV, e três silos metálicos fundo plano com capacidade de 40 mil sacas, com altura total de 21,94 m e diâmetro de 14,70 m, com sistema de aeração com ventiladores modelo *ARF 800 ARR 4 acionado por motores de 20 CV (Figura 20).

Figura 20 - Vistas da estrutura e equipamentos do Armazém 1 (Cooperativa Cotriel).



Fonte: Autor.

*A citação de marcas e modelos comerciais não aplica nenhuma forma de aprovação ou recomendação dos mesmos por parte da autora.

O Armazém 2 foi destinado para o recebimento do produto seco, composto por uma moega de descarga simples e uma moega com sistema de descarga utilizando tombador hidráulico, com capacidade de 84 ton, uma máquina de pré-limpeza tipo *Kepler Weber, modelo *SC 240, com capacidade de 240 ton h⁻¹, dois silos metálicos de fundo cônico, com capacidade de 100 mil sacas, de altura total de 25,59 m e diâmetro de 21,83 m, com sistema de aeração utilizando ventilador de modelo *ARF 800 ARR 4, acionado por um motor de 40 CV de potência (Figura 21).

Figura 21 - Vista da estrutura e equipamentos que compõe o Armazém 2 (Cooperativa Cotriel).



Fonte: Autor.

A cooperativa dispõe de um sistema automatizado (Figura 22) para gerenciamento da armazenagem de grãos, que aciona ou desliga os sistemas de movimentação dos grãos (correias transportadoras e elevadores de canecas), máquinas de pré-limpeza, sistema de carregamento e descarregamento dos

*A citação de marcas e modelos comerciais não aplica nenhuma forma de aprovação ou recomendação dos mesmos por parte da autora.

secadores, controle de temperatura do ar de secagem e nível de carregamento do secador, indica os volumes de grãos armazenados nos silos, os níveis de carregamento dos silos, faz o controle e o acionamento dos motores dos ventiladores de aeração, conforme as condições climáticas medidas por uma estação meteorológica, realizando medições em tempo real de temperatura ambiente e da umidade relativa do ar, bem como, as condições dos grãos armazenados monitoradas por um sistema composto por cabos e sensores termopares (sistema de termometria).

Figura 22 - Sistemas de automação do secador/fornalha e transportadores da unidade armazenadora de grãos.



Fonte: Autor.

Comparou-se a qualidade dos grãos de soja nas operações de recebimento e secagem, entre os diferentes manejos de pós-colheita, avaliando-se diferentes teores de água dos lotes de grãos e diferentes cultivares (seis tratamentos). Os lotes de grãos de soja avaliados foram divididos em: grãos de soja seca da lavoura (cultivar RR e RR2), grãos de soja seca em unidade de secagem da cooperativa (misturadas) e grãos de soja úmida da lavoura (misturadas), compondo os seguintes tratamentos experimentais:

- Tratamento 1 - Grãos de soja úmida da lavoura (SUL) (17%);
- Tratamento 2 - Grãos de soja seca da lavoura RR (SSLRR) (13,8%);
- Tratamento 3 - Grãos de soja seca da lavoura RR2 (SSLRR2) (14,3%);
- Tratamento 4 - Grãos de soja seca em secador 1 (SSS1) (11,5%);
- Tratamento 5 - Grãos de soja seca em secador 2 (SSS2) (13,8%);
- Tratamento 6 - Grãos de soja seca em secador 3 (SSS3) (14,1%).

A temperatura do ar de secagem foi medida através de sensor termopar instalado no próprio secador e posicionado no espaço de transição da câmara de secagem (mistura entre ar e grãos) e a câmara de resfriamento. A temperatura da massa de grãos foi medida ao longo da secagem, com coletas de amostras na saída do secador e com auxílio de um recipiente, colocou-se a amostra junto com um termômetro de iodo para obtenção da temperatura. A velocidade do ar na entrada da fôrnalha e no ciclone foram medidas com um anemômetro de pás. Os teores de água de amostras de grãos ao longo da secagem foram medidas indiretamente pelo equipamento Motonco 9195 que correlaciona à capacitância elétrica com a umidade do produto.

Os lotes de grãos secos foram submetidos à armazenagem por um período de dois meses, com os seguintes tratamentos experimentais:

- Tratamento 7 - Grãos de soja úmida da lavoura (SUL) + grãos de soja seca no secador (SSS1, SSS2, SSS3) - Silo 1;
- Tratamento 8 - Grãos de soja seca no secador (SSS1, SSS2, SSS3) - Silo 2;
- Tratamento 9 - Grãos de soja seca da lavoura RR2 (SSLRR2) - Silo 3;
- Tratamento 10 - Grãos de soja seca da lavoura RR (SSLRR) - Silo 4.

Durante o tempo de armazenamento realizou-se aerações diárias da massa de grãos e acompanhamento das temperaturas da massa de grãos no interior dos silos, através de sensores termopares distribuídos equidistantes em 3 m. Avaliou-se a qualidade dos grãos de soja ao longo do tempo de armazenamento, nos tempos (zero, 30 e 60 dias), com coletas de 1 kg de produto. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, fatorial (4x3), sendo quatro condições de grãos armazenados e três tempos de armazenamento.

A amostragem de grãos para análise da qualidade foi realizada nos seguintes pontos: na recepção dos lotes (balança de pesagem); antes da entrada dos lotes de grãos no secador, na saída do secador e no interior do silo armazenador.

5.2 Experimento II

O experimento II foi realizado em escala laboratorial, na Universidade Federal de Santa Maria. Avaliou-se em condições controladas os efeitos latentes da temperatura do ar de secagem em nas cultivares de soja RR e RR2. Os grãos de soja foram submetidos ao processo de secagem nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C em secador experimental de bandejas com aquecimento por lâmpadas e ventilação forçada, até atingir os grãos atingirem teores de água de 12% (b.u.). O fluxo de ar era proporcionado por um ventilador axial que conduzia o ar até o plenum, onde fluía através das bandejas de fundo telado e removíveis. A velocidade do ar de secagem na câmara foi regulada com um anemômetro de fio quente a 2,7 m s⁻¹. A umidade relativa e a temperatura do ar ambiente foram monitoradas por um higrômetro digital.

Para cada tratamento foram realizados três repetições de secagem, com lotes de 1,5 Kg de grão para cada repetição. Controlou-se a temperatura do ar com um sistema termostato instalado no secador e um termômetro de mercúrio para aferição, enquanto que, a temperatura da massa de grãos foi medida de 30 em 30 minutos com um termômetro de iodo. Para determinar as curvas de secagem (umidade x tempo), mediu-se a umidade da massa de grãos pela diferença de peso (gravimetria) ao longo do processo de secagem. Os teores de água foram calculados pela equação 39:

$$U = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) 100 \quad (39)$$

em que,

U – teor de água (b.u) (%);

P_i – peso inicial da amostra (g);

P_f – peso final da amostra (g).

Após a secagem as amostras de grãos de soja foram submetidas a armazenagem em câmaras frias nas condições controladas de temperatura (10 e 20 °C), por um período de dois meses.

Foi utilizado um delineamento experimental inteiramente casualizado, fatorial (2x3x2x3), sendo duas cultivares, três temperaturas do ar de secagem, duas condições de armazenamento e três tempos de armazenamento. A qualidade física e físico-química dos grãos de soja foi determinada após a secagem e mensalmente ao longo do tempo de armazenamento.

Balanco de massa e energia dos sistemas de secagem

A massa de água inicial nos grãos de soja no sistema de secagem foi determinada pela equação 40:

$$P_{ti} = P_t U_i \quad (40)$$

em que,

P_{ti} - massa de água inicial no produto (kg);

P_t - massa total de produto (kg);

U_i – umidade final do produto (b.u.) (%).

A massa de água final nos grãos de soja no sistema de secagem foi determinada pela equação 41:

$$P_{tf} = P_t U_f \quad (41)$$

em que,

P_{tf} - massa de água final no produto (kg);

P_t - massa total de produto (kg);

U_f – umidade final do produto (b.u.) (%).

A massa de água evaporada nos grãos de soja no sistema de secagem foi determinada pela equação 42:

$$W_{evap} = W_1 - W_2 \quad (42)$$

em que,

W_{evap} – massa de água evaporada (kg);

W_1 - massa de água inicial no produto (kg);

W_2 – massa de água final no produto (kg).

A massa final de grãos de soja após a secagem foi determinada pela equação 43:

$$P_f = P_t - W_{evap} \quad (43)$$

em que,

P_f – massa final de produto (kg).

O rendimento do sistema de secagem de grãos soja foi determinado pela equação 44:

$$R_t = \frac{W_{evap}}{P_{ti}} \quad (44)$$

em que,

R_t – rendimento de secagem (%).

Para determinar a umidade relativa do ar foi utilizada a equação 45:

$$UR = \left(\frac{P_v}{P_{vs}} \right) 100 \quad (45)$$

em que,

UR – umidade relativa do ar (%);

P_v – pressão de vapor (kPa);

P_{vs} – pressão de vapor de saturação (kPa).

A pressão real de vapor foi determinada pela equação 46:

$$P_v = P_{vs} - A P_{atm} (T - T_u) \quad (46)$$

em que,

P_v - pressão real de vapor (hPa);

A - constante psicrométrica (psicrômetros aspirados = $6,7 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);

P_{vs} - pressão de saturação na temperatura de bulbo úmido (hPa);

P_{atm} - pressão atmosférica local (hPa);

T - temperatura de bulbo seco ($^\circ\text{C}$);

T_u - temperatura de bulbo úmido ($^\circ\text{C}$).

A pressão atmosférica foi determinada pela equação 47:

$$P_{atm} = 101,3 \left[\frac{(293 - 0,0065h)}{293} \right] \quad (47)$$

em que,

P_{atm} – pressão atmosférica (kPa);

h – altitude (m).

A pressão de vapor de saturação foi determinada pela equação 48:

$$P_{sat} = 6,1078 \times 10^{\left[\frac{7,5T}{237,5T} \right]} \quad (48)$$

P_{sat} - pressão de vapor de saturação (kPa);

T – temperatura de bulbo seco do ar (°C).

O balanço de calor utilizado no sistema de secagem foi determinado pela equação 49:

$$Q = \left\{ W \left[\left(\frac{100 - U_i}{100} \right) c_m + \left(\frac{U_i}{100} \right) c_{H_2O} \right] (t_s - t_m) + \left[\frac{W(U_i - U_f)}{100 - U_f} \right] r + P \right\} \quad (49)$$

em que,

Q - quantidade de calor do sistema de secagem (kcal kg⁻¹);

W - peso de entrada do produto a ser secado (kg);

U_i – teor de água inicial (b.u.) (%);

U_f - teor de água final (b.u.) (%);

c_m - calor específico do produto a ser secado (grão ~ 0,47 kcal kg⁻¹ °C⁻¹);

c_{H_2O} – calor específico da água (kcal kg⁻¹ °C⁻¹);

r – calor latente de vaporização da água (~ 568 kcal kg⁻¹ °C⁻¹);

t_s - temperatura do ar de secagem (°C);

t_m - temperatura da massa de grãos (°C);

P – perdas (~ 30%).

Para calcular a vazão mássica de combustível consumido durante as operações de secagem foi utilizada a equação 50:

$$V_{mc} = \frac{M_c}{t_o} \quad (50)$$

em que,

V_{mc} - vazão mássica de combustível (kg h^{-1});

M_c - massa de combustível, considerando massa específica da lenha eucalipto de 450 kg m^{-3} (kg);

t_o - tempo de operação (h).

A energia de entrada no secador foi calculada pela equação 51:

$$E_s = \frac{V_{mc}}{Q_{ta}} PCI \quad (51)$$

em que,

E_s - energia de entrada do secador (kcal kg^{-1})

Q_{ta} - quantidade de produto (kg);

PCI - poder calorífico inferior (kcal kg^{-1}).

A energia de saída do secador do secador foi calculada pela equação 52:

$$E_s = E_s - Q \quad (52)$$

em que,

E_s - energia de saída do secador (kcal kg^{-1}).

O rendimento térmico do secador foi calculado pela equação 53:

$$R_s = \left(\frac{Q}{E_s} \right) 100 \quad (53)$$

em que,

R_s - rendimento térmico do secador (%).

Análises físicas e físico-químicas de grãos soja

Os lotes de grãos de soja foram classificados de acordo com a Instrução Normativa nº 11, de 15 de maio de 2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2007). Em uma amostra de grãos de soja de trabalho, homogeneizada, foi determinado o grupo (I ou II), a classe (amarela ou misturada) e o tipo do lote, com base na porcentagem de grãos ardidos e queimados, mofados, esverdeados, partidos, quebrados e amassados, matérias estranhas e impurezas (Figura 23).

Figura 23 – Normativa de classificação física da soja.

Limites máximos de tolerância, expressos em porcentagem, para a soja do Grupo I:

Tipo	Avariados				Esverdeados	Partidos Quebrados e Amassados	Matérias Estranhas e Impurezas
	Total de Ardidos e Queimados	Máximos de Queimados	Mofados	Total ⁽¹⁾			
1	1,0	0,3	0,5	4,0	2,0	8,0	1,0
2	2,0	1,0	1,5	6,0	4,0	15,0	1,0

(1) A soma de queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos.

Limites máximos de tolerância, expressos em porcentagem, para a soja do Grupo II:

Tipo	Avariados				Esverdeados	Partidos Quebrados e Amassados	Matérias Estranhas e Impurezas
	Total de Ardidos e Queimados	Máximos de Queimados	Mofados	Total ⁽¹⁾			
Padrão Básico	4,0	1,0	6,0	8,0	8,0	30,0	1,0

(1) A soma de queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos.

Fonte: IN n° 11.

O teor de água de grãos (% b.u.) foi determinado pelo método da estufa, com ar aquecido convectivo a 103 ± 1 °C, durante 24 h e com ventilação forçada de ar. A umidade foi determinada por gravimetria, pela diferença de peso inicial da amostra de 15 g e final submetidas à secagem na estufa (BRASIL, 2009). Posteriormente, as amostras foram removidas e colocadas em dessecadores com sílica para esfriar e em seguida serem submetidas a pesagem final. Foram realizadas três repetições para cada tratamento e os cálculos de umidade foram determinados pela equação 39.

A análise das propriedades físicas dos grãos de soja foi realizada de acordo com a metodologia descrita por MOHSENIN (1986). A massa específica aparente dos grãos de soja foi determinada pela pesagem de uma massa de grãos colocada em um volume conhecido (equação 54). Foram realizadas cinco repetições para cada tratamento.

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad (54)$$

em que,

ρ_{ap} - massa específica aparente (kg m^{-3});

m - massa de grãos (kg);

V - volume (m^3).

A determinação do volume dos grãos foi baseada pela equação 55:

$$V_g = \frac{\pi(abc)}{6} \quad (55)$$

em que,

V_g - volume (m^3);

a - comprimento (m),

b - largura (m);

c - espessura (m).

Após a determinação do volume dos grãos de soja foram pesados, utilizando-se uma balança com resolução de 0,001 g. A massa específica unitária foi determinada pela equação 56:

$$\rho_{un} = \frac{m_g}{V_g} \quad (56)$$

em que,

ρ_{un} - massa específica unitária ($kg\ m^{-3}$);

m_g - massa de grãos (kg);

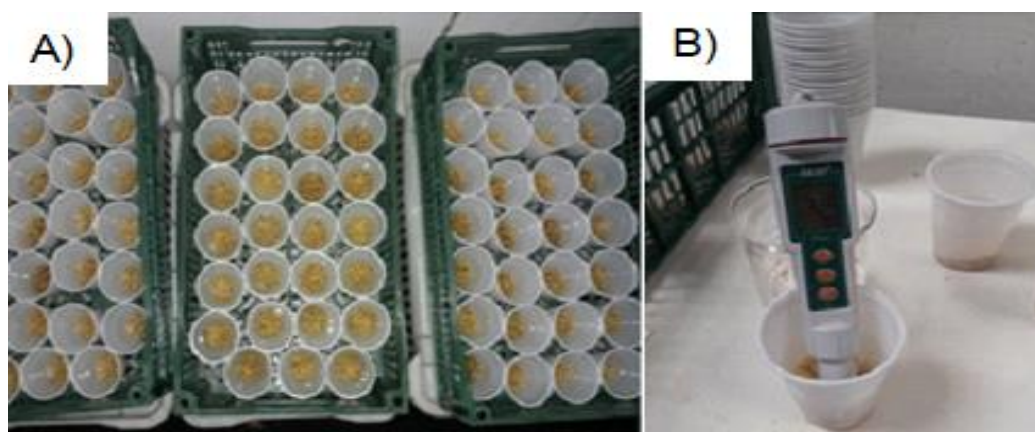
V_g - volume (m^3).

Para a determinação da porosidade, foi utilizado o método direto, acrescentando-se um volume líquido conhecido nos espaços da massa granular. Foi utilizado um becker de 200 mL e uma proveta de 250 mL, o líquido utilizado foi o óleo de soja. Os valores de porosidade foram os resultados obtidos do volume de óleo vegetal adicionado na amostra, que ocuparam os espaços intergranulares. Os resultados foram transformados em porcentagem de espaços vazios da massa de grãos. Foram realizados cinco repetições para cada tratamento.

O teste de condutividade elétrica foi realizado nos grãos de soja, de acordo com a metodologia descrita por VIEIRA & KRZYZANOWSKI (1999). Foram utilizadas quatro repetições de cinquenta grãos, para cada repetição de cada tratamento. Os grãos foram pesados em balança digital com precisão de duas casas decimais e colocadas em copos plásticos (200 mL), em seguida adicionou-se 75 mL de água

deionizada em cada recipiente. Os copos foram colocados em um germinador, previamente regulado a 25 °C, durante 24 horas. Decorrido esse período, os recipientes foram retirados e suavemente agitados. Para a realização dos testes foi utilizado um medidor de condutividade elétrica AK51 com calibração automática e compensação automática da temperatura. Os resultados foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ (Figura 24).

Figura 24 - Análises de condutividade elétrica em grãos de soja. A) Amostras mantidas em câmara de germinação a 25 °C; B) Determinação da condutividade elétrica.



Fonte: Autor.

Para determinação da porcentagem de matéria seca (MS) das amostras de grãos de soja, previamente elas foram moídas a granulometria de um milímetro, após as amostras foram colocadas em estufa de secagem a 105 °C durante oito horas (AOAC, 1984). Pela diferença de peso inicial e final calculou-se a porcentagem de matéria seca da amostra.

O teor de proteína foi determinado pelo método Kjeldahl (Método 984.13; AOAC, 1997), no qual foi determinado o teor de nitrogênio (N) da amostra. Utilizou-se 0,20 g de amostra, colocada em um bloco digestor juntamente com o catalizador e o ácido sulfúrico a uma temperatura de 300 °C, após a digestão, foi adicionado 10 mL de água destilada e 5 mL de borato de amônia para a realização da destilação, após este processo, realizou-se a titulação com ácido clorídrico (Figura 25). O

processo foi repetido duas vezes para cada amostra. Para conversão dos valores de N em proteína bruta (PB) foi utilizado o fator de correção de 6,25 (equação 57):

$$PB = \frac{V_1 \times 0,4 \times F \times 6,25}{P} \quad (57)$$

em que,

PB - proteína bruta (%);

*V*₁ – volume titulado (mL);

0,4 – equivalente à grama do nitrogênio;

F – fator de correção da solução de H₂SO₄ 0,1N;

P – massa da amostra (g);

6,25 - fator de transformação do nitrogênio em proteína considerando 16% de nitrogênio (100/16 = 6,25).

A determinação dos teores de lipídios (extrato etéreo - EE) foi determinada pelo Método Am5-04 da AOCS (2005), com uso de equipamento ANKOM XT15 e sacos de filtro ANKOM XT4. Foi utilizado éter de petróleo como solvente, adotando-se temperatura de 90 °C, por um período de 60 minutos de extração. Após o período de extração, colocou-se o copo em estufa até que todo o solvente evaporasse. Depois, ele foi colocado no dessecador, até atingir a temperatura constante para pesagem (Figura 26). Os valores obtidos na pesagem foram aplicados à equação 58. O processo foi repetido duas vezes para cada amostra.

$$EE = \left(\frac{P_1 - P_2}{P} \right) 100 \quad (58)$$

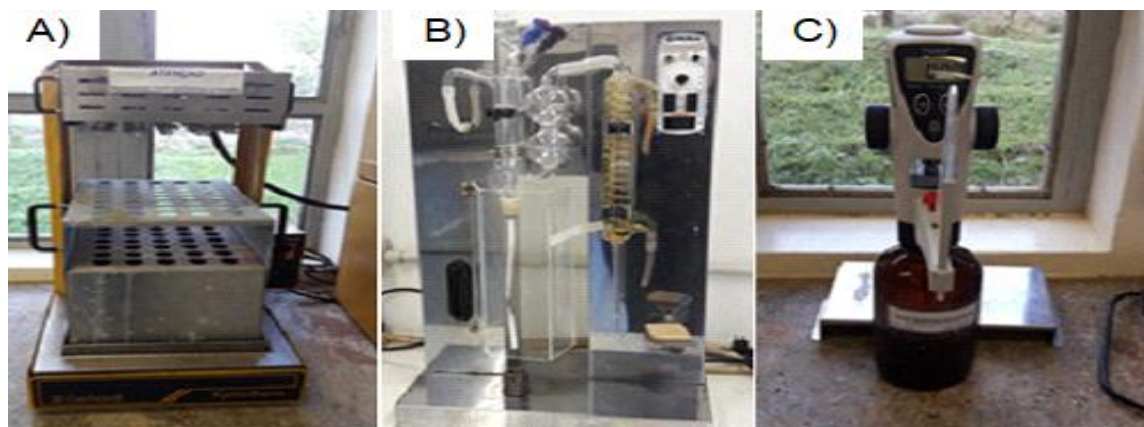
em que,

*P*₁ – peso do recipiente + resíduo (g);

*P*₂ – peso do recipiente vazio (g);

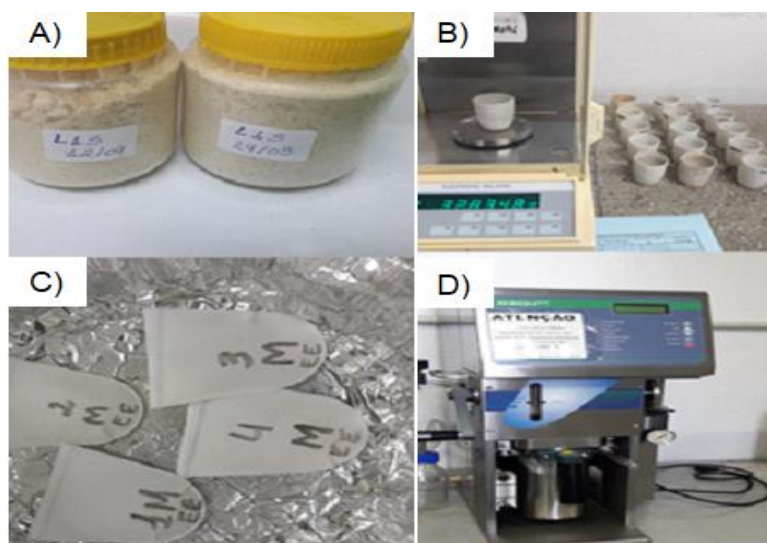
P – massa da amostra (g).

Figura 25 - Equipamentos utilizados para as análises físico-químicas. A) Bloco digestor; B) Destilador; C) Ácido sulfúrico utilizado na titulação do teor de nitrogênio



Fonte: Autor.

Figura 26 - Equipamentos e processos realizados para determinação de Extrato Etéreo. A) Amostra moída a 1 mm para determinação das análises; B) Determinação de massa seca; C) Pesagem da amostra para determinação de extrato etéreo, D) equipamento extrator de óleo.



Fonte: Autor.

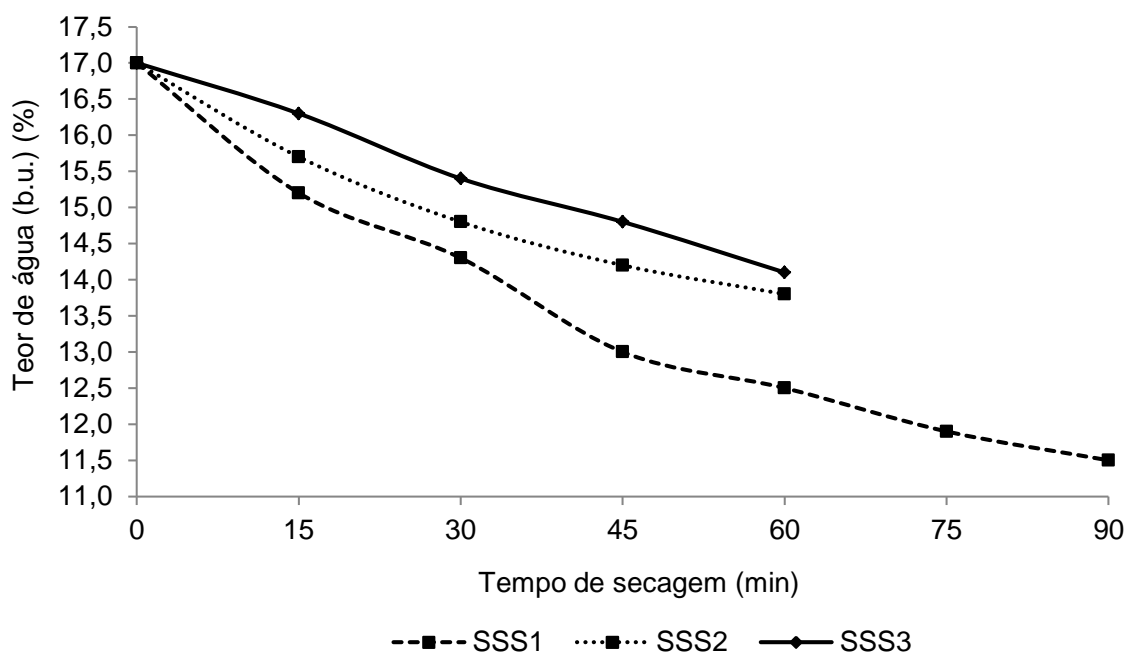
Para avaliação dos resultados foram feitas análises de variância e testes de médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o software Sisvar 5.6. Os resultados significativos foram submetidos a regressão linear.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Experimento I

Durante o processo de secagem, conforme observados na Figura 27 e Tabela 3, o lote de soja seco em secador 1 (SSS1) passou por um período de secagem de 90 minutos, reduzindo os teores de água de 17% para 11,5%, com variação da temperatura do ar de secagem de 85 a 101 °C e variação da temperatura da massa de grãos de 36 a 41 °C.

Figura 27 - Curvas de secagem de grãos de soja de diferentes lotes, em secador contínuo à temperatura do ar de secagem de 90 °C.



O lote de soja seco em secador 2 (SSS2) passou por período de secagem de 60 minutos, reduzindo os teores de água de 17% para 13,8%, com variação da temperatura do ar de secagem de 104 a 122 °C e variação da temperatura da massa de grãos de 39 a 42 °C. O lote de soja seco em secador 3 (SSS3) passou por um período de secagem de 60 minutos, reduzindo os teores de água de 17% para 13,8%, com variação da temperatura do ar de secagem de 104 a 122 °C e temperatura da massa de grãos variando entre 37 a 42 °C. Observou-se na Figura 27, uma fase constante na secagem devido ao teor de água elevado, assim, a resistência interna

do grão ao transporte de água é menor que a resistência externa à remoção da água da superfície.

Tabela 3. Condições do ar ambiente e dos grãos de soja antes e após a secagem – Experimento I.

Tratamentos	UR (%)	T _{ar ambiente} (°C)	Q _{taproduto úmido} (kg)	U _i (%)	U _f (%)
SSS1	82,0	26,1	1	17	11,4
SSS2	73,0	21,5	1	17	13,8
SSS3	63,0	24,2	1	17	14,1

UR – umidade relativa (%); T_{ar ambiente} – temperatura do ar ambiente (°C); Q_{taproduto úmido} – massa de produto úmido; U_i - umidade inicial do produto (b.u.) (%); U_f – umidade final do produto (b.u.) (%).

Durante o processo de secagem, a retirada de água do produto ocorre pela diferença da pressão de vapor d'água do grão em relação ao ar. A secagem do grão ocorre, portanto, quando houver um gradiente de tensão de vapor do grão para o ar, transferindo a água gradativamente do interior do grão para a periferia, em função de movimentos capilares, difusão de umidade e gradientes de pressão de vapor, assim quanto mais quente o ar, maior quantidade de água ele retém, secando melhor a superfície do grão. Como pode ser observado na Tabela 4, quanto menor a massa de água evaporada no processo de secagem, maior a massa de produto seco e menor foi o rendimento do processo de secagem para os três lotes secos em secador que tiveram rendimento de secagem de 29,1%, 18,82% e 17,5%.

Observou-se, que quanto menor o teor de água final do produto, maior foi a energia consumida no processo de secagem, maior a vazão mássica de combustível, maior foi a massa de combustível utilizada no processo de secagem e melhor foi o rendimento energético do secador, em função da energia de entrada, para os lotes SSS1, SSS2 e SSS3 que foi de 84,38, 75,92 e 75,92 Kcal, respectivamente, e energia de saída que foi de 2,04, 2,10 e 2,41 Kcal, respectivamente (Tabelas 5 e 6).

Tabela 4. Balanço de massa dos grãos de soja na secagem – Experimento I.

Tratamentos	T_s (°C)	P_{ti} (kg)	P_{tf} (kg)	W_{evap} (kg)	P_f (kg)	R_t (%)
SSS1	90	0,1700	0,1140	0,0560	0,9440	29,41
SSS2	90	0,1700	0,1380	0,0320	0,9680	18,82
SSS3	90	0,1700	0,1410	0,0290	0,9710	17,05

T_s – temperatura do ar de secagem (°C); P_{ti} – massa de água inicial no produto (kg); P_{tf} – massa de água final do produto; W_{evap} – massa de água evaporada (kg); P_f - massa final de produto (kg); R_t – rendimento de secagem (%).

Tabela 5. Balanço de energia do sistema de secagem – Experimento I.

Trat.	W (kg)	U_i (%)	c_m (kcal kg ⁻¹ °C ⁻¹)	c_{H2O} (kcal kg ⁻¹ °C ⁻¹)	t_s (°C)	t_m (°C)	U_f (%)	r (kcal kg ⁻¹ °C ⁻¹)	P (%)	Q (kcal kg ⁻¹)
SSS1	1	17,0	0,47	1	90	41	11,4	568	30	82,34
SSS2	1	17,0	0,47	1	90	40	13,8	568	30	63,82
SSS3	1	17,0	0,47	1	90	37	14,1	568	30	63,51

Q - quantidade de calor do sistema de secagem (kcal kg⁻¹); W - peso de entrada do produto a ser secado (kg); U_i – teor de água inicial (b.u.) (%); U_f - teor de água final (b.u.) (%); c_m - calor específico do produto a ser secado (grão ~ 0,47 kcal kg⁻¹ °C⁻¹); c_{H2O} – calor específico da água (kcal kg⁻¹ °C⁻¹); r – calor latente de vaporização da água (~ 568 kcal kg⁻¹ °C⁻¹); t_s - temperatura do ar de secagem (°C); t_m - temperatura da massa de grãos (°C); P – perdas (~ 30%).

Tabela 6. Continuação - balanço de energia do sistema de secagem – Experimento I.

Trat.	Qta produto (kg)	Lenha (m ³)	M_c (kg)	t_o (h)	V_{mc} (kg h ⁻¹)	V_{mc}/Q_{ta} (kg)	PCI (kcal kg ⁻¹)	E_e (kcal)	E_s (kcal kg ⁻¹)	R_s (%)
SSS1	40000	2,5	1125	1,5	750	0,01875	4500	84,38	2,04	97,5
SSS2	40000	1,5	675	1,0	675	0,01687	4500	75,92	12,10	84,0
SSS3	40000	1,5	675	1,0	675	0,01687	4500	75,92	12,41	83,6

V_{mc} - vazão mássica de combustível (kg h⁻¹); M_c – massa de combustível, considerando massa específica da lenha eucalipto de 450 kg m⁻³ (kg); t_o – tempo de operação (h); E_e – energia de saída do secador (kcal kg⁻¹); PCI – poder calorífico inferior (kcal kg⁻¹); R_s - rendimento térmico do secador (%); Q - quantidade de calor do sistema de secagem (kcal kg⁻¹); E_e - energia de entrada no secador (kcal kg⁻¹).

Quanto a classificação física dos lotes de soja, o lote SSS1 foi enquadrado no como fora de tipo por apresentar mais de 1% de impurezas (Tabela 7). O lote SUL foi enquadrado no tipo 2 por apresentar mais de 1% de total de ardidos e queimados e os demais lotes enquadrados no Tipo 1, ambos os tipos pertencentes ao Grupo I de classificação, podendo ser destinados à alimentação in natura.

Tabela 7. Classificação física de grãos de soja de diferentes lotes após secagem à temperatura do ar de 90 °C

TRAT.	TIPO	AVARIADOS				ESVERDEADO	PARTIDOS, QUEBRADOS E AMASSADOS	MATERIA ESTRANHA E IMPUREZA
		TOTAL ARDIDOS E QUEIMADO	MÁXIMO QUEIMADO	MOFADO	TOTAL			
SUL	2	1,04	-	-	1,04	0,69	2,03	0,29
SSS1	FT	0,74	-	-	0,74	0,34	2,33	1,21
SSS2	1	0,56	-	-	0,56	0,00	1,22	0,25
SSS3	1	0,31	-	-	0,31	0,11	3,35	0,91
SSLRR	1	0,35	-	-	0,35	0,23	3,31	0,41
SSLRR2	1	0,32	-	-	0,32	0,17	3,39	0,20

Os lotes que passaram por processo de secagem em secador, lotes secos em lavoura e lote úmido não apresentaram diferença em relação ao teor de massa seca, massa específica unitária, massa específica aparente e porosidade. Quanto ao teor de proteína bruta o lote de soja do tratamento SSS2 apresentou teores de proteína mais elevados, com 42,87%, enquanto que o lote do tratamento SSLRR apresentou 38,50%, sendo inferior aos demais lotes. Estes resultados se assemelham e superam os encontrados por Hartmann Filho et al. (2016) que encontraram teores de proteína de 38,57% em secagem realizada na temperatura de 80 °C.

O menor teor de lipídios foi apresentado pelo lote do tratamento SSLRR2 com 20,4%, enquanto que, os demais lotes de soja não apresentaram diferença entre si, portanto o emprego de altas temperaturas na secagem não tem efeito negativo na produção de óleo. Em comparação entre as cultivares RR e RR2 PRO sob secagem a campo, a cultivar RR2 PRO possui menor teor de óleo em relação a cultivar RR. Os lotes SSLRR e SSLRR2 tiveram os menores índices de condutividade elétrica, enquanto que os lotes SUL e os lotes que passaram por secagem em secador tiveram índices mais elevados, porém sem diferença significativa entre si, isto indica que o processo de secagem a altas temperaturas afeta mais a estrutura física do grão do que a secagem a campo. (Tabela 8).

Tabela 8. Qualidade físicas e físico-químicas de lotes de grãos de soja manejadas em unidade de recebimento, secagem e armazenamento

Análises	Tratamentos					
	SUL	SSLRR	SSLRR2	SSS1	SSS2	SSS3
U (%)	17	14,2	13	11,4	13,8	14,1
MS (%)	80,13 A	88,31 A	88,97 A	86,69 A	84,15 A	83,80 A
PB (%)	42,02 CD	38,50 A	40,91 BC	41,64 CD	42,87 D	39,61 AB
EE (%)	23,37 B	22,75 B	20,47 A	23,01 B	23,52 B	23,34 B
ρ_{un} (kg m ⁻³)	933,52 A	933,24 A	931,73 A	955,20 A	965,20 A	971,64 A
ρ_{ap} (kg m ⁻³)	616,85 A	595,88 A	627,34 A	643,06 A	633,45 A	650,05 A
ξ (%)	33,90 A	36,17 A	32,68 A	32,67 A	34,42 A	33,11 A
CE ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	137,78 B	51,78 A	49,14 A	133,45 B	120,67 B	51,78 A

U – teor de água; MS – Matéria Seca; PB – Proteína Bruta; EE – Extrato Etéreo; ρ_{un} - massa específica unitária; ρ_{ap} - massa específica aparente; ξ – porosidade, CE – condutividade elétrica.

O armazenamento seguro de grãos mantém os aspectos qualitativos e quantitativos, impedindo condições favoráveis ao desenvolvimento pragas e microorganismos, entretanto o armazenamento apresenta problemas em decorrência das condições de temperatura e umidade relativa, o que acaba alterando a temperatura e a umidade da massa de grãos, devido principalmente a sua característica higroscópica. Durante o período de armazenamento no Silo 1, com teores de água, entre 15,4 a 15,7 % (b.u.) a temperatura da massa de grãos manteve-se constantemente abaixo dos 25 °C, o que indica que o produto não apresentou pontos de aquecimento, entretanto, houve variações da temperatura entre 14 a 24 °C, durante os 60 dias de armazenamento (Figura 28).

Os lotes de soja nos Silos 2, 3 e 4 mantiveram a temperatura da massa de grãos mais estável durante o período de armazenamento, em relação ao Silo 1, sendo que no Silo 2 os teores de água dos grãos armazenados variaram entre 11,6 a 13,4% (b.u.), o Silo 3 (13,4 a 14,2% b.u.), enquanto que, a temperatura da massa de grãos no primeiro mês de armazenamento manteve-se em torno de 3 a 4 °C mais elevada em relação a temperatura da massa de grãos do segundo mês, condição inversa ocorreu no armazenamento do Silo 4 (12,9 a 13,2% b.u.), conforme observados na Figura 29, 30, 31 e Tabela 9. As variações observadas ocorreram devido às condições de umidade relativa e temperatura do ar ambiente e o teor de

água do produto armazenado, provocando variações higroscópicas, alterando a umidade de equilíbrio dos grãos armazenados.

Figura 28 - Temperaturas da massa de grãos armazenada, monitoradas pelo sistema de termometria instalada no interior do Silo 1.

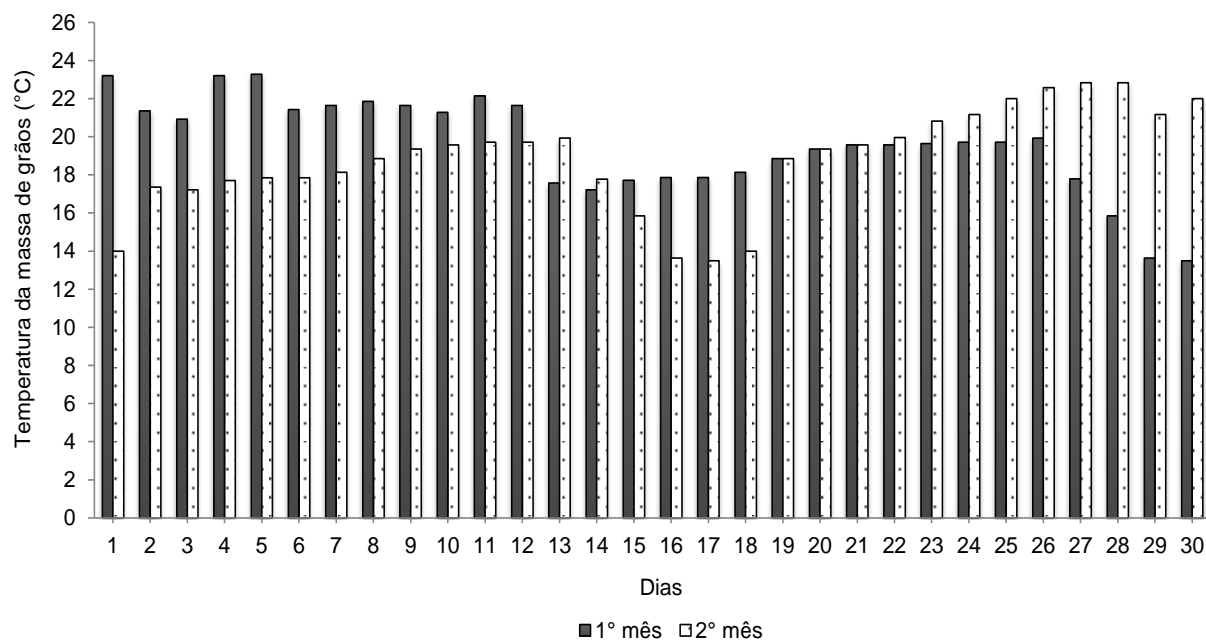


Figura 29 - Temperaturas da massa de grãos armazenada, monitoradas pelo sistema de termometria instalada no interior do Silo 2.

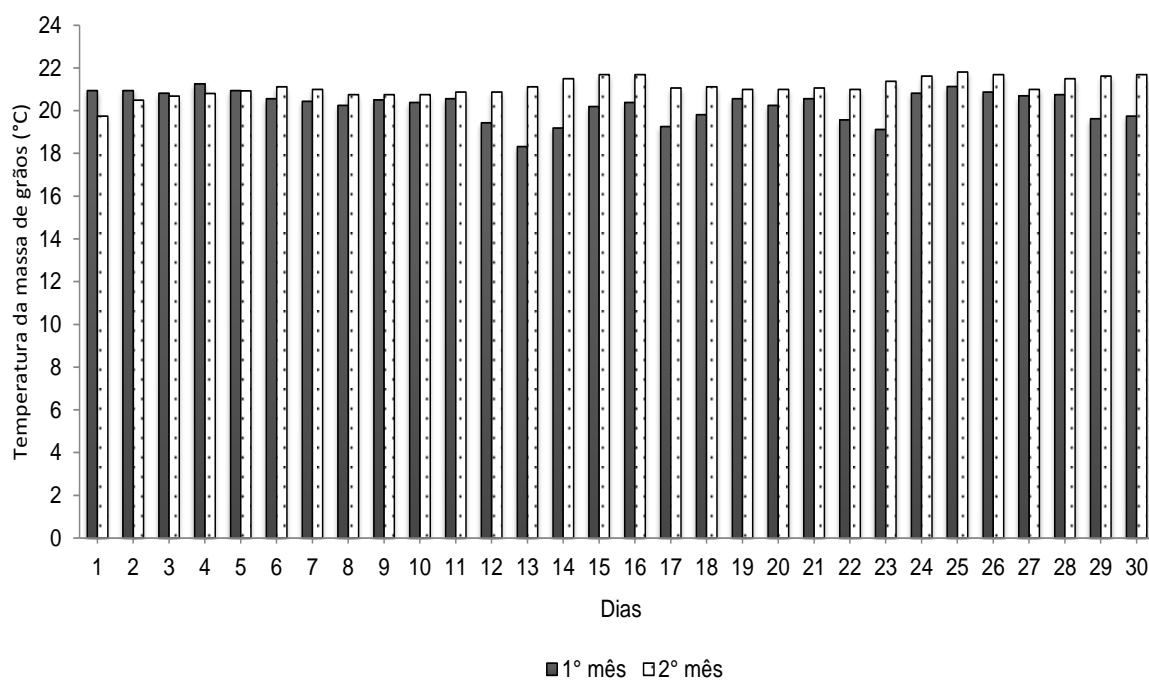


Figura 30 - Temperaturas da massa de grãos armazenada, monitoradas pelo sistema de termometria, instalada no interior do Silo 3.

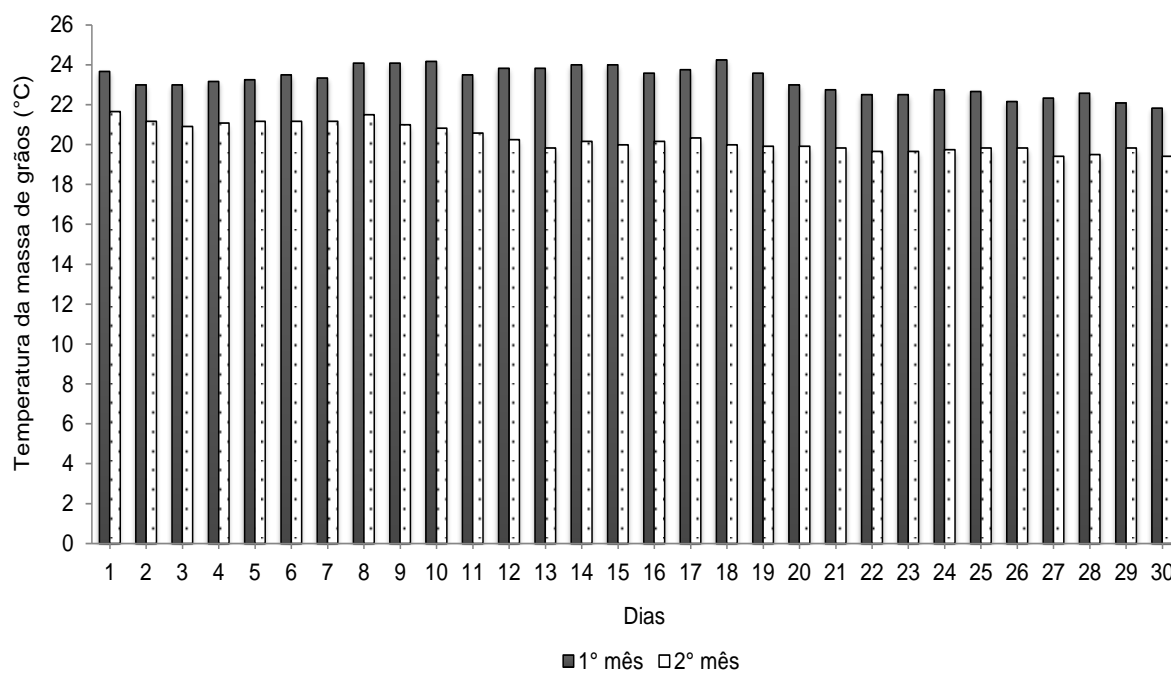


Figura 31 - Temperaturas da massa de grãos armazenada, monitoradas pelo sistema de termometria, instalada no interior do Silo 4.

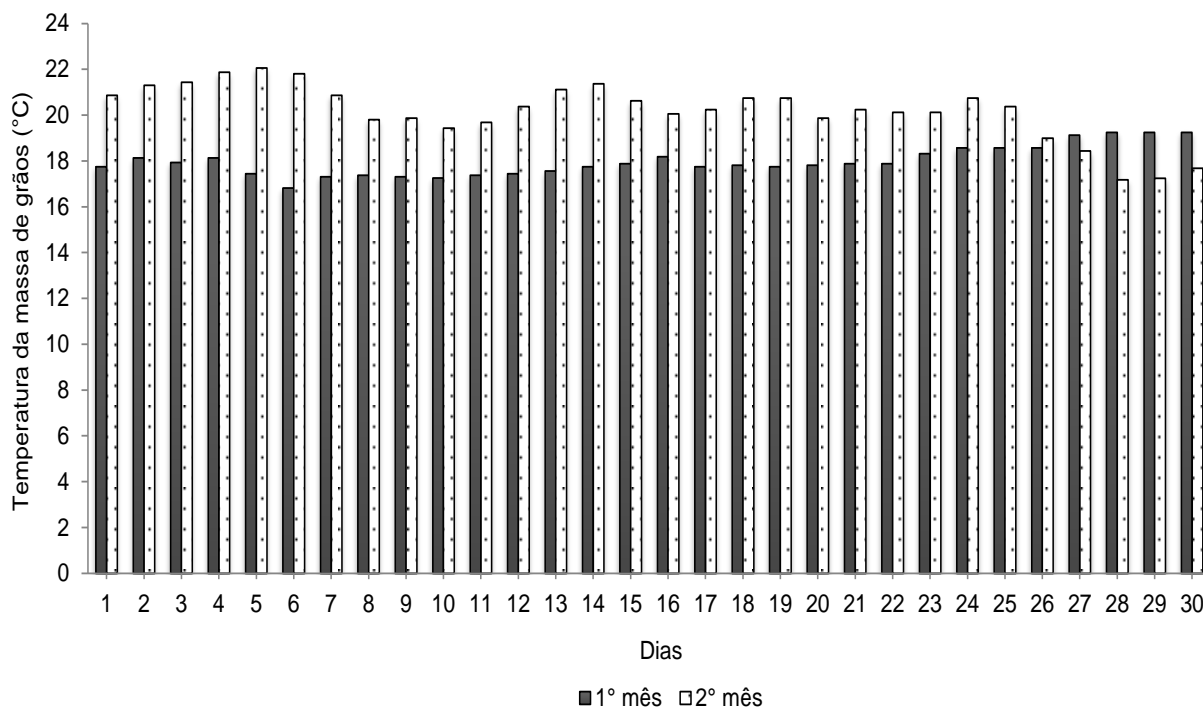


Tabela 9. Teores de água (b.u.) (%) de lotes de grãos de soja armazenadas

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)		
	Zero	30 dias	60 dias
Silo 1	15,4	15,5	15,7
Silo 2	13,4	13,0	11,6
Silo 3	14,2	13,8	13,4
Silo 4	13	12,9	13,2

*Letras maiúsculas para comparação entre linha e letra minúscula para comparação entre coluna, a 5% de probabilidade.

A classificação física da soja dos lotes armazenados durante os 30 e 60 dias preservaram suas propriedades físicas, enquadrando-se conforme a norma de classificação física Tipo 1 do Grupo I, soja destinada ao consumo in natura (Tabelas 10).

É notável o aumento de grãos partidos, quebrados e amassados ao longo do período de armazenamento. Os grãos quebrados ocasionar dificuldades de aeração da massa de grãos devido à compactação das bandinhas consequentemente ocasionando perdas por deterioração, devido aquecimento da massa grãos e desenvolvimento de microrganismos (LEITE, 2014).

Tabela 10. Classificação física de grãos de soja armazenadas durante 30 e 60 dias.

TRAT.	TIPO	AVARIADOS				ESVERDEADO	PARTIDO, QUEBRADO E AMASSADO	MATERIA ESTRANHA E IMPUREZA
		TOTAL ARDIDO E QUEIMADO	MÁXIMO QUEIMADO	MOFADO	TOTAL			
SILO1-30	1	0,66	-	-	0,66	0,09	3,61	0,9
SILO2-30	1	0,55	-	-	0,55	0,47	2,67	0,8
SILO3-30	1	0,27	-	-	0,27	0,19	3,70	0,46
SILO4-30	1	0,4	-	-	0,4	0,07	3,49	0,24
SILO1-60	1	0,99	-	-	0,99	0,58	3,77	1
SILO2-60	1	0,6	-	-	0,6	0,86	7,69	0,86
SILO3-60	1	0,5	-	-	0,5	0,13	7,16	0,53
SILO4-60	1	0,68	-	-	0,68	0,10	5,17	0,32

Os lotes de soja dos Silos 2 e 3 foram influenciados pelas condições de armazenamento, caracterizando-se com aumento nos teores de matéria seca em ambos os períodos de armazenamento, não havendo influencia do tempo em relação à avaliação. Os Silos 1 e 4 não diferiram entre si quanto ao teor de matéria seca, entretanto, no Silo 1 houve acréscimo de matéria seca nos períodos de

armazenamento de 30 e 60 dias em relação ao período inicial, no Silo 4 o acréscimo ocorreu aos 60 dias de armazenamento em relação ao período inicial e aos 30 dias de armazenamento (Tabela 11). Estes dados corroboram com Alencar et al. (2009), pois as condições ambientais foram de temperaturas amenas e umidade relativa do ar elevadas, o que levou a uma manutenção dos teores de água dos grãos armazenados, sendo evidente pelas baixas perdas de matéria seca nos grãos durante o armazenamento, pois a perda de matéria seca é geralmente intensificada sob condições mais quentes e mais secas, reduzindo parâmetros diretamente relacionados, como a massa específica aparente.

Tabela 11. Matéria seca (%) de lotes de grãos de soja armazenadas.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)		
	Zero	30 dias	60 dias
Silo 1	85,94 Aa	87,95 Ab	88,53 Ab
Silo 2	89,47 Ba	89,40 Ba	89,57 Ba
Silo 3	88,95 Ba	89,25 Ba	89,83 Ba
Silo 4	86,97 Aa	87,85 Aa	89,16 Ab

*Letras maiúsculas para comparação entre coluna e letra minúscula para comparação entre linha, a 5% de probabilidade.

Conforme os resultados observados na Tabela 12, não houve diferença significativa entre os lotes de soja dos Silos 1, 2, 3 e 4 com relação a avaliação da massa específica unitária durante o período de armazenamento, destacando-se, o Silo 2 com 1209,58 kg m⁻³ aos 30 dias de armazenamento e os Silos 2 e 4 aos 60 dias de armazenamento com 1105,07 e 1081,96 kg m⁻³, respectivamente.

Tabela 12. Massa específica unitária (kg m⁻³) de lotes de grãos de soja armazenada.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)		
	Zero	30 dias	60 dias
Silo 1	933,24 Aa	1023,30 Aa	1038,81 Aa
Silo 2	955,20 Aa	1209,58 Bb	1105,07 Ab
Silo 3	978,50 Aa	1065,88 Aba	1079,23 Aa
Silo 4	981,78 Aa	1123,70 ABab	1081,96 Ab

*Letras maiúsculas para comparação entre linha e letra minúscula para comparação entre coluna, a 5% de probabilidade.

Os lotes de grãos de soja do Silo 1 tiveram valores inferiores de massa específica aparente (658,22 e 637,83 kg m⁻³), aos 30 e 60 dias de armazenamento, respectivamente., quando comparados com os lotes dos Silos 2, 3 e 4 (Tabela 13).

É notável que o silo que teve os grãos armazenados com o teor de água mais elevado que os demais silos, teve a maior variação de temperatura durante seu armazenamento, e apresentou a menor teor de matéria seca e massa específica unitária e aparente,

Tabela 13. Massa específica aparente (kg m⁻³) de lotes de grãos de soja armazenada

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)		
	Zero	30 dias	60 dias
Silo 1	643,06 ABa	658,22 Aa	637,83 Aa
Silo 2	595,88 Aa	693,15 Ab	678,61 Ab
Silo 3	643,93 ABa	690,23 Ab	681,52 Aab
Silo 4	654,42 Ba	704,79 Ab	678,81 Aab

*Letras maiúsculas para comparação entre linha e letra minúscula para comparação entre coluna, a 5% de probabilidade.

A avaliação da porosidade da massa de grãos de soja não apresentaram diferença significativa ao longo do tempo de armazenamento, entretanto, os lotes de grãos do Silo 2 apresentou maior percentual de porosidade aos 30 dias de armazenamento (42,23%) e os lotes de grãos do Silo 3 apresentou o menor percentual de porosidade (35,24%) (Tabela 14).

Tabela 14. Porosidade (%) de massa de grãos de soja armazenada

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)		
	Zero	30 dias	60 dias
Silo 1	32,67 Aa	35,67 Aba	38,59 Aa
Silo 2	33,11 Aa	42,23 Ba	38,59 Aa
Silo 3	34,42 Aa	35,24 Aa	36,84 Aa
Silo 4	36,17 Aa	37,28 Aba	37,28 Aa

*Letras maiúsculas para comparação entre linha e letra minúscula para comparação entre coluna, a 5% de probabilidade.

Os grãos de soja armazenados nos Silos 3 e 4 não apresentaram diferença estatística entre si e não foram afetados pelo tempo de armazenamento em relação a avaliação da condutividade elétrica, indicando que os grãos mantiveram a qualidade física, quando comparados com os grãos armazenados no Silo 1 (Tabela 15).

Tabela 15. Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) de lotes de grãos de soja armazenada

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)		
	Zero	30 dias	60 dias
Silo 1	133,45 Bb	157,46 Cb	148,46 Cab
Silo 2	120,67 Bb	81,90 ABab	110,95 Bb
Silo 3	51,78 Aa	51,99 Aa	64,29 Aa
Silo 4	49,14 Aa	59,44 Aa	76,07 Aa

*Letras maiúsculas para comparação entre linha e letra minúscula para comparação entre coluna, a 5% de probabilidade.

Nota-se que os valores de condutividade elétrica aumenta para todos os silos com o decorrer do período de armazenamento, indicando a deterioração do grão. Este teste avalia a deterioração dos grãos pelo aumento da permeabilidade da membrana celular, assim, quanto maior a condutividade elétrica do grão, maior a liberação de solutos na embebição (LEITE, 2014).

Na avaliação dos teores de óleo (Tabela 16), os lotes de soja armazenados no Silo 4 tiveram valores de 20,47%, aumentando ao longo do tempo de armazenamento e chegando a 23,47% aos 60 dias de armazenagem, enquanto que, os grãos armazenados no Silo 1, os teores de óleo foram de 24,72 e 24,22% aos 30 e 60 dias de armazenagem. Estes dados corroboram com Alencar et al. (2009), que em estudo do teor de lipídios de soja em diferentes períodos e temperaturas de armazenamento, o teor de lipídios dos grãos aumentou nas condições de umidade do grão de 14,8% em temperaturas de 30e 40 °C. Da mesma forma Hou & Chang (2004), também verificaram o aumento de lipídios em grãos armazenados a 30 °C e 84% de umidade relativa.

Tabela 16. Teores de óleo (%) de lotes de grãos de soja armazenada

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)		
	Zero	30 dias	60 dias
Silo 1	23,35 Ba	24,72 Bb	24,22 Bab
Silo 2	23,01 Ba	23,05 Aa	23,33 Aba
Silo 3	22,75 Ba	22,84 Aa	22,56 Aa
Silo 4	20,47 Aa	23,26 Ab	23,47 ABb

*Letras maiúsculas para comparação entre coluna e letra minúscula para comparação entre linha, a 5% de probabilidade.

Os grãos de soja armazenados nos Silo 1 e 2 tiveram os maiores teores de proteína bruta ao final do tempo de armazenamento, com 38,97 e 39,13%, respectivamente. No primeiro mês de armazenamento, os lotes de grãos do Silo 4 teve teores de proteína bruta de 40,91%, havendo um decréscimo ao longo de 60 dias de armazenamento, chegando a 38,09%. Os grãos de soja armazenados no Silo 3 tiveram teores de proteína bruta mais baixo ao final do tempo de armazenamento (Tabela 17). Lee & Cho (2012) observaram redução nos teores de proteína de soja em armazenamento à temperatura ambiente, Liu et al. (2008) encontraram redução significativa no teor de proteína de soja na temperatura de armazenamento de 30 °C e umidade relativa de 88%.

Tabela 17. Proteína bruta (%) de lotes de grãos de soja armazenada

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)		
	Zero	30 dias	60 dias
Silo 1	39,61 Aa	39,48 Aa	38,97Ba
Silo 2	41,64 Bb	41,21 Bb	39,13 Ba
Silo 3	38,50 Ab	40,19 Ac	37,24 Aa
Silo 4	40,91 Bc	39,29 Ab	38,09 Aa

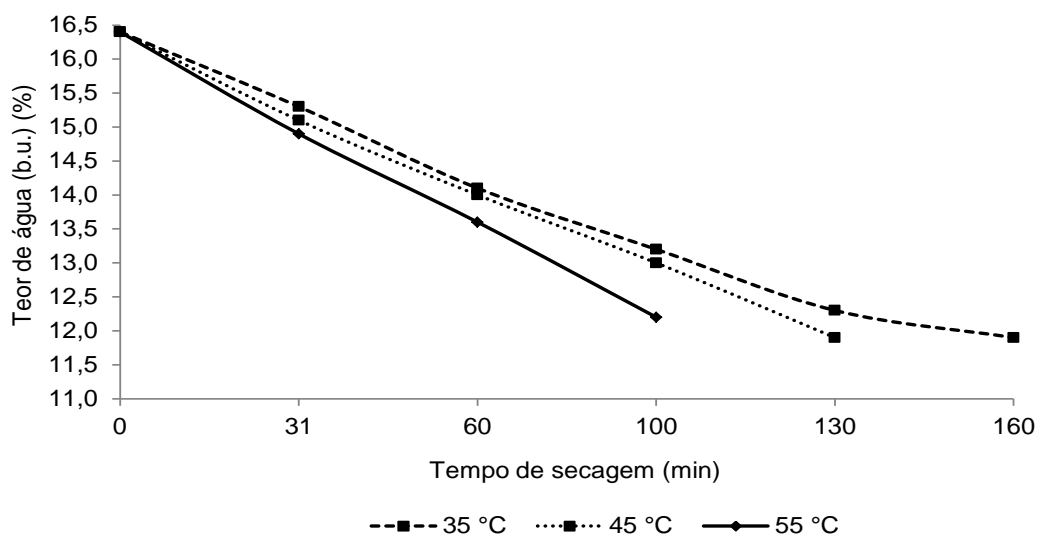
*Letras maiúsculas para comparação entre coluna e letra minúscula para comparação entre linha, a 5% de probabilidade.

6.2 Experimento II

A secagem dos grãos de soja RR foi realizada até atingir os teores de água de equilíbrio higroscópico, nos tempos de secagem de 100, 130 e 160 minutos (Figura 32).

Na temperatura do ar de secagem de 35 °C, a temperatura da massa de grãos variou entre 31 e 32°C, na temperatura de 45 °C a variação foi de 38 a 39 °C e na temperatura de 55 °C a variação da temperatura da massa de grãos variou entre 35 a 39 °C. Observou-se, que houve influência da temperatura do ar de secagem na taxa de secagem, a qual se apresentou maior na temperatura de 55 °C, para um fluxo de ar constante. A curva de secagem na temperatura mais elevada atingiu um menor teor de água para um tempo constante, ou uma mesma umidade em menor tempo, do que a curva de 35 °C, demonstrando uma maior variação da umidade pelo tempo. Essa redução da água a uma temperatura mais elevada é dada pelo mecanismo da difusão térmica.

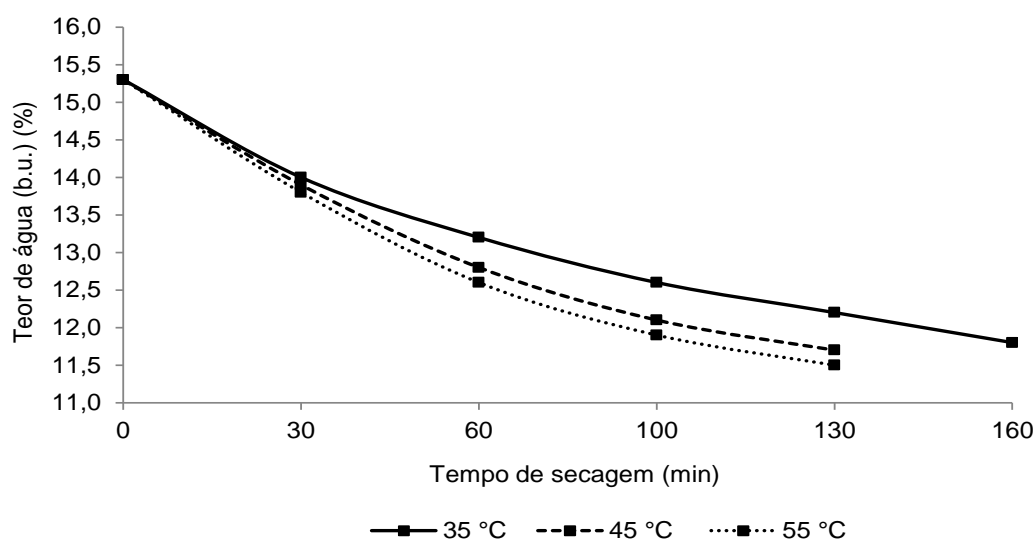
Figura 32 - Curvas de secagem de grãos de soja da cultivar RR.



A secagem da cultivar de soja RR2 PRO foi semelhante a secagem da cultivar RR, na temperatura do ar de secagem de 35 °C o teor de água de equilíbrio higroscópico foi atingido em 160 minutos, enquanto que, nas temperaturas de 45 e 55 °C o teor de água de equilíbrio foi atingido em 130 minutos (Figura 33). A

temperatura da massa de grãos na temperatura do ar de secagem de 35 °C variou de 31 a 33 °C, enquanto que, na temperatura de secagem de 45 °C teve uma variação de 32 a 35 °C e na temperatura do ar de secagem de 55 °C a temperatura da massa de grãos variou de 38 a 39 °C.

Figura 33 Curvas de secagem de grãos de soja da cultivar RR2.



O rendimento energético do secador, no processo de secagem da cultivar de soja RR, nas temperaturas de ar de secagem de 35, 45 e 55 °C foram de 39,88, 42,78 e 49,90 kcal kg⁻¹, enquanto que, para a cultivar RR2 PRO foi de 30,73, 37,98 e 43,17 kcal kg⁻¹, respectivamente (Tabela 18).

Tabela 18. Balanço de energia dos grãos de soja na secagem – Experimento II.

Trat.	W (kg)	U_i (%)	c_m (kcal kg ⁻¹ °C ⁻¹)	c_{H_2O} (kcal kg ⁻¹ °C ⁻¹)	t_s (°C)	t_m (°C)	U_f (%)	r (kcal kg ⁻¹ °C ⁻¹)	P (%)	Q (kcal kg ⁻¹)
RR TS 35 °C	1	16,4	0,47	1	35	32	11,9	568	30	39,88
RR TS 45 °C	1	16,4	0,47	1	45	38	11,9	568	30	42,78
RR TS 55 °C	1	16,4	0,47	1	55	39	12,2	568	30	49,90
RR2 TS 35 °C	1	15,3	0,47	1	35	33	11,8	568	30	30,73
RR2 TS 45 °C	1	15,3	0,47	1	45	34	11,7	568	30	37,98
RR2 TS 55 °C	1	15,3	0,47	1	55	39	11,5	568	30	43,17

Q - quantidade de calor do sistema de secagem (kcal kg⁻¹); W - peso de entrada do produto a ser secado (kg); U_i – teor de água inicial (b.u.) (%); U_f - teor de água final (b.u.) (%); c_m - calor específico

do produto a ser secado (grão ~ 0,47 kcal kg⁻¹ °C⁻¹); c_{H2O} – calor específico da água (kcal kg⁻¹ °C⁻¹); r – calor latente de vaporização da água (~ 568 kcal kg⁻¹ °C⁻¹); t_a - temperatura do ar de secagem (°C); t_m - temperatura da massa de grãos (°C); P – perdas (~ 30%).

Os lotes de ambas as cultivares independente da forma de secagem foram classificados fisicamente como Fora do Tipo, por apresentar mais de 1% de matéria estranha e impurezas, defeito este que pode ser removido dos lotes com um novo beneficiamento (Tabela 19)

Tabela 19 - classificação física da soja após processo de secagem sob diferente temperaturas.

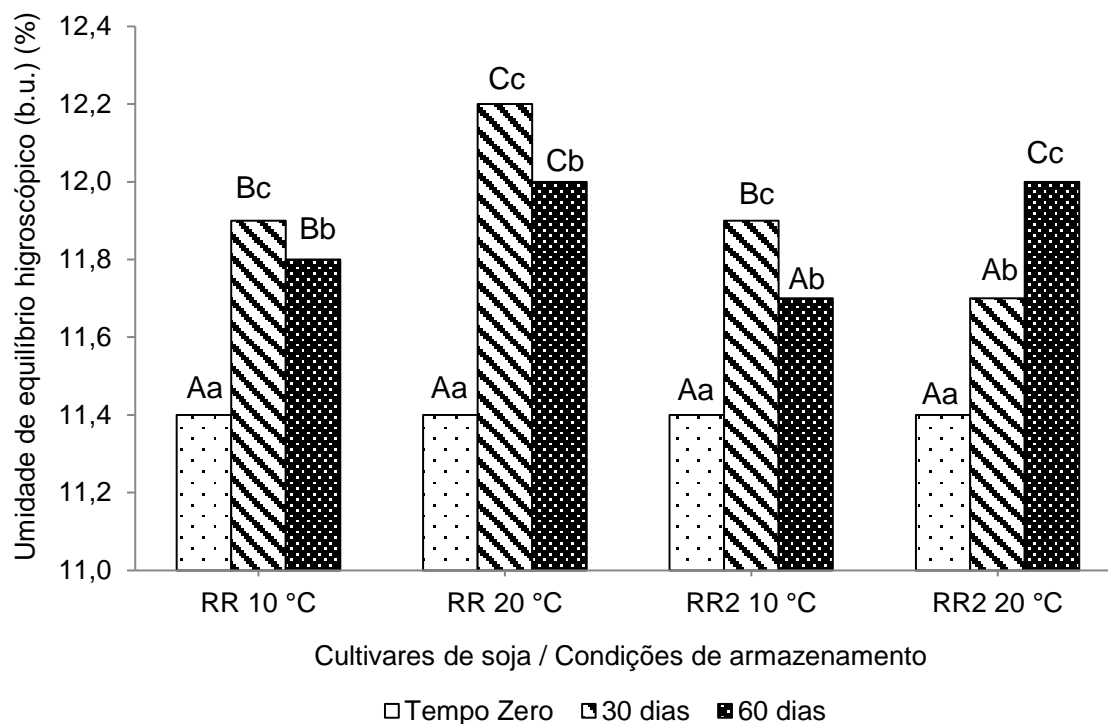
TRAT.	TIPO	AVARIADOS				ESVERDEADOS	PARTIDOS, QUEBRADOS E AMASSADOS	MATERIA ESTRANHA E IMPUREZA
		TOTAL ARDIDOS E QUEIMADO	MÁXIMO QUEIMADO	MOFADO	TOTAL			
RRU	FT	0,58	-	-	0,58	0,17	2,28	1,20
RR2U	FT	0,58	-	-	0,58	0,17	3,81	1,07
RR 35	FT	0,47	-	-	0,47	1,60	2,55	1,67
RR 45	FT	0,3	-	-	0,3	0,21	4,85	4,07
RR 55	FT	0,23	-	-	0,23	0,17	3,71	1,33
RR2 35	FT	0,74	-	-	0,74	0,29	3,45	2,00
RR2 45	FT	0,44	-	-	0,44	0,17	3,57	1,53
RR2 55	FT	0,44	-	-	0,44	0,18	3,99	1,07

Em ambas as cultivares de soja RR e RR2 PRO armazenadas nas temperaturas de 10 e 20 °C em câmara climáticas tiveram variação nos teores de água. Na temperatura de armazenamento de 10 °C não houve diferença na umidade de equilíbrio higroscópico, entre as cultivares, em 30 dias de armazenamento, sendo notória esta diferença aos 60 dias de armazenamento, em que a umidade de equilíbrio da cultivar RR2 PRO atingiu 11,7% (b.u.). Nesta mesma temperatura de armazenamento foi possível observar um aumento gradativo da umidade de equilíbrio até 30 dias de armazenamento e uma pequena queda da umidade em 60 dias de armazenamento (Figura 34).

No armazenamento dos grãos de soja na temperatura controlada de 20 °C houve um aumento da umidade de equilíbrio higroscópico acentuado da cultivar RR em relação a cultivar RR2 PRO, nos primeiros 30 dias de armazenamento, entretanto, ao longo do armazenamento, ambas as cultivares atingiram no final o mesma umidade de equilíbrio higroscópico. Este fato se deu pelos fenômenos de sorção e dessorção que ocorrem de acordo com as características higroscópicas do

grão que ocorre mutuamente com as condições do ar que o circunda (BROOKER et al., 1992; BORDIGNON, 2009).

Figura 34 - Umidade de equilíbrio higroscópico de grãos de soja armazenada.



Os lotes de soja de ambas as cultivares a e temperaturas de armazenamento quando avaliados a classificação física aos 30 dias de armazenamento foram enquadrados em tipo 1 do grupo I de classificação, ou seja, podem ser destinados à alimentação in natura. Já aos 60 dias de armazenamento, os lotes foram enquadrados no tipo padrão básico, no grupo de classificação II, destinado a outras formas de consumo. Esses lotes receberam esta classificação por apresentarem total de ardidos e queimados superior a 1%.

Em estudo, Leite (2014) concluiu que a soja transgênica (RR) apresenta maior porcentagem de grãos quebrados que a soja convencional durante o período de armazenamento. Entretanto, avaliando cultivares RR e RR2 PRO essa diferença entre cultivares não foi encontrada, ficando evidente apenas o aumento de grãos quebrados e ardidos ao decorrer do período de armazenamento.

Tabela 20. Classificação física de grãos de soja armazenadas durante 30 e 60 dias.

TRAT.	TIPO	AVARIADOS				ESVERDEADO	PARTIDO, QUEBRADO E AMASSADO	MATERIA ESTRANHA E IMPUREZA
		TOTAL ARDIDO E QUEIMADO	MÁXIMO QUEIMADO	MOFADOS	TOTAL			
RR10 °C-30	1	0,18	-	-	0,18	0,15	2,98	0,14
RR10°C-60	PB	3,63	-	-	3,63	0,19	3,57	0,12
RR 20°C-30	1	0,24	-	-	0,24	0,6	1,70	0,16
RR 20°C-60	PB	2,16	-	-	2,16	0,23	2,06	0,17
RR2 10 °C-30	1	0,17	-	-	0,17	0,07	1,70	0,16
RR2 10 °C-60	PB	2,34	-	-	2,34	0,07	2,23	0,17
RR2 20°C-30	1	0,29	-	-	0,29	0,05	3,02	0,17
RR2 20 °C-60	PB	2,95	-	-	2,95	0,07	2,85	0,20

Observou-se na Tabela 21, que não houve diferença significativa do índice de matéria seca para as cultivares RR e RR2 PRO, independente da temperatura do ar de secagem e em função do lote úmido inicial.

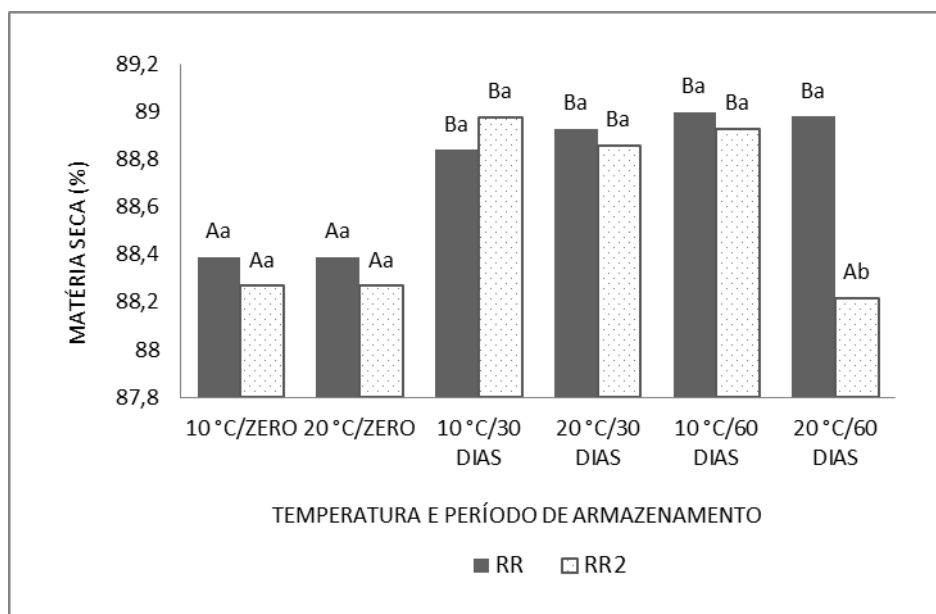
Quanto ao teor de matéria seca sob as diferentes temperaturas e períodos de armazenamento, para ambas as cultivares, o tempo zero apresentou o menor teor de matéria seca. Na temperatura de 10 °C houve diferença significativa entre as cultivares RR e RR2 PRO aos 60 dias de armazenamento, com teores de 89,00% e 88,93%, para a cultivar RR2 PRO, o tempo de armazenamento teve interferência significativa no teor de matéria seca. Na temperatura de 20 °C também houve maior significância aos 60 dias de armazenamento, para as cultivares RR e RR2 PRO, sendo 88,98 e 88,22% de teor de matéria seca, havendo maior influência sobre o tempo de armazenamento, na cultivar RR2 PRO (Figura 35).

Tabela 21. Matéria seca (%) de lotes de grãos de soja após a secagem com diferentes temperaturas do ar.

Cultivares de soja	Temperatura do ar de secagem (°C)			
	Inicial	35	45	55
RR	85,24 Aa	86,35 Aa	93,60 Aa	85,23 Aa
RR2	87,63 Aa	86,67 Aa	89,53 Aa	88,62 Aa

*Letras maiúsculas para comparação entre linha e letra minúscula para comparação entre coluna, a 5% de probabilidade.

Figura 35 - Matéria seca (%) de lotes de grãos de soja em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento.



*Letras maiúsculas para comparação entre temperaturas e letra minúscula para comparação entre tempo, a 5% de probabilidade.

Na avaliação da massa específica aparente, não houve diferença significativa entre as cultivares quando avaliadas nas mesmas condições, entretanto, pode-se observar que para ambas as cultivares, na medida em que a temperatura do ar de secagem aumentou, a massa específica aparente diminui (Tabela 24). Resultado semelhante foi encontrado por Coradi & Lemes (2018), em que a redução na massa específica aparente está associada à redução do teor de água da massa de grãos, em resposta ao aumento da temperatura do ar de secagem.

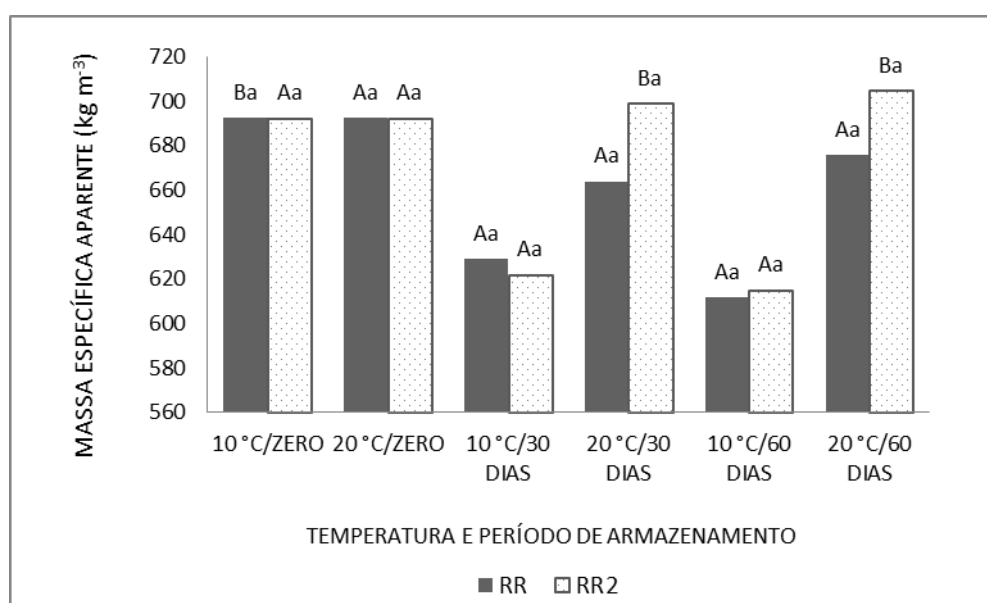
A massa específica aparente dos grãos de soja foram diferentes estatisticamente ao longo do período de armazenamento. Entre cultivares, houve diferença aos 30 e 60 dias de armazenamento na temperatura de 20 °C com a cultivar RR2 PRO, apresentando uma massa específica aparente mais elevada em relação a cultivar RR (Figura 36).

Tabela 22. Massa específica aparente (kg m^{-3}) de grãos de soja após a secagem com diferentes temperaturas do ar

Cultivares de soja	Temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$)			
	Inicial	35	45	55
RR	760,13 Ac	681,50 Ab	710,62 Ab	617,3 Aa
RR2	754,31 Ac	693,15 Ab	687,32 Ab	634,90 Aa

*Letras maiúsculas para comparação entre coluna e letra minúscula para comparação entre linha, a 5% de probabilidade.

Figura 36 - Massa específica aparente (kg m^{-3}) de lotes de grãos de soja em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento.



*Letras maiúsculas para comparação entre tempo e letra minúscula para comparação entre temperatura, a 5% de probabilidade.

No processo de secagem, a massa específica unitária não diferiu quanto à variação da temperatura de secagem, entretanto, para a cultivar RR se destacou a secagem realizada a 45°C com $1154,42 \text{ kg m}^{-3}$, enquanto que, a cultivar RR2 PRO não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 27).

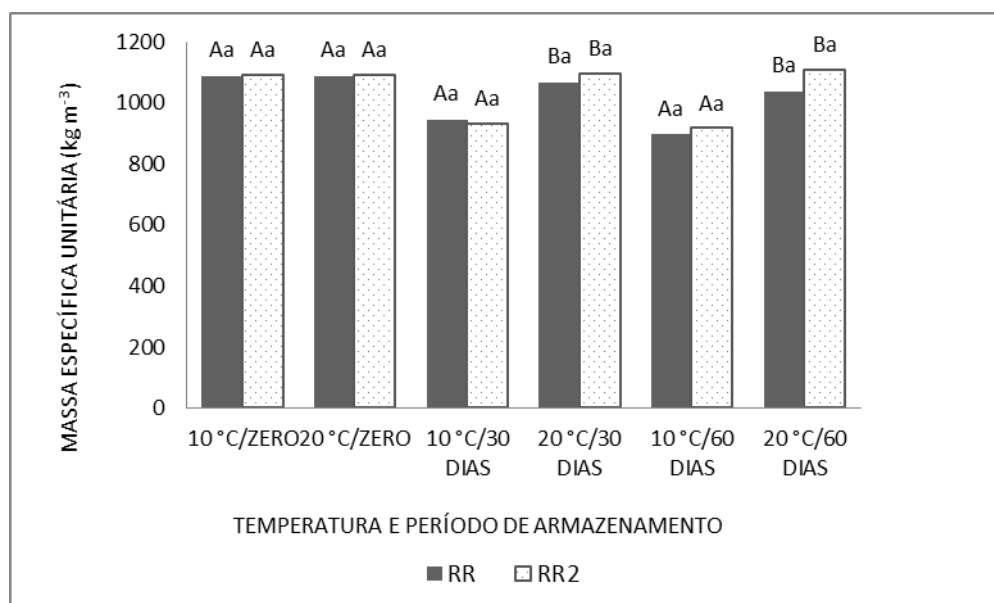
Para ambas as cultivares, o período de armazenamento acarretou perdas de massa específica unitária no armazenamento a 10°C , no período de 30 e 60 dias (Figura 37)

Tabela 23. Massa específica unitária (kg m^{-3}) de grãos de soja após a secagem com diferentes temperaturas do ar

Cultivares de soja	Temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$)			
	Inicial	35	45	55
RR	1133,01 Ab	1107,33 Aab	1154,42 Ab	1003,03 Aa
RR2	1105,17 Aa	1094,96 Aa	1075,85 Aa	1040,88 Aa

*Letras maiúsculas para comparação entre linha e letra minúscula para comparação entre coluna, a 5% de probabilidade.

Figura 37 - Massa específica unitária (kg m^{-3}) de lotes de grãos de soja em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento



*Letras maiúsculas para comparação entre temperaturas e letra minúscula para comparação entre tempo, a 5% de probabilidade.

A temperatura de secagem teve influencia na porosidade da massa de grãos para a cultivar RR2 PRO, sendo maior na temperatura de 55 °C, enquanto que nas temperaturas de 35 e 45 °C não diferiram (Tabela 30). A cultivar RR não sofreu alteração pelos processos secagem. Da mesma forma, Botelho et al. (2015) não encontrou alteração da porosidade da massa de grãos de pela temperatura do ar de secagem.

A porosidade da massa de grãos da cultivar RR foi influenciada pelo tempo de armazenamento, na temperatura de 10 °C, diminuindo ao longo do tempo (Figura 38). Pode-se notar que o efeito da temperatura de 10 °C ocasionou não só o

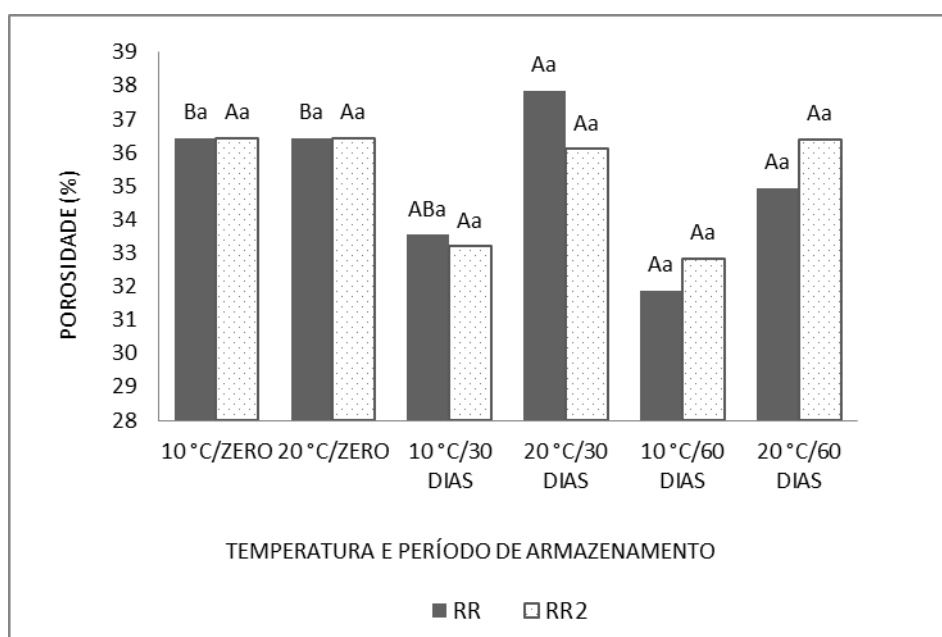
aumento da porosidade dos grãos mas também a perda da massa específica unitária.

Tabela 24. Porosidade (%) da massa de grãos de soja após a secagem com diferentes temperaturas do ar

Cultivares de soja	Temperatura do ar de secagem (°C)			
	Inicial	35	45	55
RR	32,91 Aa	38,44 Aa	38,44 Aa	38,44 Aa
RR2	31,74 Aa	36,69 Aab	36,11 Aab	38,73 Ab

*Letras maiúsculas para comparação entre linha e letra minúscula para comparação entre coluna, a 5% de probabilidade.

Figura 38 - Porosidade (%) da massa de grãos em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento.



*Letras maiúsculas para comparação entre temperaturas e letra minúscula para comparação entre tempo, a 5% de probabilidade.

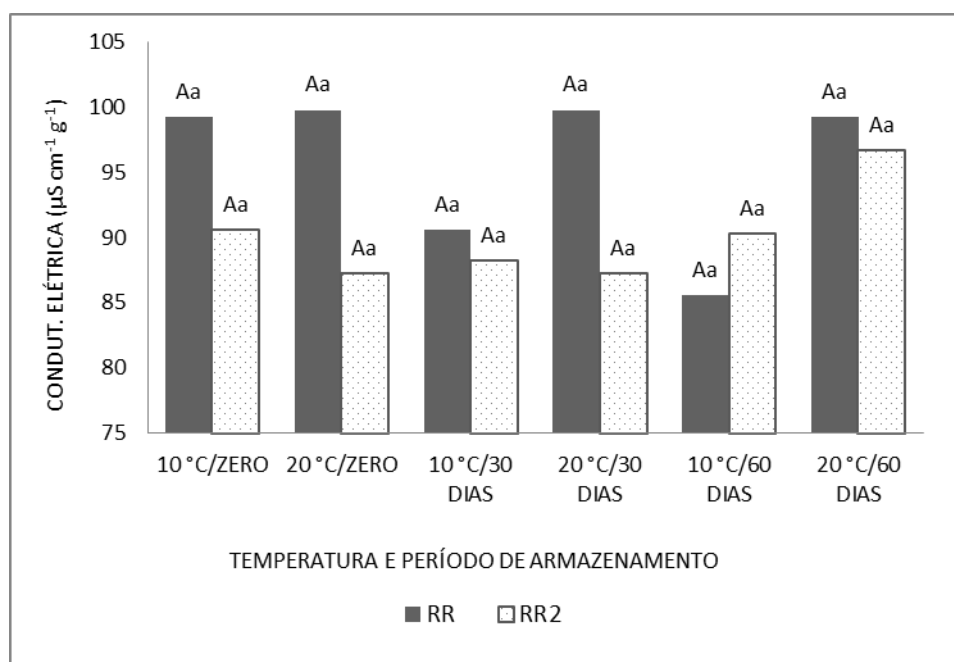
Observou-se na Tabela 33, que a condutividade elétrica determinada nos grãos aumentou conforme o aumento da temperatura do ar de secagem, para ambas as cultivares. Enquanto que, a condutividade elétrica medida na massa de grãos armazenada não foi alterada pelo período e pela condição de armazenamento, para ambas as cultivares (Figura 39).

Tabela 25. Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) de lotes de grãos de soja após a secagem com diferentes temperaturas do ar

Cultivares de soja	Temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$)			
	Inicial	35	45	55
RR	50,45 Aa	86,61 Ab	99,12 Abc	112,03 Ac
RR2	60,93 Aa	76,20 Aab	88,43 Abc	107,13 Ac

*Letras maiúsculas para comparação entre coluna e letra minúscula para comparação entre linha, a 5% de probabilidade.

Figura 39 - Análise de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento



*Letras maiúsculas para comparação entre coluna e letra minúscula para comparação entre linha, a 5% de probabilidade.

Os teores de proteína bruta sofreram alterações em função da temperatura do ar de secagem, diferindo entre as cultivares apenas para as temperaturas de 45 e 55 $^{\circ}\text{C}$. Na secagem com temperatura do ar de 55 $^{\circ}\text{C}$ obteve-se nos grãos os maiores teores de proteína bruta, esse fato pode ser explicado pelo menor tempo de secagem que os grãos foram submetidos para atingir os teores de água de armazenamento, sendo menos afetados pela transferência de calor e movimentação de água (Tabela 36). Pode-se observar também que a cultivar RR apresenta maior teor de proteína que a cultivar RR2 PRO.

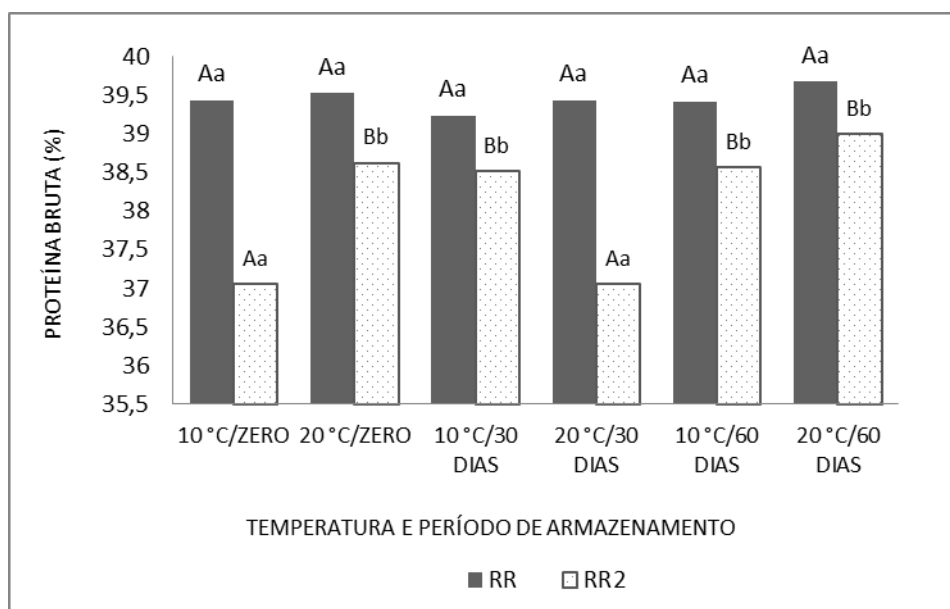
O teor de proteína bruta não sofreu alteração em função da condição e tempo de armazenamento para a cultivar RR, enquanto que, para a cultivar RR2 PRO teve um aumento do teor de proteína bruta em relação ao período inicial, mantendo-se constante aos 30 e 60 dias de armazenamento, quando submetidas na mesma condição, não havendo diferença significativa entre as condições de armazenamento (Figura 40). No entanto, os grãos da cultivar RR teve maiores teores de proteína bruta em relação a cultivar RR2 PRO em função do armazenamento.

Tabela 26. Proteína bruta (%) em grãos de soja após secagem com diferentes temperaturas do ar

Cultivares de soja	Temperatura do ar de secagem (°C)			
	Inicial	35	45	55
RR	39,79 Ab	37,18 Abc	40,02 Bb	41,07 Bc
RR2	39,47 Ac	36,48 Aa	36,46 Aa	38,29 Ab

*Letras maiúsculas para comparação entre coluna e letra minúscula para comparação entre linha, a 5% de probabilidade.

Figura 40 - Proteína bruta (%) em grãos de soja armazenada em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento.



*Letras maiúsculas para comparação entre tempo e letra minúscula para comparação entre temperatura, a 5% de probabilidade.

A temperatura do ar de secagem teve efeito significativo no teor de extrato etéreo. Em relação ao lote inicial, todas as temperaturas de secagem tiveram efeitos negativos, entretanto na temperatura de 45 °C foi obtido o melhor resultado para ambas as cultivares (Tabela 39). Saath (2017) afirma que com a diminuição do teor de água no grão os teores de lipídeos, proteínas e carboidratos aumentam, entretanto isso só foi observado no teor de proteína, já que o teor de lipídios foi reduzido com o aumento da temperatura de secagem.

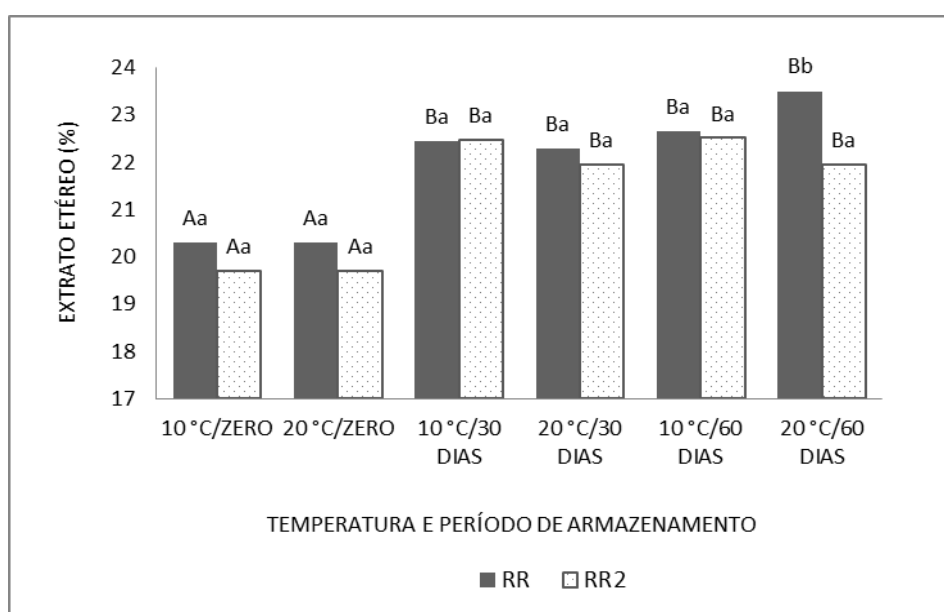
O teor de lipídios aumentou durante o tempo de armazenamento, sendo que a cultivar de soja RR teve maior rendimento de óleo em relação a cultivar RR2 PRO aos 30 dias de armazenamento, na condição de 20 °C (Figura 41).

Tabela 27. Extrato etéreo (%) em grãos de soja na secagem.

Cultivares de soja	Temperatura do ar de secagem (°C)			
	Inicial	35	45	55
RR	22,73 Ac	20,41 Ab	21,85 Abc	18,64 Aa
RR2	22,40 Ac	19,91 Aab	20,90 Abc	18,29 Aa

*Letras maiúsculas para comparação entre linha e letra minúscula para comparação entre coluna, a 5% de probabilidade.

Figura 41 - Extrato etéreo (%) em grãos de soja armazenados em diferentes condições de temperatura e tempo de armazenamento



*Letras maiúsculas para comparação entre tempo e letra minúscula para comparação entre temperatura, a 5% de probabilidade.

7 CONCLUSÕES

- Conclui-se que a condutividade elétrica aumenta de acordo com o aumento da temperatura de secagem.
- A condutividade elétrica aumenta com o tempo de armazenamento.
- A secagem a campo ocasiona menores dados físicos aos grãos, tendo assim menor condutividade elétrica.
- O silo 1 contendo grãos com teor de água mais elevado apresentou grãos com menor massa seca, massa específica e proteína, entretanto apresentou maior teor de óleo.
- A cultivar RR possui maior teor de proteína e lipídios.
- Com o aumento da temperatura de secagem aumenta a porosidade e diminui a massa específica.
- A porosidade dos grãos aumentam ao longo do processo de armazenamento;

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R.W.S.; BRITO, D.R.; OOTANI, M. A.; FIDELIS, R. R.; PELUZIO, J.N.; Efeito do dióxido do carbono, temperatura e armazenamento sobre sementes de soja e microflora associada. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.3, p.554-560, jul-set, 2012.

ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. D.; LACERDA FILHO, A. F.; PETERNELLI, L. A.; COSTA, A. R. Qualidade dos grãos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) armazenados em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.5, p.606-613, 2009

ALMEIDA, C. A., SELEME, R. e NETO, J. C. Rodovia Transoceânica: uma alternativa logística para o escoamento das exportações da soja brasileira com destino à China. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 2, p.351-368, abr./jun. 2013.

AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY (AOCS). **Official Procedure, Approved Procedure Am 5-04, rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction**, Urbana, IL, 2005.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 14. ed. Washington D.C., p.1984-1141.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis**, 16th, 3. ed. AOAC INTERNATIONAL, Gaithersburg, MD. 1997.

BARRETO, F. A. Processo de Resfriamento de Sementes. Reportagem de capa do mês maio/jun 2009 - Ano XIII. **Seed News**, n. 3, 2009.

BERNARDI, O. **Avaliação do risco de resistência de lepidópteros-praga (Lepidoptera: Noctuidae) à proteína Cry1Ac expressa em soja MON 87701 x MON 89788 no Brasil**. 2012. Tese (Doutorado em Entomologia) Universidade de São Paulo, USP-Esalq, Piracicaba, 2012.

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo: origem, história e distribuição. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, p. 1-6, 1981.

BORDIGNON, B. C. S. **Relação das condições de armazenamento com a qualidade fisiológica de sementes e composição do óleo extraído de cultivares de soja**. 2009. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

BORGES, P. A. P. **Modelagem dos processos envolvidos nos sistemas de secagem e armazenamento de grãos**. 2002. Porto Alegre: UFRGS. Tese de Doutorado (Engenharia Mecânica), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BOTELHO, F. M.; GRANELLA, S. J.; CAMPOS, S. de C.; GARCIA, T. R. B.

Influência da temperatura de secagem sobre as propriedades físicas dos grãos de soja. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 212-219, maio/jun. 2015.

BRASIL. Instrução Normativa nº 11, de 15/05/2007 e Instrução Normativa nº 37, de 27/07/2007. Altera o inciso IV, do art. 2º, do Capítulo I, do Anexo da Instrução Normativa nº 11, de 15 de maio de 2007, **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 30 julho de 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e do Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: SNDA/DNDV/CLAV, 2009. Cap.7, p.307-323. Disponível em: <<http://www.bs.cca.ufsc.br/publicacoes/regras%20analise%20sementes.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2017.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKENA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oil seeds**. New York: AVI, 1992. 450p

CASEMG – Companhia de Armazéns e Silos do Estado de Minas Gerais. **Processo de Limpeza**. Disponível em: <http://www.casemg.com.br/servicos/limp_processo.htm> Acesso em 06 de jun. de 2017

CASSINI A. S. **Análise das Características de Secagem da Proteína Texturizada de Soja**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), 2004. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 2018. Acompanhamento da Safra brasileira de Grãos V. 5 - SAFRA 2017/18- N. 8 - Oitavo levantamento | MAIO 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/19461_3e293e81ebe05101ef167a494fe67dd6>. Acesso em 2 de jun. de 2018.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 2016. Armazenagem agrícola no Brasil (2015/2016). Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/7420aabad201bf8d9838f446e17c1ed5.pdf>>. Acesso em 25 jun. 2017.

CORADI, P. C.; LEMES, A. F. C. Validation of an experimental prototype of thick-layer fixed bed dryer and determination of the quality of the dried soybean grains. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 40, e35285, 2018

CORADI, P.C.; SOUZA, A.E.M.; BORGES, M.C.R.Z. Yield and acidity indices of sunflower and soybean oils in function of grain drying and storage. **Acta Scientiarum. Agronomy (Online)**, Maringá, v. 39, p. 255-266, 2017.

CORRÊA, P. C.; ALMEIDA, F. DE A. C. comparação de modelos matemáticos de equilíbrio higroscópico para semente e fibra de algodão herbáceo, cultivar redenção. **Revista de oleaginosas e fibrosas**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 1-6, 1999.

CORRÊA, P. C.; ALMEIDA, F. DE A. C. Comparação de modelos matemáticos de

equilíbrio higroscópico para semente e fibra de algodão herbáceo, cultivar redenção. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 3, p.1-6, 1999.

COSTA, M. M. et al. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1095-1102, 2004.

DALPASQUALE, V. A. Procedimentos essenciais de recepção e limpeza de grãos. In: Irineu Lorini; Lincoln Hiroshi Miike; Vildes Maria Scussel. **Armazenagem de grãos**. 1 ed., Campinas: Instituto Bio Geneziz (IBG), 2002.

DEVILLA, I. A. **Projetos de unidades armazenadoras**. Anápolis, Universidade Estadual de Goiás, abr. 2004. Disponível em: <[http://www.ebah.com.br/content/ABAAABPc4AB/projeto-unidades armazenadoras](http://www.ebah.com.br/content/ABAAABPc4AB/projeto-unidades_armazenadoras)>. Acesso em: 08 abr. 2017.

ELIAS, M. C.; SCHIAVON, R. A.; OLIVEIRA, M.; RUTZ, D.; VANIER, N. L.; PARAGINSKI, R. T. Tecnologias e Inovações nas Operações de Pré-armazenamento, Armazenamento e Conservação de Grãos. In: Moacir Cardoso Elias, Maurício de Oliveira; Rafael de Almeida Schiavon. (Org.). **Sistema Qualidade de Arroz na Pós-Colheita: Ciência, Tecnologia e Normas**. 1ed. Pelotas: Santa Cruz, 2010, v. 1, p. 213-266

EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja -Região Central do Brasil -2001/2002. **Documentos 167**. Londrina: Embrapa Soja, 200. Disponível em: <[chrome extension://oemmnrcbldboiebfnladdacbfmadadm/https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/450095/1/doc167.pdf](chrome:extension://oemmnrcbldboiebfnladdacbfmadadm/https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/450095/1/doc167.pdf)>. Acesso em 18 de nov. de 2017.

EMBRAPA SOJA. Origem e história da soja no Brasil. 2017. **Blog de Embrapa Soja** Disponível em: <<http://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2017/04/05/origem-e-historia-da-soja-no-brasil/>>. Acesso em 17 de fev. de 2018.

ESPIRITO SANTO, B. R. do, LIMA, M. L. F. N. de e SOUZA, C. B. S. de. Os vinte principais mercados para exportação agrícola no futuro. **Revista de Política Agrícola**, ano XXI, n. 1, p. 76-91, jan./mar. 2012. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/930819/os-vinte-principais-mercados-para-exportacao-agricola-no-futuro>>. Acesso em 17 de nov. de 2017.

FARONI, L. R. A.; ALENCAR, E. R.; PAES, J. L.; COSTA, A. R.; ROMA, R. C. C. Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.5, p.606-613, 2009.

FREDERICO, S.; Desvendando o agronegócio: financiamento agrícola e o papel estratégico do sistema de armazenamento de grãos. GEOUSP - **Espaço e Tempo**, São Paulo, Nº 27, 2010.

FREITAS, R. E. Exportações agropecuárias brasileiras: uma avaliação do período

1989-2012. **Texto para Discussão**, n. 1964. Brasília: IPEA, 42p. 2014.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. H. H.; SANTOS, E. S. Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.33, p.148-155, 2008.

GREGGIO, E, A.; BONINI, E. A. Qualidade do grão de soja relacionada com o teor de acidez do óleo/soybean quality and oil acidity rates. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 7, p. 645, 2014.

HARTMANN FILHO, C. S.; GONELI, A. L. D.; MASETTO, T. E.; MARTINS, E. A. S.; OBA, G. C.; SIQUEIRA, V. C.; Quality of second season soybean submitted to drying and storage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 3, p. 267-275, Jul./Sep. 2016

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Storage conditions affect soybean color, chemical composition and tofu qualities. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.28, p.473-488, 2004.

KAWAMURA, S. **Review of PL 480 work on soybean carbohydrates**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF SOYBEAN PROTEIN FOODS. Peoria, Illinois, 1996.

KIIHL, R.A.S.; GARCIA, A. **The use of the long-juvenile trait in breeding soybean cultivars**. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 4., p. 994-1000, 1989.

KUMAR, R.; CHOUDHARY, V.; MISHRA, S.; VARMA, I. K.; MATTIASON, B. Adhesives and plastics based on soy protein products. **Industrial Crops and Products – an International Journal**, Arizona, v. 16, n. 3, p. 155-172, 2002.

LABUZA, T.P.; TANNENBAUM, S.R.; KAREL, M. Water content and stability of low moisture and intermediate moisture foods. **Food Technology**, Chicago, v.24, n.5, p.35-42, 1970.

LEE, J.H.; CHO, K.M. Changes occurring in compositional components of black soybeans maintained at room temperature for different storage periods. **Food Chemistry**.v.1(131): 161-169, 2012.

LEITE, E. da S.; OLIVEIRA, C. M. G. de; OLIVEIRA, M. A. de. Estudo de perdas na qualidade dos grãos de soja convencional e transgênica durante o armazenamento. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE PÓS-COLHEITA, 6., 2014, Maringá. **Anais...** Londrina: ABRAPÓS, 2014. p. 635-642.

LIU, C.; WANG, X.; MA, H.; ZHANG, Z.; WENRUI, GAO; XIAO, L. Functional properties of protein isolates from soybeans stored under various conditions. **Food Chemistry**.v.11(1):29-37, 2008.

MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.373-386, 2004

MINUZZI, A.; RANGEL, M. A. S.; BRACCINI, A. D.; SCAPIM, C. A.; MORA, F.; ROBAINA, A. D. Rendimento, teores de óleo e proteínas de quatro cultivares de soja, produzidas em dois locais no estado do mato grosso do sul. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1047-1054, jul./ago. 2009

MISRA, R. N. and YOUNG, J. H. Numerical solution of simultaneous moisture diffusion and shrinkage during, Trans. **ASAE**, 23, p 1277-1282. 1980.

MOHSENIN, N. N. Physical properties of plant and animal materials. New York: **Gordon and Breach Publishers**, 1986. 841p.

MORAES, M.V.P. Visão global do Mercado da soja: oportunidades e ameaças para o Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 4., 2006, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2006. p.15-19.

MORAES, R. M. A.; JOSÉ, I. C.; RAMOS, F. G.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.725-729, maio 2006.

MORENO, M. E.; JIMENEZ, A. S.; VAZQUEZ, M. E. Effect of *Sitophilus zeamais* and *Aspergillus chevalieri* on the oxygen level in maize stored hermetically. **Journal of Stored Products Research**, Amsterdam, v. 36, n. 1, p. 25-36, 2000.

MULET, A.; GARCIA-REVERTER, J.; SANJUÁN, R.; BON, J. Sorption isosteric heat determination by thermal analysis and sorption isotherms. **Journal of Food Science**, v. 64, p.64-68, 1999.

NEVES, M. B.; TRZECIAK, M. B.; VINHOLES, P. S.; TILLMAN, A. C.; VILLELA, F. A. Qualidade fisiológica de sementes de crambe produzidos em Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DE AGROENERGIA, 2007, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas, RS: Embrapa, 2007. p. 97-98.

OHJA, T.P. Drying of paddy in post-harvest prevention of waste and loss of food grain. **Productivity Organization**. Tóquio: Asia. 375 p, 1974.

OLIVEIRA, M. A.; LORINI, I.; MANDARINO, J. M. G.; LEITE, R. S.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; QUIRINO, J. R.; VILAS BOAS, R. L. P.; DELAFRONTTE, B. Teores de óleo, proteína e acidez em grãos de soja, com diferentes manejos de percevejo provenientes das safras 2011/2012 e 2012/2013. In: AMERICAS: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOYBEAN UTILIZATION, 2013, Bento Gonçalves. **Proceedings...** Brasília, DF: Embrapa, 2013. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, V. R. DE; RIBEIRO, N. D.; MAZIERO, S. M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; JOST, E. Qualidade para o cozimento e composição nutricional de genótipos de feijão com e sem armazenamento sob refrigeração. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, p.746-752, 2011.

ORDÓÑEZ, J. A. Tecnologia de Alimentos: Componentes dos Alimentos e Processos. Porto Alegre: Artmed; v. 2. 2005.

PABIS, S.; JAYAS, D.S.; CENKOWSKI, S. Grain drying: Theory and practice. New York: John Wiley & Sons, 1998. 303p

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

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A. & PARK, K. J. B. Conceitos de processo e Equipamentos de secagem. Campinas, 2007. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/ctea/manuais/concproceqse>> Acesso em: 16 jun. 2017

PÍPOLO, A.E. Influência da temperatura sobre as concentrações de proteínas e óleo em sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). 2002. 128f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PUZZI, D. Abastecimento e armazenamento de grãos. São Paulo: **Instituto Campineiro de Ensino Agrícola**, 1917p. 1986.

QUIRINO, J. R.; MELO, A. P. C.; VELOSO, V. R. C.; ALBERNAZ, K. C.; PEREIRA, J. M. Resfriamento artificial na conservação da qualidade comercial de grãos de milho armazenados. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 4, p.378-386, 2013.

RAMOS, I. N.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Structural changes during air drying of fruits and vegetables. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 3, p. 201-206, 2003.

RATTI, C. Shrinkage during drying of foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, London, v.23, n.1, p.91-105, 1994.

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Isotermas e calor isostérico de sorção do feijão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 26(3): 626-631, jul.-set. 2006.

RIGUEIRA, R. J. A.; LACERDA FILHO, A. F.; VOLK, M. B. S. Avaliação da qualidade do feijão armazenado em ambiente refrigerado. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.20, p.649-655, 2009.

RODRIGUES, J. I. S.; ARRUDA, K. M. A., PIOVESAN, N. D.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A.; Selection of progenitors for increase in oil content in soybean. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n.5, p. 661-667, set/out, 2016.

SAATH, R.; SILVA TAVEIRA, J. H.; TERCENIANO, R. M.; THIAGO EVARISTO, T.; DEL ROSSO, B. C. Desempenho fisiológico e qualidade físico-química de grãos de soja secados sob diferentes temperaturas. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n.2, p.19-33, 2017.

SCHULTZ, R. A.; CORADI, P. C.; BRENTAN, L. O.; CAMILO, L. J. Propriedades físicas de grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Mais soja**. 2017 disponível em: <<http://maissoja.com.br/propriedades-fisicas-de-graos-de-soja-armazenados-em-diferentes-condicoes/>> acesso em 13 mai. 2018.

SOUZA & SILVA, J. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. In: SOUZA & SILVA, J. (Ed.). **PRÉ-PROCESSAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 2001. 461p.

SILVA, L. C. D. Secagem de Grãos: Da Semente ao Consumo. **Único(14):10-14**, 2004.

SILVA, J. S.; BERBET, P. A.; AFONSO, A. D. L.; RUFATO, S. Qualidade de grãos In: **SECAGEM E ARMAZENAGEM DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**. SILVA, J.S. (ed.). Viçosa: **Editora Aprenda Fácil**, 2000, 502p.

SILVA, M. S.; NAVES, M. M. V.; OLIVEIRA, R. B.; LEITE, O. S. M. Composição química e valor proteico do resíduo de soja em relação ao grão de soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 3, 2006.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C.; SOUSA, K. A.; CAMPOS, R. C. Isotermas e calor latente de dessecção dos grãos de milho da cultivar AG 7088 **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.11, n.3, p. 312-322, 2012.

SOUSA JUNIOR, J. R.; SOUSA, J. R. M.; FURTADO, G. F.; ALVICO, F. C. G.; SILVA, H. S.; SILVA, S. S. Diagnóstico de Armazenamento de grãos em Pequenas Propriedades do Município de Pombal- PB. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Patos, v. 7, n. 3, p. 36-40, abr./jun. 2011.

SOUZA, R. S. et al. Competividade dos principais produtos agropecuários do Brasil (vantagem comparativa revelada normalizada). **Revista de Política Agrícola**, ano XXI, n. 2, p. 64-71, abr./jun. 2012.

TOWNER, G. D. The tensile stress generated in clay through drying. **Journal Agricultural Engineering Research**, New York, v.37,n.4, p.279-289, 1987.

VIEIRA RD, KRZYZANOWSKI FC. 1999. Teste de condutividade elétrica. In:KRZYZANOWSKI FC; VIEIRA RD; FRANÇA NETO JB (eds). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: **ABRATES**. cap.4.p.1-26.

VIEIRA, R.D.; PANOBIANCO, M.; LEMPS, L.B.; NASIERI-FILHO, D. Efeito de genótipos de soja sobre os resultados do teste de condutividade elétrica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.18, n.2, p.220-224, 1996.

VILLERS, P.; BRUIN, T.; NAVARRO, S. Safe storage of grain in the tropics: A comparison of hermetic storage in flexible silos versus rigid metal or concrete silos. In: WEST, A.; BROWN, J. (Eds.) Feed technology update. Honolulu: **Linx Publishing**, p.17-22, 2006.

VILLERS, P.; BRUIN, T.; NAVARRO, S. Safe storage of grain in the tropics: a

comparison of hermetic storage in flexible silos versus rigid metal or concrete silos. In: WEST, A.; BROWN, J. (Ed.). Feed technology update. Honolulu: **Linx Publishing**, 2006. p. 17-22.

WANG, N.; BRENNAN, J. G. Moisture sorption isotherm characteristics of potato at four temperatures. **Journal of Food Engineering**, London, v. 14, n. 4, p. 269-287, 1991.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; KOURIS, D. M. Densities, shrinkage and porosity of some vegetables during air drying. *Drying Technology*, New York, v.12, n.7, p.1653-1666, 1994. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.665-670, 2006.

9 ANEXOS

9.1 Experimento I

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - MATÉRIA SECA - RECEPÇÃO E SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	5	87.249500	17.449900	2.013	0.2305
REP	1	0.598533	0.598533	0.069	0.8032
erro	5	43.347767	8.669553		
Total corrigido	11	131.195800			
CV (%) =	3.46				
Média geral:	85.010000	Número de observações:		12	

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - MASSA SECA - ARMAZENAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	3	17.777433	5.925811	33.011	0.0000
TEMPO	2	8.313600	4.156800	23.157	0.0001
TRAT*TEMPO	6	4.776067	0.796011	4.434	0.0136
erro	12	2.154100	0.179508		
Total corrigido	23	33.021200			
CV (%) =	0.48				
Média geral:	88.575000	Número de observações:		24	

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - MASSA ESPECÍFICA UNITÁRIA - RECEPÇÃO E SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	5	3271.948942	654.389788	3.868	0.0650
erro	6	1015.000150	169.166692		
Total corrigido	11	4286.949092			
CV (%) =	1.37				
Média geral:	948.5941667	Número de observações:		12	

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - MASSA ESPECÍFICA UNITÁRIA - ARMAZENAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
VAR	1	1514.634817	1514.634817	2.885	0.1152

TEMP	2	43544.263075	21772.131538	41.471	0.0000
TEMPO	1	63372.092817	63372.092817	120.709	0.0000
CULT*TEMP	2	2172.581808	1086.290904	2.069	0.1690
CULT*TEMPO	1	1451.748150	1451.748150	2.765	0.1222
TEMP*TEMPO	2	32243.950808	16121.975404	30.709	0.0000
CULT*TEMP*TEMPO	2	761.276575	380.638287	0.725	0.5044
erro	12	6299.991400	524.999283		

Total corrigido 23 151360.539450

CV (%) = 2.22
Média geral: 1030.1425000 Número de observações: 24

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - MASSA ESPECÍFICA APARENTE - RECEPÇÃO E SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	5	3796.840367	759.368073	1.249	0.3915
erro	6	3647.122100	607.853683		

Total corrigido 11 7443.962467

CV (%) = 3.93
Média geral: 627.7733333 Número de observações: 12

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - ARMAZENAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	1	611.151338	611.151338	4.237	0.0620
TEMP	2	8438.402575	4219.201287	29.250	0.0000
TEMPO	1	11755.013437	11755.013437	81.491	0.0000
CULT*TEMP	2	310.992925	155.496463	1.078	0.3711
CULT*TEMPO	1	760.613004	760.613004	5.273	0.0405
TEMP*TEMPO	2	6317.142775	3158.571388	21.897	0.0001
CULT*TEMP*TEMPO	2	446.769758	223.384879	1.549	0.2522
erro	12	1730.980450	144.248371		

Total corrigido 23 30371.066262

CV (%) = 1.80
Média geral: 665.9212500 Número de observações: 24

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - POROSIDADE - RECEPÇÃO E SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
LOTE	5	18.004475	3.600895	0.629	0.6861
erro	6	34.335550	5.722592		

Total corrigido 11 52.340025

CV (%) = 7.07
Média geral: 33.8275000 Número de observações: 12

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - ARMAZENAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	1	0.008438	0.008438	0.005	0.9475
TEMP	2	22.941408	11.470704	6.146	0.0145
TEMPO	1	31.487504	31.487504	16.870	0.0015
CULT*TEMP	2	4.899375	2.449688	1.312	0.3052
CULT*TEMPO	1	0.110704	0.110704	0.059	0.8117
TEMP*TEMPO	2	15.864508	7.932254	4.250	0.0402
CULT*TEMP*TEMPO	2	1.040408	0.520204	0.279	0.7615
erro	12	22.397650	1.866471		

Total corrigido 23 98.749996

CV (%) = 3.88
Média geral: 35.2220833 Número de observações: 24

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA - RECEPÇÃO E SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REP	2	517.595278	258.797639	2.563	0.1263
TRAT	5	29418.594911	5883.718982	58.260	0.0000
erro	10	1009.912789	100.991279		
Total corrigido	17	30946.102978			
CV (%) =	11.10				
Média geral:	90.5088889	Número de observações:	18		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA - ARMAZENAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SILO	3	32708.326012	10902.775337	206.297	0.0000
TEMPO	1	902.458704	902.458704	17.076	0.0010
SILO*TEMPO	3	1124.012346	374.670782	7.089	0.0039
REP	2	300.368033	150.184017	2.842	0.0921
erro	14	739.897500	52.849821		
Total corrigido	23	35775.062596			
CV (%) =	7.75				
Média geral:	93.8120833	Número de observações:	24		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - PROTEÍNA BRUTA - RECEPÇÃO E SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	5	26.219075	5.243815	46.460	0.0003
REP	1	0.000008	0.000008	0.000	0.9935
erro	5	0.564342	0.112868		
Total corrigido	11	26.783425			
CV (%) =	0.82				
Média geral:	40.9275000	Número de observações:	12		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - PROTEÍNA BRUTA - ARMAZENAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	3	12.609900	4.203300	22.908	0.0000
TEMPO	2	16.333858	8.166929	44.510	0.0000
TRAT*TEMPO	6	8.084175	1.347362	7.343	0.0018
erro	12	2.201800	0.183483		
Total corrigido	23	39.229733			
CV (%) =	1.08				
Média geral:	39.5233333	Número de observações:	24		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - EXTRATO ETÉREO - RECEPÇÃO E SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	5	13.194400	2.638880	11.793	0.0085
REP	1	0.353633	0.353633	1.580	0.2642
erro	5	1.118867	0.223773		
Total corrigido	11	14.666900			
CV (%) =	2.08				
Média geral:	22.7450000	Número de observações:	12		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - EXTRATO ETÉREO - ARMAZENAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
----	----	----	----	----	-------

TRAT	3	9.740183	3.246728	25.875	0.0000
TEMPO	2	5.774275	2.887138	23.010	0.0001
TRAT*TEMPO	6	7.624092	1.270682	10.127	0.0004
erro	12	1.505700	0.125475		
Total corrigido	23	24.644250			
CV (%) =	1.53				
Média geral:	23.0875000	Número de observações:	24		

9.2 Experimento II

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - MATÉRIA SECA - SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR_	1	1.040400	1.040400	0.068	0.8008
TEMP	3	73.817475	24.605825	1.610	0.2622
CULTIVAR_*TEMP	3	32.783700	10.927900	0.715	0.5702
erro	8	122.297600	15.287200		
Total corrigido	15	229.939175			
CV (%) =	4.45				
Média geral:	87.8612500	Número de observações:	16		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - MATÉRIA SECA - ARMAZENAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	1	0.135000	0.135000	14.023	0.0022
TEMPO	2	3.517058	1.758529	182.670	0.0000
TEMP	1	0.070417	0.070417	7.315	0.0171
CULT*TEMPO	2	0.463725	0.231863	24.085	0.0000
CULT*TEMP	1	0.109350	0.109350	11.359	0.0046
TEMP*TEMPO	2	0.125208	0.062604	6.503	0.0101
erro	14	0.134775	0.009627		
Total corrigido	23	4.555533			
CV (%) =	0.11				
Média geral:	88.8316667	Número de observações:	24		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - MASSA ESPECÍFICA APARENTE - SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
VARIED	1	0.000000000E+0000	0.000000000E+0000	0.000	0.9976
TEMP	3	34630.506200	11543.502067	87.825	0.0000
VARIED*TEMP	3	1017.569300	339.189767	2.581	0.1261
erro	8	1051.500000	131.437500		
Total corrigido	15	36699.575500			
CV (%) =	1.66				
Média geral:	692.4225000	Número de observações:	16		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - MASSA ESPECÍFICA APARENTE - ARMAZENAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
VAR	1	611.151338	611.151338	4.237	0.0620
TEMP	2	8438.402575	4219.201287	29.250	0.0000
TEMPO	1	11755.013437	11755.013437	81.491	0.0000

VAR*TEMP	2	310.992925	155.496463	1.078	0.3711
VAR*TEMPO	1	760.613004	760.613004	5.273	0.0405
TEMP*TEMPO	2	6317.142775	3158.571388	21.897	0.0001
VAR*TEMP*TEMPO	2	446.769758	223.384879	1.549	0.2522
erro	12	1730.980450	144.248371		

Total corrigido 23 30371.066262

CV (%) = 1.80
Média geral: 665.9212500 Número de observações: 24

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - POROSIDADE - SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
VARIED	1	6.138006	6.138006	1.399	0.2709
TEMP	3	94.037119	31.345706	7.143	0.0119
VARIED*TEMP	3	3.794719	1.264906	0.288	0.8328
erro	8	35.108050	4.388506		

Total corrigido 15 139.077894

CV (%) = 5.75
Média geral: 36.4406250 Número de observações: 16

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - POROSIDADE - ARMAZENAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
VAR	1	0.008438	0.008438	0.005	0.9475
TEMP	2	22.941408	11.470704	6.146	0.0145
TEMPO	1	31.487504	31.487504	16.870	0.0015
VAR*TEMP	2	4.899375	2.449688	1.312	0.3052
VAR*TEMPO	1	0.110704	0.110704	0.059	0.8117
TEMP*TEMPO	2	15.864508	7.932254	4.250	0.0402
VAR*TEMP*TEMPO	2	1.040408	0.520204	0.279	0.7615
erro	12	22.397650	1.866471		

Total corrigido 23 98.749996

CV (%) = 3.88
Média geral: 35.2220833 Número de observações: 24

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA - SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR	1	90.171267	90.171267	0.935	0.3481
TEMPERATUR	3	9319.105700	3106.368567	32.193	0.0000
CULTIVAR*TEMPERATUR	3	444.400500	148.133500	1.535	0.2439
erro	16	1543.850333	96.490646		

Total corrigido 23 11397.527800

CV (%) = 11.54
Média geral: 85.1150000 Número de observações: 24

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA - ARMAZENAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR	1	196.186711	196.186711	1.828	0.1881
TEMPO	2	76.447800	38.223900	0.356	0.7038
TEMPERATUR	1	170.563600	170.563600	1.589	0.2187
CULTIVAR*TEMPO	2	207.485089	103.742544	0.966	0.3937
CULTIVAR*TEMPERATUR	1	60.632178	60.632178	0.565	0.4591
TEMPO*TEMPERATUR	2	122.681867	61.340933	0.571	0.5717
erro	26	2791.057556	107.348368		

Total corrigido 35 3625.054800

CV (%) = 11.15
Média geral: 92.9433333 Número de observações: 36

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - PROTEÍNA BRUTA - SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR_	1	13.671506	13.671506	125.218	0.0000
TEMP	3	23.224769	7.741590	70.906	0.0000
CULTIVAR_*TEMP	3	8.259069	2.753023	25.215	0.0002
erro	8	0.873450	0.109181		
Total corrigido	15	46.028794			
CV (%) =	0.86				
Média geral:	38.5943750	Número de observações:	16		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - PROTEÍNA BRUTA - ARMAZENAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULT	1	10.335937	10.335937	190.736	0.0000
TEMPO	2	3.676458	1.838229	33.922	0.0000
TEMP	1	0.097538	0.097538	1.800	0.2011
CULT*TEMPO	2	3.386425	1.693212	31.246	0.0000
CULT*TEMP	1	0.001204	0.001204	0.022	0.8836
TEMP*TEMPO	2	0.337675	0.168837	3.116	0.0760
erro	14	0.758658	0.054190		
Total corrigido	23	18.593896			
CV (%) =	0.60				
Média geral:	38.7970833	Número de observações:	24		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - MASSA ESPECÍFICA UNITÁRIA - SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR	1	1637.213906	1637.213906	1.030	0.3398
TEMP	3	24924.261819	8308.087273	5.229	0.0273
CULTIVAR*TEMP	3	6896.457619	2298.819206	1.447	0.2999
erro	8	12711.021250	1588.877656		
Total corrigido	15	46168.954594			
CV (%) =	3.66				
Média geral:	1089.3343750	Número de observações:	16		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - MASSA ESPECÍFICA UNITÁRIA - ARMAZENAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
VAR	1	1514.634817	1514.634817	2.885	0.1152
TEMP	2	43544.263075	21772.131538	41.471	0.0000
TEMPO	1	63372.092817	63372.092817	120.709	0.0000
VAR*TEMP	2	2172.581808	1086.290904	2.069	0.1690
VAR*TEMPO	1	1451.748150	1451.748150	2.765	0.1222
TEMP*TEMPO	2	32243.950808	16121.975404	30.709	0.0000
VAR*TEMP*TEMPO	2	761.276575	380.638287	0.725	0.5044
erro	12	6299.991400	524.999283		
Total corrigido	23	151360.539450			
CV (%) =	2.22				
Média geral:	1030.1425000	Número de observações:	2		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - EXTRATO ETÉREO - SECAGEM

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR_	1	1.128906	1.128906	4.383	0.0696
TEMP	3	36.783969	12.261323	47.606	0.0000
CULTIVAR_*TEMP	3	0.247269	0.082423	0.320	0.8109
erro	8	2.060450	0.257556		

```

-----
Total corrigido      15      40.220594
-----
CV (%) =            2.46
Média geral:       20.6443750      Número de observações:      16
-----

```

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA - EXTRATO ETÉREO - ARMAZENAGEM

```

-----
FV                  GL          SQ          QM          Fc  Pr>Fc
-----
CULT                1          1.765838      1.765838      4.704 0.0478
TEMPO              2          32.660625     16.330312     43.501 0.0000
TEMP               1          0.026004      0.026004      0.069 0.7962
CULT*TEMPO        2          0.293475      0.146738      0.391 0.6836
CULT*TEMP         1          0.537004      0.537004      1.430 0.2516
TEMP*TEMPO        2          0.527808      0.263904      0.703 0.5118
erro              14          5.255608      0.375401
-----
Total corrigido    23          41.066362
-----
CV (%) =            2.83
Média geral:       21.6437500      Número de observações:      24
-----

```