

IZABEL CRISTINA CORDEIRO

**INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE NA COLHEITA E DA
TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM NA QUALIDADE DO FEIJÃO
(*Phaseolus vulgaris* L.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
JULHO – 2001

IZABEL CRISTINA CORDEIRO

**INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE NA COLHEITA E DA TEMPERATURA
DO AR DE SECAGEM NA QUALIDADE DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 19 de maio de 2000

Profa. Sandra Maria Couto

Prof. Mauri Martins Teixeira

Prof. Paulo Cesar Corrêa
(Conselheiro)

Prof. Daniel Marçal de Queiroz
(Conselheiro)

Profa. Lêda Rita D'Antonino Faroni
(Orientadora)

A Deus.
Aos meus pais, Valdir e Helena.
Aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me dá Sua graça, a cada instante, para que eu possa viver.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar este curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À Financiadora de Estudos e Projetos-Finep, pelo financiamento do projeto.

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS/EMBRAPA, em especial ao Dr. Evandro Chartuni Mantovani, pela ajuda na realização deste trabalho.

À Delegacia Federal da Agricultura em Minas Gerais, do Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária (MAARA), em especial à Engenheira Fátima Chieppi Parizzi, pelo apoio na classificação dos grãos de feijão.

À professora Lêda Rita D'Antonino Faroni, pela orientação, pelo incentivo, pela dedicação, pela confiança, pelo apoio necessário à realização deste trabalho e pela amizade.

Aos professores Daniel Marçal de Queiroz, Paulo Cesar Corrêa e Sandra Maria Couto, pelo apoio e pela valiosa contribuição para a realização deste trabalho.

Aos professores Mauri Martins Teixeira e Paulo Roberto Cecon, pela atenção e pelas sugestões apresentadas.

Aos professores Juarez de Souza e Silva e Evandro de Castro Melo, pela oportunidade de trabalhar com pesquisa.

Aos amigos Adriana, Ana Paula, Cristiane, Enilce, Leonardo, Solenir e Wederson, pela amizade e companheirismo.

Aos amigos que auxiliaram nos trabalhos de laboratório, em especial ao Paulo, Ednilton, Silas, Jardel e André.

Aos funcionários da Área de Armazenamento, do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo auxílio e pela amizade.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos.

Aos amigos e colegas do curso, pelo companheirismo, pela amizade e pelo apoio em todos os momentos.

Aos amigos Alex, Marivone e Luzimeire, pela convivência e pelo apoio nesses anos em Viçosa.

A meus pais, Helena e Valdir, pelo amor e incentivo.

Aos meus irmãos e sobrinhos, pela amizade e pelo carinho.

BIOGRAFIA

IZABEL CRISTINA CORDEIRO, filha de Valdir Diniz Cordeiro e Helena B. dos Santos Cordeiro, nasceu em Contagem, Minas Gerais, no dia 3 de dezembro de 1967.

Em março de 1992, ingressou na Universidade Federal de Viçosa, onde cursou Engenharia Agrícola, concluindo o curso em dezembro de 1997.

Nessa Instituição, iniciou o mestrado em Engenharia Agrícola, em 1998, na área de Pré-Processamento de Produtos Vegetais.

CONTEÚDO

EXTRATO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Práticas de colheita.....	5
2.2. Práticas de secagem.....	5
2.2.1. Efeitos da secagem na qualidade de grãos armazenados.....	6
2.3. Armazenamento.....	7
2.4. Qualidade dos grãos.....	8
2.4.1. Danos mecânicos.....	9
2.4.2. Endurecimento dos grãos.....	9
2.4.3. Alterações na coloração dos grãos.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1. Histórico da cultura.....	14
3.2. Colheita	14
3.3. Secagem.....	15

3.4. Armazenamento e expurgo.....	16
3.5. Testes de qualidade pós-colheita.....	16
3.5.1. Teor de umidade.....	17
3.5.2. Classificação do feijão.....	17
3.5.3. Teste de condutividade elétrica.....	17
3.5.4. Teste de coloração.....	18
3.5.5. Teste de susceptibilidade àquebra.....	20
3.5.6. Teste de dureza.....	21
3.6. Análise estatística dos dados.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1. Qualidade dos grãos de feijão logo após a colheita.....	23
4.1.1. Classificação dos grãos.....	23
4.1.2. Condutividade elétrica.....	27
4.1.3. Coloração dos grãos de feijão.....	28
4.2. Qualidade dos grãos de feijão logo após a secagem e durante o período de armazenamento.....	30
4.2.1. Teor de umidade dos grãos.....	30
4.2.2. Classificação dos grãos.....	31
4.2.3. Condutividade elétrica.....	33
4.2.4. Coloração dos grãos de feijão.....	39
4.2.5. Susceptibilidade àquebra.....	62
4.2.6. Endurecimento dos grãos de feijão.....	68
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
APÊNDICES.....	88

EXTRATO

CORDEIRO, Izabel Cristina, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2001. **Influência do teor de umidade na colheita e da temperatura do ar de secagem na qualidade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Orientadora: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Conselheiros: Paulo Cesar Corrêa e Daniel Marçal de Queiroz.

A produção brasileira de feijão, apesar dos avanços alcançados, sofre perdas consideráveis até chegar ao consumidor. Estas perdas, qualitativas e, ou, quantitativas, ocorrem na matéria seca, na qualidade, no valor nutricional, etc. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do feijão, variedade "Carioca 1030", colhido com diferentes teores de umidade (20,6; 18,7; e 11,7% b.u.) e seco em diferentes temperaturas do ar de secagem (30°, 40°, 50° e 60 °C) em um secador de camada delgada. Após a limpeza e secagem dos grãos colhidos com teor de umidade de 20,6 e 18,7% e limpeza dos grãos colhidos com 11,7%, os grãos foram expurgados com fosfeto de alumínio e, em seguida, acondicionados em recipientes metálicos e mantidos em laboratório durante 90 dias. Imediatamente após a colheita e a secagem, e em intervalos de 30 dias, foram retiradas amostras para se avaliar a qualidade dos grãos. A avaliação da qualidade foi realizada pela classificação do feijão,

pela condutividade elétrica, pela coloração, pela susceptibilidade à quebra e pelo grau de endurecimento dos grãos. Concluiu-se que os grãos colhidos com teor de umidade de 18,7% apresentaram a melhor classificação por tipo e que os grãos colhidos com 20,6 e 18,7% apresentaram qualidade fisiológica superior à dos grãos colhidos secos. O aumento das temperaturas do ar de secagem não teve efeito sobre a classificação por tipo e nem sobre a coloração; no entanto, reduziu a qualidade fisiológica dos grãos e aumentou a susceptibilidade à quebra. Em relação ao armazenamento dos grãos, concluiu-se que a classificação por tipo manteve-se a mesma; no entanto, a qualidade fisiológica foi reduzida, os grãos tenderam ao escurecimento e ao endurecimento, sendo este último fenômeno mais evidente nos grãos colhidos secos.

ABSTRACT

CORDEIRO, Izabel Cristina, M.S., Universidade Federal de Viçosa, July, 2001.
Influence of the harvest moisture content and of the drying air temperature upon the bean (*Phaseolus vulgaris* L.) quality. Adviser: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Committee members: Paulo Cesar Corrêa and Daniel Marçal de Queiroz.

Considerable losses occur in the post-harvest process of the Brazilian bean production. These losses can be qualitative and, or, quantitative and are composed by: dry matter, quality, and nutritional losses, etc. The objective of this work was to evaluate the bean quality, of the variety "Carioca 1030", harvested with different moisture contents (20.6, 18.7 and 11.7% w.b.) and dried using different air drying temperatures (30°, 40°, 50° and 60 °C) in a thin layer dryer. After cleaning and drying the grains harvested with moisture contents of 20.6 and 18.7% and cleaning the grains harvested with 11.7%, the grains were fumigated using aluminum phosphate and, soon after, conditioned in metallic recipients and kept under laboratory conditions during a period of 90 days. Immediately after the harvest, the drying and in intervals of 30 days, samples were took out to evaluate the quality of the grains. The evaluation of the quality was accomplished by classifying the beans and measuring the

electric conductivity, the coloration, the breakage susceptibility and the hardening degree of the grains. It was concluded that grains harvested with moisture content of 18.7% presented the best classification grade; and that the grains harvested with 20.6 and 18.7% presented superior physiologic quality upon the grains harvested with 11,7%. The increase of the drying air temperatures did not have effect either upon the type or upon the coloration classification; however, it had reduced the physiologic quality of the grains and increased the breakage susceptibility. Regarding the grains storage, it was concluded that the classification grade kept the same; however, the physiologic quality of the grains was reduced, the grains tended to darkening and hardening, this last phenomenon was better evidenced for grains harvested dried.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira, a partir da década de 90, vem apresentando um aumento na produção, que é atribuído à utilização de tecnologias adequadas e variedades mais produtivas. Esta evolução é importante, pois torna a produção agrícola brasileira mais competitiva no mercado internacional e garante o abastecimento do mercado nacional, beneficiando produtores e consumidores. No entanto, alguns produtos ainda requerem maiores investimentos dos produtores e do governo para que se tornem economicamente produtivos.

Nos últimos anos, o Brasil vem produzindo grandes safras de grãos, o que tem colocado o País entre os maiores produtores de grãos. A safra brasileira de 98/99 foi de 82.440,9 mil toneladas e estima-se que a safra de 99/00 será de 83.439,4 mil toneladas de grãos (CONAB, 2000). Os principais produtos da agricultura brasileira são a soja, o milho, o arroz e o feijão, que, juntos, representam 94,22% do total produzido na safra de 98/99; a produção de feijão de 2.915,1 mil toneladas representou 3,54% do total de grãos produzidos.

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), uma leguminosa de grão, é cultivado em praticamente todo o território nacional e, em geral, em três épocas do ano: a safra das águas, nos meses de outubro/novembro; a safra da seca, em fevereiro/março, e a safra de inverno, nos meses de abril/junho. O feijão cultivado na safra das águas e da seca apresenta diversos problemas em razão das condições climáticas durante o desenvolvimento e a colheita da cultura. O feijão da safra de inverno, embora represente pouco mais de 10% do total produzido durante o ano, é uma cultura mais tecnificada, o que permite

alcançar altos índices de produtividade, 1.689 kg/ha na safra de 98/99 (IBGE, 2000).

O feijão é um dos mais importantes constituintes da dieta da população latino-americana, por ser uma excelente fonte protéica, ter bom conteúdo de carboidratos e ser rico em ferro (MALDONADO et al., 1986; BORÉM e CARNEIRO, 1998). O Brasil é um dos maiores consumidores de feijão, 20,3 kg/habitante-ano, embora o consumo na década de 70 tenha sido de 25 kg/habitante-ano. Além do seu valor nutricional, o feijão é um dos produtos de maior importância econômico-social, uma vez que abrange grandes áreas de cultivo e requer grande quantidade de mão-de-obra (BORÉM e CARNEIRO, 1998). Desde a última década, o feijão deixou de ser uma cultura de subsistência, tornando-se uma cultura tecnificada, com maior produtividade e produto final de melhor qualidade (SANTOS e BRAGA, 1998).

Apesar dos avanços alcançados, a produção brasileira de feijão sofre perdas consideráveis até chegar ao consumidor. As perdas pós-colheita são um dos fatores mais significativos no fornecimento mundial de alimentos, representando 5-10% da produção mundial de grãos e oleaginosa (Richard e Molard, citados por TIPPLES, 1995). Estas perdas podem ser qualitativas e, ou, quantitativas e ocorrem na matéria seca, na qualidade, no teor nutricional, etc.

A maior parte dos grãos, depois de colhidos, possui características inadequadas ao armazenamento, em razão, principalmente, do alto teor de umidade na época da colheita e da presença de impurezas e matérias estranhas, necessitando, portanto, de tratamentos pós-colheita, para que, durante o armazenamento, a qualidade e quantidade dos grãos sejam preservadas (BAILEY, 1992).

Dentre as operações pós-colheita, o processo de secagem tem um papel importante nas perdas de grãos, isto porque o seu manejo incorreto tem como consequência a deterioração dos grãos (BROOKER et al., 1992).

Outro fator importante a ser considerado é o endurecimento do grão em razão das condições de armazenamento, que reduzem drasticamente o seu valor comercial (SILVA e QUEIROZ, 1998). EDMISTER et al. (1990) verificaram que a temperatura do ar acima de 23 °C, durante o armazenamento, afeta o endurecimento e a coloração do feijão.

Alguns setores responsáveis pela comercialização de feijão no Brasil realizam testes de cocção para avaliarem a qualidade do produto, antes de

transações comerciais. Os resultados destes testes permitem identificar se as características de determinadas variedades de feijão podem atender as exigências do consumidor, limitando assim a colocação do produto no mercado (LEITE e HETZEL, 1997).

Em função do que foi exposto, a identificação das perdas pós-colheita em feijão torna-se importante, pois permitirá que os setores responsáveis pela produção, pelo armazenamento e pela comercialização possam adotar medidas a fim de reduzi-las ao mínimo, garantindo qualidade, melhores preços e um produto de alto valor nutricional.

As informações disponíveis a respeito das principais causas de perdas em grãos nas operações pós-colheita são insuficientes para identificá-las e avaliá-las qualitativa e quantitativamente. Dessa forma, este trabalho tem como objetivos avaliar a qualidade dos grãos de feijão e identificar as perdas ocorridas no período pós-colheita. Especificamente, pretende-se:

1. avaliar a qualidade dos grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade, utilizando-se o seguinte procedimento de colheita: arranquio manual e recolhimento, trilha e limpeza mecânicos;
2. avaliar os efeitos imediato e latente de diferentes temperaturas do ar de secagem na qualidade de grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A tendência atual na produção, no pré-processamento, no processamento e na comercialização dos grãos é a de busca da qualidade total, ou seja, maior diferenciação entre os parâmetros qualitativos que caracterizam o produto. São muitos os fatores que contribuem para a perda de qualidade dos grãos e, dentre eles, destacam-se, segundo BROOKER et al. (1992): características da espécie e da variedade, condições ambientais durante o seu desenvolvimento no campo, época e procedimento de colheita, método de secagem e práticas de armazenagem. Na avaliação da qualidade dos grãos de feijão, consideram-se diversas propriedades qualitativas, como o teor de umidade, o teor de impurezas e matérias estranhas e o total de avariados, ou seja, os grãos inteiros, partidos ou quebrados que se apresentarem ardidos, mofados, brotados, enrugados, manchados, amassados, descoloridos, carunchados, danificados por outros insetos (picados), prejudicados por diferentes causas, bem como os partidos (bandinhas) e quebrados sadios (pedaços) (BRASIL, 1987). Assim, o conceito de qualidade dos grãos de feijão está se tornando objeto de pesquisa, em razão, principalmente, das práticas adotadas desde o processo de colheita até o armazenamento.

2.1. Práticas de colheita

As operações realizadas no sistema de colheita do feijão contribuem significativamente para a manutenção ou redução da qualidade dos grãos. A colheita

pode ser feita desde que os grãos estejam fisiologicamente maduros; no entanto, recomenda-se iniciá-la, quando as perdas ocorridas no campo são mínimas e as injúrias mecânicas no grão são reduzidas. Atualmente, a injúria mecânica nos grãos constitui-se em um problema praticamente inevitável em razão da mecanização das atividades, devido ao aumento da exploração da cultura de forma empresarial. Em áreas médias e grandes, o processo de colheita mais utilizado tem sido a combinação de arranquio manual e recolhimento mecânico, utilizando-se uma recolhedora-trilhadora (SILVA e BEVITORI, 1994; SILVA e QUEIROZ, 1998).

O teor de umidade do grão no momento da colheita é uma das variáveis que propiciam a maior ou menor incidência de injúrias mecânicas nos grãos, além do histórico da cultura, da variedade cultivada e do processo de colheita utilizado. A faixa de teor de umidade ideal para a colheita do feijão não é bem definida, pois pode variar com as práticas de cultivo, com as condições climáticas após a maturação fisiológica dos grãos e com a variedade do feijão. Em trabalho realizado por CARDOSO (1997), foi avaliado o efeito de dois métodos de irrigação e de três teores de umidade na colheita dos grãos de duas variedades de feijão. Concluiu-se que o método de irrigação por sulcos e a colheita dos grãos com teores de umidade de 30 e 25% b.u. proporcionaram um produto final de melhor qualidade.

2.2. Práticas de Secagem

Os grãos quando colhidos não possuem as características necessárias para um armazenamento seguro, o que pode comprometer a qualidade final do produto. Dessa forma, a secagem é indispensável no pré-processamento de grãos e sementes, tendo como finalidade básica a redução do teor de umidade dos grãos a um nível seguro para o armazenamento.

2.2.1. Efeitos da secagem na qualidade de grãos armazenados

O processo de secagem é uma operação crítica na seqüência de pré-processamento de grãos (colheita-secagem-manejo-transporte), porque a secagem incorreta pode reduzir sensivelmente a qualidade dos grãos nesta série de processos (BROOKER et al., 1992). A secagem artificial é, também, um importante processo na

produção de grãos, pois permite que sejam colhidos mais úmidos, evitando-se que permaneçam no campo por longos períodos e, conseqüentemente, que fiquem sujeitos às condições climáticas; além disso, utilizam-se melhor as áreas destinadas ao plantio, em razão da colheita antecipada, e tem-se finalmente um produto de melhor qualidade.

O manejo da secagem deve ser feito em função do tipo e da qualidade final do produto. A qualidade de moagem do trigo e do milho, a germinação e o vigor das sementes podem ser seriamente reduzidos quando os grãos são muito aquecidos durante o processo de secagem (ANDERSON, 1973).

CHEN et al. (1997) relatam que a secagem inadequada pode produzir fissuras nos grãos e que o teor de umidade inicial e as mudanças na temperatura durante a secagem são as maiores fontes de fissuras (trincas) em grãos de arroz.

RADAJEWSKI et al. (1992), estudando a taxa de secagem em grãos de feijão "Navy", com teor de umidade em torno de 25% b.u., com temperatura do ar de secagem variando de 32 a 62 °C, concluíram que o nível de dano está diretamente relacionado com a umidade relativa do ar de secagem. Segundo os autores, a temperatura do ar de secagem e, conseqüentemente, a taxa de secagem têm pouco efeito sobre a qualidade final do produto. Os autores salientam ainda que a variedade do feijão pode ter importante correlação com o tipo de dano causado aos grãos pela secagem, sendo necessários mais estudos sobre este assunto.

O processo de secagem utilizado pode afetar a capacidade de armazenamento dos grãos. Em estudo com grãos de milho secos em sistemas de alta e baixa temperaturas, MARKS e STROSHINE (1990) verificaram que a prática de secagem com altas temperaturas reduziu a estabilidade do milho durante o armazenamento.

AFONSO JUNIOR (1997), estudando os efeitos do processo de secagem na qualidade de sementes de feijão da variedade "Ouro Negro 1992", verificou que a temperatura do ar de secagem e os teores de umidade inicial e final dos grãos afetam a germinação e o vigor das sementes. Este efeito foi menos acentuado em grãos colhidos com 17,1% b.u. de umidade inicial.

2.3. Armazenamento

O armazenamento é uma parte do sistema de pós-colheita e sua importância reside no fato de que, quando realizado corretamente, evita perdas e preserva a qualidade dos grãos.

A massa de grãos armazenada é um sistema ecológico em que a deterioração é o resultado da interação entre variáveis físicas (temperatura; umidade; propriedades físicas da massa de grãos; propriedades termofísicas; estrutura do armazém e suas inter-relações e variáveis meteorológicas), variáveis químicas (disponibilidade de oxigênio no ar intergranular), variáveis biológicas de fontes internas (longevidade, respiração, maturidade pós-colheita e germinação) e variáveis biológicas de fontes externas (fungos, leveduras, bactérias, insetos, ácaros, roedores e pássaros). O grau de deterioração depende da taxa de aumento destas variáveis, que, por sua vez, são principalmente afetadas pela interação da temperatura e umidade e, secundariamente, pela inter-relação destes ou destas com o grão e com a estrutura do armazém (SINHA, 1973).

MORENO-MARTINEZ et al. (1994), estudando o efeito das condições de armazenagem, 75% e 85% de UR e temperatura de 25 °C, durante 180 dias, no vigor de sementes de 15 variedades de feijão, verificaram que a maioria das variedades manteve altas taxas de germinação quando armazenadas em ambientes com 75% de UR. As sementes armazenadas em ambientes com 85% de UR foram as mais severamente afetadas durante o armazenamento. De acordo com os autores, os resultados obtidos mostraram que existem diferenças na capacidade de armazenamento de variedades de feijão, quando armazenadas em condições que acentuam a sua deterioração.

Sendo assim, torna-se de extrema importância o planejamento de ações para impedir a deterioração dos grãos e, conseqüentemente, para reduzir os índices de perdas, em razão do seu impacto negativo na disponibilidade de alimentos e no preço final do produto.

2.4. Qualidade dos grãos

A qualidade desejável dos grãos é difícil de definir, pois não é a mesma para os vários tipos de grãos e depende do uso final destes. Atualmente, esta questão torna-se ainda mais relevante, pois consumidores e processadores têm associado às características de qualidade fatores como ausência de produtos químicos, de insetos, etc.

Para avaliar a qualidade dos grãos, BAKKER-ARKEMA (1994) considera diversas propriedades, tais como: teor de umidade, massa específica, percentual de grãos quebrados, teor de impurezas e matéria estranha, danos causados pela temperatura de secagem, susceptibilidade à quebra, características de moagem, conteúdo de proteína

e óleo, valor para consumo animal, viabilidade como semente, presença de insetos e fungos, tipo de grão e ano da produção. No entanto, as propriedades qualitativas desejáveis dependem, especificamente, das necessidades do comprador. As características ideais para o feijão são: tamanho do grão, cor, aparência, propriedades e tempo de cozimento, aspectos de hidratação, conteúdo protéico, etc. (DURIGAN et al., 1978; CHIARADIA e GOMES, 1997). A perda de qualidade dos grãos de feijão durante o armazenamento é caracterizada pelo aumento do tempo de cozimento, aumento do grau de dureza do tegumento e alterações da cor (escurecimento) e do sabor.

De acordo com os padrões brasileiros, Portaria nº 161, de 24 de julho de 1987, o feijão (*P. vulgaris*) é classificado, segundo a sua qualidade, em cinco tipos: 1, 2, 3, 4 e 5 para as tolerâncias máximas de 4, 8, 12, 16 e 20%, respectivamente, de grãos avariados. Independente do tipo de feijão, o teor de umidade e o teor de impurezas e matérias estranhas não devem exceder 15 e 2%, respectivamente (BRASIL, 1987).

2.4.1. Danos mecânicos

Em função das práticas e do manejo adotados na colheita e pós-colheita, os grãos e sementes podem sofrer danos mecânicos que reduzem a qualidade e causam a sua deterioração. Estes danos podem ocasionar grãos trincados e grãos partidos, que poderão ser percebidos imediatamente, ou então danos internos, que serão percebidos ao longo do tempo.

ANDRADE et al. (1999), avaliando a qualidade de sementes de feijão em função do choque mecânico, utilizando o teste de condutividade elétrica, verificaram que os teores de umidade inicial e final das sementes e o impacto, ou choque mecânico, têm grande influência na qualidade destas. De acordo com os autores, quando as sementes de feijão são colhidas com teor de umidade mais elevado e submetidas ao processo de secagem artificial, elas provavelmente serão menos susceptíveis aos danos mecânicos. O teste de condutividade elétrica, utilizado para avaliar a qualidade de sementes, apresenta algumas características que podem ser úteis como um teste de avaliação de danos em grãos. O teste pode evidenciar níveis de danos mecânicos

internos e externos. O maior problema deste teste, no entanto, é o tempo gasto para sua realização (COUTO et al., 1998).

2.4.2. Endurecimento dos grãos

As leguminosas podem desenvolver dois tipos de endurecimento do tegumento, de acordo com Shehata (1992), citado por CHIARADIA e GOMES (1997): dureza reversível e dureza irreversível. A dureza reversível ocorre em leguminosas colhidas frescas e é atribuída a vários fatores genéticos, a condições climáticas, ao tamanho da semente, ao manejo da colheita e ao grau de maturidade. A dureza irreversível ocorre em leguminosas durante o armazenamento e é atribuída às condições de armazenamento.

Durante o armazenamento, os grãos de feijão sofrem dois tipos de endurecimento: um na casca e outro no cotilédone, sendo o endurecimento da casca mais significativo, segundo DE LÉON et al. (1989). De acordo com estes autores, a casca é a primeira barreira para a cocção do feijão, sendo este o fator responsável pelo aumento da dureza do grão ou do aumento do tempo de cocção. Na casca, ocorrem reações enzimáticas e, ou, químicas que a tornam mais resistente ou mais dura e afetam em maior grau o tempo de cocção e a dureza dos grãos de feijão. Os autores observaram também que o cotilédone dentro da casca endurece mais lentamente e a casca é que sofre maior endurecimento.

RICHARDSON e STANLEY (1991) avaliaram a funcionalidade da membrana em grãos de feijão com diversos graus de endurecimento. O estudo mostrou que os feijões endurecidos perderam mais sólidos durante o processo de embebição, e a retenção de água foi menor à medida que a temperatura e a umidade relativa das condições de armazenamento aumentaram. Com o aumento da temperatura e umidade relativa de armazenagem, os grãos de feijão apresentaram um aumento no endurecimento. De acordo com os autores, os resultados obtidos indicaram uma forte evidência da deterioração da membrana durante o endurecimento.

O mecanismo responsável pelo fenômeno de endurecimento dos grãos ainda é objeto de estudo dos pesquisadores. Este fenômeno tem sido atribuído a mudanças físicas e químicas que ocorrem entre as células dos grãos durante a estocagem, resultando em aumento da estabilidade da lamela média para o cozimento. A explicação

mais aceita é a insolubilização de substâncias pécticas devida à enzima fitase (CHIARADIA e GOMES, 1997).

Diversos autores, citados por GARCIA et al. (1998), relataram que muitas são as causas que podem explicar o fenômeno de endurecimento: formação de pectatos insolúveis na lamela média da parede celular, que provavelmente, tornam o tecido mais refrativo à separação celular durante o cozimento; degradação das membranas celulares; e o envolvimento de componentes fenólicos. Segundo esses autores, o fenômeno de endurecimento é um processo complexo que afeta diferentes componentes da célula, como os polímeros da parede celular, fenólicos, amido, proteína, dentre outros. É provável que a combinação destes mecanismos favoreça o desenvolvimento do fenômeno de endurecimento.

Sgarbieri e Whitaker (1982), citados por CHIARADIA e GOMES (1997), relataram que, dependendo das condições de armazenamento, alguns cultivares de feijão desenvolvem, além do endurecimento do tegumento, que ocasiona falha na reidratação, uma redução no potencial de cocção dos cotilédones. BURR et al. (1968) estudaram a influência das condições ambientes e do tempo de armazenagem no cozimento de três variedades de feijão. Os autores verificaram que os grãos perderam sua capacidade de cocção durante o armazenamento e, conseqüentemente, houve aumento no tempo de cozimento. A influência da temperatura e da atividade de água (a_w) dos grãos de feijão da variedade "Rwanda", durante o armazenamento, foi estudada por EDMISTER et al. (1990). Os autores verificaram que ocorreu um aumento tanto do percentual de grãos endurecidos quanto no escurecimento à medida que se aumentou a temperatura de armazenagem e a a_w dos grãos de feijão. Recentemente, CANNIATTI-BRAZACA et al. (1998) relataram que o processo de respiração dos grãos de feijão durante o armazenamento pode causar um aumento da umidade relativa do ar ambiente, em razão do acúmulo de vapor d'água, acelerando o processo de endurecimento dos grãos.

Em países tropicais, o armazenamento de feijão em condições adversas de alta temperatura e alta umidade relativa confere sua suscetibilidade ao fenômeno do endurecimento.

O feijão com endurecimento é caracterizado por prolongado tempo de cozimento, redução na sua aceitabilidade pelo consumidor e baixo valor nutricional (MARTIN-CABREJAS et al., 1997). Os mesmos autores, estudando os efeitos do fenômeno de endurecimento em diversos parâmetros físico-químicos de diferentes variedades de feijão comum, relataram que as atividades fisiológicas pós-colheita e a

formação de tanino e lignina no interior das sementes de feijão podem ser responsáveis, em grande parte, pelo endurecimento do feijão comum durante o armazenamento prolongado, o que limita a disponibilidade de nutrientes através da precipitação das proteínas.

As perdas devidas ao endurecimento dos grãos de feijão envolvem energia extra para o cozimento, redução do valor nutricional causada pela deterioração das proteínas durante o armazenamento e, ainda, o cozimento prolongado.

2.4.3. Alterações na coloração dos grãos

A avaliação da qualidade de produtos agrícolas, através das alterações na cor, vem sendo realizada por meio de métodos subjetivos e, ou, parâmetros físicos. Os métodos subjetivos, em razão das diversas variáveis que podem influenciar o resultado final, podem originar dados pouco confiáveis. Os métodos físicos vem sendo utilizados por diversos pesquisadores com resultados mais precisos.

A medida da cor foi normalizada em 1931 pela CIE (“Commission Internationale d’Eclairage”), que estabeleceu uma nomenclatura e espaço de cor conhecidos como Sistema CIE. O Sistema CIE possui diversas modificações, sendo o Sistema de Hunter (L, a, b) o mais conhecido e usado (Artigas et al., 1985, citado por CALVO, 1989).

O Sistema de Munsell é um espaço tridimensional no qual situam-se todas as cores, em função da tonalidade, claridade e saturação (matiz, valor e croma) (CALVO, 1989).

O Sistema CIE utiliza os parâmetros X, Y e Z para a medida da cor, que são denominados valores tristímulos. Estes valores representam, respectivamente, as quantidades de três cores primárias: vermelho, verde e azul, necessárias para que o observador-padrão compare determinada cor em boas condições de iluminação e observação (LOPES et al., 1998).

O Sistema de Coordenadas de Hunter utiliza um espaço que representa uma tentativa de transformação do sistema CIE em um espaço de cor perceptivelmente uniforme, incorporando o espaço de Munsell. Este sistema fornece a medida direta de

atributos de aparência, com a dimensão de luminosidade L e as coordenadas de cromaticidade a e b (LITTLE, 1976).

A alteração na coloração dos produtos agrícolas está frequentemente associada às características de qualidade desejadas, ou não, pelos processadores e consumidores. Dessa forma, a alteração na coloração de produtos agrícolas é um atributo de qualidade de fácil identificação. Em estudo sobre as mudanças ocorridas nas características dos grãos de trigo armazenados em temperaturas de 37 e 50 °C, SRIVASTAVA e RAO (1994) verificaram que ocorreu uma alteração da coloração da farinha obtida dos grãos armazenados a 50 °C.

Na classificação do café, a cor é um parâmetro importante que pode levar à rejeição do produto. A avaliação da cor de café tem sido feita de forma subjetiva e torna-se necessária a utilização de métodos físicos para detectar a mudança de cor e auxiliar na classificação dos grãos (LOPES et al., 1998). De acordo com os autores, os termos a e b do sistema de Hunter e H e C do Sistema de Munsell mostraram-se relevantes na avaliação subjetiva da cor como atributo de qualidade de café beneficiado.

FERREIRA et al. (1999), estudando a estabilidade de soluções comerciais de hidrossolúveis de urucum, submetidas a diferentes tratamentos de tempo e temperatura, verificaram que a degradação da cor e os teores de pigmentos foram moderadamente afetados pela temperatura.

As alterações na coloração de grãos de feijão podem ser causadas pela oxidação de leucoatocianinas catalisadas pelo ar e pela luz, apesar de o escurecimento não-enzimático também ser uma possibilidade (Stanley, 1992, citado por CHIARADIA e GOMES, 1997).

CIRNE et al. (1993) avaliaram visualmente o efeito do tempo de armazenamento e tratamento na alteração da cor do feijão da variedade “Mulatinho”. Os autores verificaram que o tegumento das sementes sofreu um escurecimento durante o armazenamento, e este efeito foi menos acentuado em silos de flandres de zinco enterrados e em silos de fibra-de-vidro pelo fato de possuírem melhor isolamento térmico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Setor de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, no Laboratório de Propriedades Físicas do CENTREINAR e no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia, ambos localizados na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Utilizaram-se grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) da variedade “Carioca 1030”, colhidos no Campo Experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo – CNPMS/EMBRAPA, na cidade de Sete Lagoas, MG.

3.1. Histórico da cultura

O plantio do feijão (*P. vulgaris*) da variedade “Carioca 1030” foi realizado no mês de abril de 1999, utilizando-se o sistema de plantio direto na palha, em uma área onde é feita rotação de cultura. O espaçamento utilizado entre linhas foi de 0,70 m, com uma densidade de 186.000 plantas por hectare, e o sistema de irrigação foi o de aspersão com pivô central. A produtividade média foi de 3.200 kg ha⁻¹.

3.2. Colheita

A colheita foi feita em períodos distintos, sendo dividida em três etapas: na primeira, foi colhida uma parcela do produto quando o teor de umidade dos grãos estava em torno de 21% b.u.; a segunda colheita foi realizada quando os grãos apresentavam teor de umidade de aproximadamente 18% b.u.; e o restante foi colhido quando o teor de umidade dos grãos era de aproximadamente 12% b.u.

Os grãos foram arrancados manualmente e recolhidos utilizando-se uma recolhadora PENHA Modelo “CLC 500”, com um cilindro trilhador de 0,60 m de diâmetro e 2,6 m de comprimento. A recolhadora foi acionada por um trator em velocidade de 1 km h⁻¹. Durante a colheita, a recolhadora operou

com a rotação de 540 rpm no eixo do cilindro trilhador, 1.388 rpm no eixo do ventilador e 320 rpm no excêntrico que movimenta as peneiras.

Depois de cada colheita, os grãos foram colocados em um recipiente e as amostras homogeneizadas. Após a homogeneização, os grãos foram analisados quanto ao teor de umidade, à condutividade elétrica e à coloração. Além disso, uma amostra desses grãos foi enviada à Delegacia Federal de Agricultura em Minas Gerais, Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária (MAARA), para sua classificação. Em seguida, os grãos de feijão destinados ao processo de secagem e ao armazenamento foram limpos numa máquina de ar e peneiras de laboratório.

3.3. Secagem

A secagem do feijão com teores de umidade de 21 e 18% b.u. foi realizada em um secador experimental de camada delgada, com controle de temperatura (por meio de três resistências elétricas) e velocidade do ar de secagem (através da abertura e do fechamento do diafragma acoplado na entrada do ventilador). Os testes só eram iniciados quando a velocidade do ar de secagem atingia $0,7 \text{ m s}^{-1}$, medida por meio de um anemômetro digital de lâminas rotativas, e quando a temperatura do ar era de 30°, 40°, 50° e 60 °C, e se mantinha constante; a temperatura foi medida por meio de um termômetro de mercúrio de 1 °C de precisão, localizado imediatamente abaixo da bandeja que continha os grãos de feijão.

A massa de grãos, que formava uma camada de, aproximadamente, 2,5 cm de altura, era acomodada em uma bandeja de 53 cm de diâmetro com o fundo telado.

Durante o processo de secagem, pesou-se a bandeja com os grãos periodicamente, até que os grãos atingissem o teor de umidade médio de 12% b.u. Conhecendo-se o peso inicial dos grãos, a umidade inicial e a umidade final desejada, calculava-se o peso final dos grãos secos, que correspondia à umidade desejada (12% b.u.).

O feijão que não foi submetido ao processo de secagem, pelo fato de ter sido colhido com teor de umidade de aproximadamente 12%, foi mantido em uma câmara climática com temperatura de 10 °C e 65% de UR, até o início

do período de armazenamento, por aproximadamente 15 dias. De acordo com diversos autores, nestas condições a qualidade inicial dos grãos não é afetada.

3.4. Armazenamento e expurgo

Amostras de aproximadamente sete quilos de grãos de feijão colhidos com teor de umidade de aproximadamente 12% b.u. e dos grãos colhidos com 18% e 21% b.u., secos em quatro temperaturas do ar de secagem (30°, 40°, 50° e 60 °C), foram acondicionadas em recipientes metálicos de, aproximadamente, 18 litros para o armazenamento. Em seguida, os recipientes foram desinfestados por meio de uma fumigação com fosfeto de alumínio, empregando-se uma dosagem de 1,0 g m⁻³ do princípio ativo por um período de 72 horas de exposição. Depois do expurgo, os recipientes foram cobertos com uma malha de algodão muito fina, de forma a possibilitar a respiração dos grãos e impedir a reinfestação por insetos provenientes do meio ambiente externo. Estes recipientes foram, então, armazenados, em laboratório, por 90 dias.

3.5. Testes de qualidade pós-colheita

Para avaliar a qualidade dos grãos durante o armazenamento, coletou-se, no início e a cada 30 dias, uma amostra de 1,5 kg em cada recipiente metálico. Estas amostras foram submetidas às análises de susceptibilidade à quebra, de grau de dureza, além das análises mencionadas no item 3.2.

3.5.1. Teor de umidade

Para a determinação do teor de umidade, utilizou-se o método-padrão de estufa, 105±3 °C por 24 horas, com três repetições, conforme as recomendações das regras para análise de sementes (BRASIL, 1992).

3.5.2. Classificação do feijão

A classificação dos grãos de feijão, colhidos com diferentes teores de umidade e secos em quatro temperaturas do ar de secagem, foi feita pela Delegacia Federal de Agricultura em Minas Gerais, Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária (MAARA), em Belo Horizonte, MG, de acordo com as normas de classificação do feijão (BRASIL, 1987).

3.5.3. Teste de condutividade elétrica

A condutividade elétrica da solução contendo os grãos de feijão foi feita utilizando o “Sistema de copo” ou “Condutividade de massa” (VIEIRA e CARVALHO, 1994).

Os testes foram realizados em quatro repetições de 50 grãos para cada tratamento (teor de umidade de colheita e temperatura do ar de secagem). Os grãos foram pesados em uma balança com precisão de 0,01 g e colocados em copos plásticos de 200 ml, aos quais foram adicionados 75 ml de água deionizada. Em seguida, os copos foram colocados em um germinador à temperatura de 25 °C, por 24 horas. Imediatamente após este período, os copos foram retirados do germinador para a realização das medições da condutividade elétrica da solução que contém os grãos.

As leituras foram feitas em medidor de condutividade elétrica da marca Digimed, modelo CD-21, com ajuste para compensação da temperatura e eletrodo com constante da célula de 1 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com uma solução-padrão de cloreto de sódio, de condutividade elétrica conhecida, à temperatura de 25 °C.

O valor de condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$) fornecido pelo aparelho foi dividido pela massa (g) dos 50 grãos, obtendo-se então o valor de condutividade elétrica expresso com base no peso seco da amostra, em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

3.5.4. Teste de coloração

A avaliação das alterações na coloração dos grãos de feijão foi feita através do Sistema de Hunter; o aparelho utilizado foi o Colorímetro Mini ScanTM XE Plus. As medições das coordenadas de Hunter, L_H , a_H e b_H foram feitas utilizando-se o

instrumento HunterLab. Os valores de cor usados neste aparelho são relativos aos valores absolutos de uma perfeita reflexão difusa, medida sobre algumas condições geométricas, recomendadas pela CIE.

Os testes foram realizados em três repetições para cada tratamento, utilizando-se amostras de grãos inteiros e limpos. Os grãos foram limpos com um tecido macio de algodão para que não houvesse qualquer alteração nas leituras em função de partículas de solo que, por ventura, estivessem aderidas aos grãos. As amostras foram colocadas no aparelho para a realização das leituras, obtendo-se então os valores das coordenadas de Hunter:

- $L_H \rightarrow$ varia do branco (100) ao preto (0)
- $a_H \rightarrow$ varia do vermelho (+a) ao verde (-a)
- $b_H \rightarrow$ varia do amarelo (+b) ao azul (-b)

Com os valores de L_H , a_H e b_H , calculou-se a diferença de cor dada por

$$DE = \sqrt{(\Delta L_H)^2 + (\Delta a_H)^2 + (\Delta b_H)^2} \quad (1)$$

em que

DE = diferença de cor

$$\Delta L_H = L_{H(t)} - L_{H(0)};$$

$$\Delta a_H = a_{H(t)} - a_{H(0)}; \text{ e}$$

$$\Delta b_H = b_{H(t)} - b_{H(0)}.$$

Os índices t e 0 indicam, respectivamente, o período de tempo t de armazenamento e o tempo zero.

Utilizando-se os valores de L_H , b_H e a_H , calcularam-se os valores dos índices cromáticos matiz (H) e croma (C) do Sistema de Munsell.

Os valores dos índices cromáticos foram obtidos por meio da transformação das coordenadas cartesianas em coordenadas cilíndricas:

$$C = \sqrt{a_H^2 + b_H^2} \quad (2)$$

$$H = \arctan\left(\frac{b_H}{a_H}\right) \quad (3)$$

Apresentam-se, nas Figuras 1 e 2, o Sistema de Coordenadas de Hunter e o Sistema de Munsell.

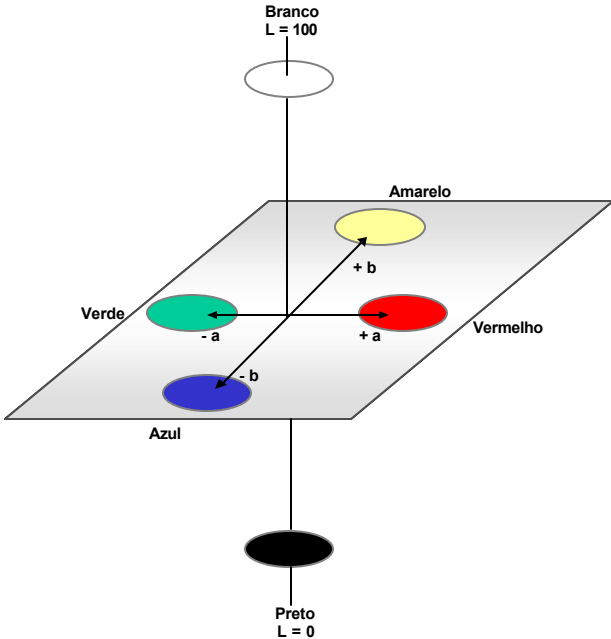


Figura 1 - Sistema de Coordenadas de Hunter L, a, b.

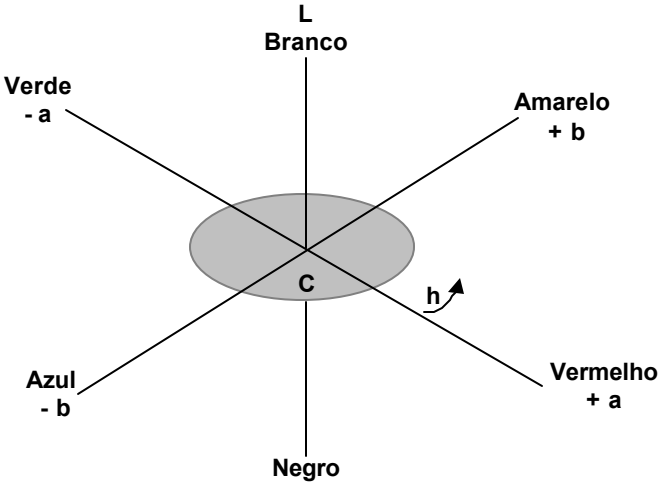


Figura 2 - Sistema de Munsell.

3.5.5. Teste de susceptibilidade à quebra

Para o teste de susceptibilidade à quebra dos grãos de feijão de cada tratamento, utilizou-se o aparelho “Stein Breakage Tester”, da marca Stein, modelo CK (STEPHENS e FOSTER, 1976).

Uma amostra de 100 g de grãos limpos foi colocada em um recipiente de aço de 9 cm de diâmetro, que, ao ser acionado a uma rotação de 1.800 rpm, jogava os grãos contra a parede do recipiente por um período de 30 segundos. Em seguida, a amostra foi peneirada em uma peneira de crivos circulares de 5 mm de diâmetro. Todo o material que passou pela peneira foi pesado e o percentual de grãos quebrados foi expresso em relação ao peso inicial da amostra. A percentagem de susceptibilidade à quebra foi determinada pela equação 4:

$$SQ = \frac{P_i - P_r}{P_i} \cdot 100 \quad (4)$$

em que

SQ = susceptibilidade à quebra, %;

P_i = peso inicial da amostra, g; e

P_r = peso remanescente na peneira, g.

3.5.6. Teste de dureza

O endurecimento do produto foi avaliado por meio da força e deformação necessárias para a ruptura macroestrutural dos grãos de feijão, submetidos a ensaios de compressão entre duas placas paralelas de uma Máquina de Ensaio de Produtos Agrícolas, com célula de carga de 1.000 kgf, construída no Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa. Durante os ensaios de compressão, a placa superior manteve-se fixa e a placa inferior moveu-se com uma velocidade de 3,55 mm min⁻¹.

Os testes foram realizados em 25 grãos de cada tratamento. A dimensão do grão, correspondente àquela na direção submetida à compressão, foi medida utilizando-se um paquímetro manual. Os grãos foram comprimidos, individualmente, na sua posição de maior estabilidade.

A força para ruptura dos grãos de feijão foi considerada como o valor médio das forças necessárias para provocar rupturas macroestruturais nos grãos.

A deformação necessária para a ruptura macroestrutural dos grãos foi determinada usando-se a equação 5:

$$\xi = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (5)$$

em que

ξ = deformação específica para ruptura, mm mm⁻¹;

ΔL = deformação do grão;

$\Delta L = (L_0 - L)$;

L_0 = dimensão inicial do grão de feijão, na direção da compressão, em mm; e

L = dimensão final do grão, na direção da aplicação da força depois da compressão, em mm.

3.6. Análise estatística dos dados

Os efeitos do teor de umidade de colheita na qualidade dos grãos foram avaliados por meio de um teste de médias, Teste de Tukey.

Para avaliar os efeitos das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento sobre a qualidade dos grãos, optou-se por ajustar modelos estatísticos de predição. Com os modelos, foram obtidas as superfícies de resposta em função do período de armazenamento, para cada temperatura do ar de secagem e para cada teor de umidade de colheita.

Os modelos foram ajustados a partir do modelo estatístico linear completo:

$$\hat{Y}_{ij} = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 T + \beta_3 t^2 + \beta_4 T^2 + \beta_5 t.T + e_{ij} \quad (6)$$

em que

\hat{Y}_{ij} = estimativa dos parâmetros de qualidade avaliados no tempo j e nas temperaturas de secagem i , sendo $j = 1, 2, 3, 4$ e $i = 1, 2, 3, 4$;

β_0 = constante da regressão;

β_k = coeficiente de regressão, $k = 1, 2, 3, 4, 5$;

t_j = efeito do período de armazenamento j , para os níveis de 0, 30, 60 e 90 dias;

T_i = efeito das temperaturas de secagem i , para os níveis de 30, 40, 50 e 60 °C; e

e_{ij} = erro aleatório.

A escolha do modelo de predição, a partir do modelo completo, baseou-se nos coeficientes de determinação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados, a seguir, os resultados da avaliação da qualidade de grãos de feijão logo após a colheita (4.1) e durante o armazenamento do produto (4.2).

4.1. Qualidade dos grãos de feijão logo após a colheita

A qualidade dos grãos de feijão logo após a colheita, com teores de umidade de 20,6; 18,7; e 11,7% b.u., foi avaliada pela classificação do produto, pela condutividade elétrica e pela coloração.

4.1.1. Classificação dos grãos

O resumo dos laudos de classificação dos grãos de feijão emitidos pelo MAARA está apresentado no Quadro 1. Os grãos colhidos com 20,6; 18,7; e 11,7% b.u. de umidade foram classificados como tipos 3, 2 e 3, respectivamente, expressando a qualidade dos grãos. Segundo a Portaria nº 161, de julho de 1987, o feijão pode ser classificado em cinco tipos, expressos por números de 1 a 5, definidos de acordo com os limites máximos de grãos avariados: 4, 8, 12, 16 e 20% para os tipos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Em função dos resultados obtidos, verifica-se que os grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u. apresentaram melhor classificação por tipo.

Quadro 1 - Valores médios dos grãos colhidos com diferentes teores de umidade, obtidos dos Laudos de Classificação de Feijão realizados pelo Ministério da Agricultura

Parâmetros	Teor de umidade de colheita (% b.u.)		
	11,7	18,7	20,6
Tipo	3	2	3
Impurezas e matérias estranhas (%)	0,99	1,15	3,43
Manchados (%)	0,13	0,01	0,04
Amassados (%)	0,01	2,45	2,93
Partidos (%)	8,27	3,21	2,94
Quebrados (%)	1,79	0,28	0,47
Picados (%)	0,08	0,01	0,09
Total de avariados (%)	10,40	6,28	8,60

Passa-se, a seguir, a discutir os resultados das análises estatísticas realizadas no demais parâmetros apresentados no Quadro 1.

Percentual de impurezas e matérias estranhas

Os resultados da análise de variância para percentual de impurezas e matérias estranhas (detalhes no Quadro 1A) indicam, pelo teste F, a 1% de probabilidade, que houve efeito significativo do teor de umidade de colheita sobre o percentual de impurezas e matérias estranhas.

Apresentam-se, na Figura 3, os valores médios do percentual de impurezas e matérias estranhas. Observa-se que o percentual de impurezas e matérias estranhas aumentou à medida que se aumentou o teor de umidade de colheita. No entanto, verifica-se que, para os grãos colhidos com teor de umidade de 18,7 e 11,7%, as médias não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os grãos colhidos com teor de umidade em torno de 20,6% b.u. apresentaram o maior percentual de impurezas e matérias estranhas. Estes resultados evidenciaram a dificuldade de as peneiras da recolhadora e do sistema de ventilação efetuarem uma limpeza eficiente nos grãos à medida que se aumentou o teor de umidade de colheita.

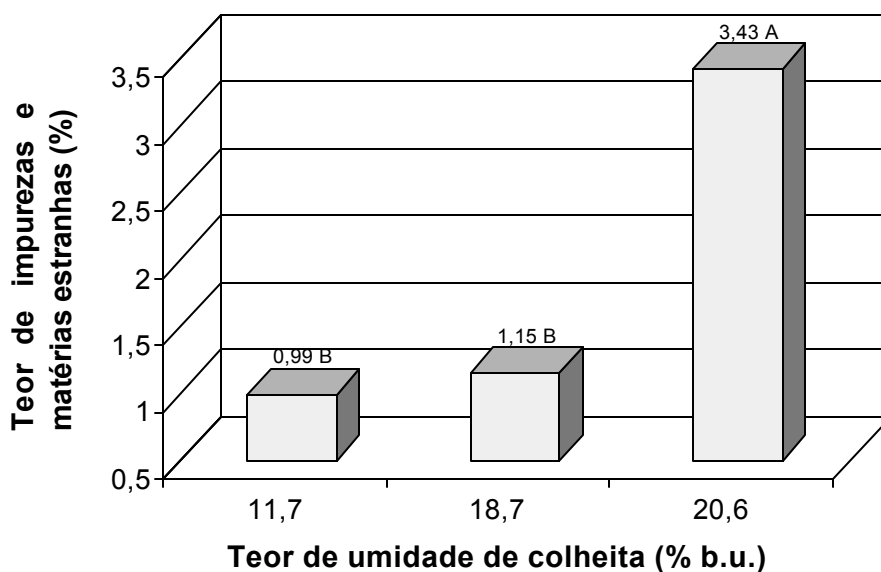


Figura 3 - Valores médios do percentual de impurezas e matérias estranhas nos grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade. Médias com mesma letra não diferem entre si

pelo teste de Tukey ($P = 0,05$).

Percentual de grãos manchados, amassados, partidos, quebrados e total de avariados

Os resultados das análises de variância realizadas nos dados relativos ao percentual de grãos manchados, amassados, partidos, quebrados e total de avariados (detalhes no Quadro 2A) indicam, pelo teste F, a 1% de probabilidade, que houve efeito significativo do teor de umidade de colheita sobre o percentual de grãos amassados, e, a 5% de probabilidade, sobre o percentual de grãos manchados, partidos e quebrados.

Considerando que a ocorrência de grãos amassados, partidos e quebrados é devida ao processo de colheita, os dados serão discutidos como danos físicos e em conjunto.

As estimativas do percentual de grãos amassados, de grãos partidos e de grãos quebrados em função do teor de umidade de colheita são apresentadas na Figura 4. Embora o menor percentual de grãos amassados tenha ocorrido quando os grãos foram colhidos com 11,7% de umidade, verifica-se que, para este teor de umidade, houve maior percentual de grãos partidos e quebrados. Para os teores de umidade de colheita de 18,7 e 20,6%, os percentuais de grãos amassados, partidos e quebrados não diferiram entre si. Vale ressaltar que a redução do percentual de grãos partidos é da ordem de 60% quando se comparam os teores de umidade de colheita de 11,7 e 20,6% b.u. (Quadro 1). A qualidade dos grãos de feijão é comprometida com o aumento nos percentuais de grãos amassados, partidos e quebrados, pois, além de redução do valor comercial, a massa de grãos torna-se mais propícia à infestação de insetos-praga.

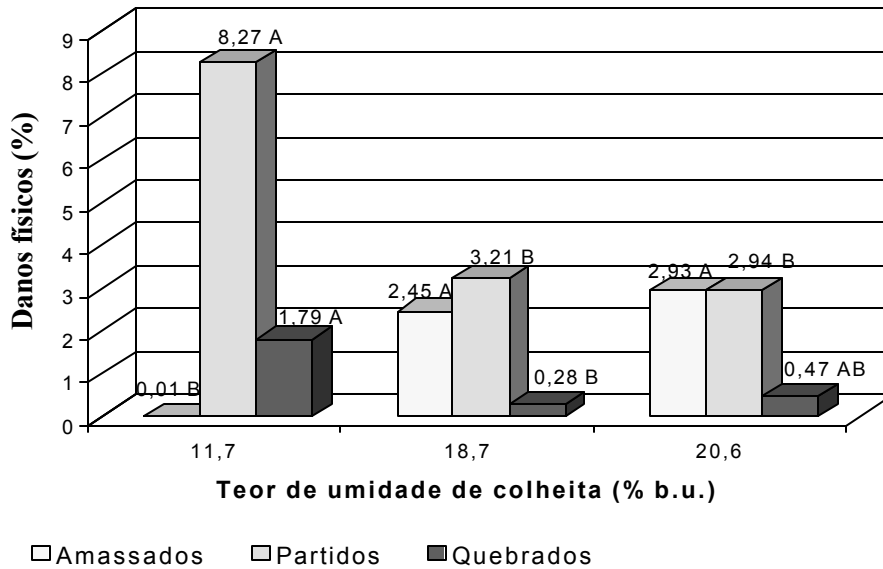


Figura - 4 Valores médios do percentual de grãos amassados, partidos e quebrados para os grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade. Médias com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Apresentam-se, na Figura 5, os valores médios do percentual de grãos manchados em função do teor de umidade de colheita. Verifica-se que não houve diferença entre os valores médios do percentual de grãos manchados, independentemente do teor de umidade de colheita. Estes resultados indicam que, para as condições em que o experimento foi realizado, o percentual de grãos manchados não apresentou diferenças em função do teor de umidade de colheita dos grãos de feijão.

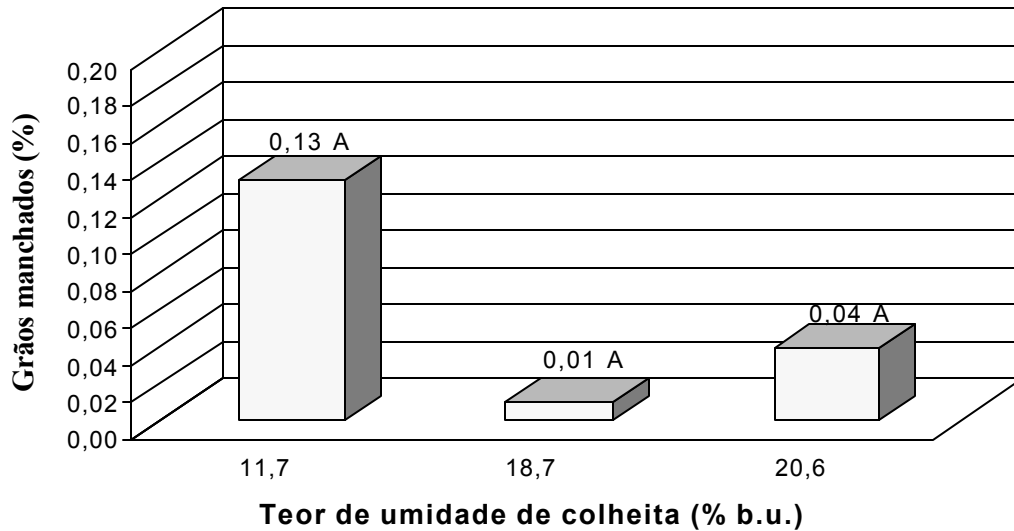


Figura - 5 Valores médios do percentual de grãos manchados para os grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade. Médias com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P = 0,05).

4.1.2. Condutividade elétrica

O teste de condutividade elétrica da solução que contém os grãos tem como princípio avaliar o aumento da permeabilidade da membrana à medida que o grão se deteriora. Baseia-se na modificação da resistência elétrica, causada pela lixiviação de eletrólitos dos tecidos dos grãos para a solução em que este foi imerso. Os resultados da análise de variância realizada nos dados de condutividade (resumo no Quadro 3A) indicam, pelo teste F, a 1% de probabilidade, que houve efeito significativo do teor de umidade de colheita sobre a condutividade elétrica da solução que contém os grãos de feijão.

Na Figura 6, são apresentados os valores médios da condutividade elétrica da solução que contém os grãos de feijão em função dos teores de umidade de colheita. Observa-se que o maior valor de condutividade elétrica foi obtido para os grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 11,7%, confirmando, assim, os resultados apresentados na Figura 4, ou seja, além da maior presença de grãos partidos e de grãos quebrados, os grãos foram também mais danificados, reduzindo assim a sua qualidade fisiológica. HAMPTON et al. (1992) e ANDRADE et al. (1999) observaram que

sementes de feijão com maior teor de umidade inicial apresentavam os menores valores de condutividade elétrica e, conseqüentemente, melhor qualidade fisiológica.

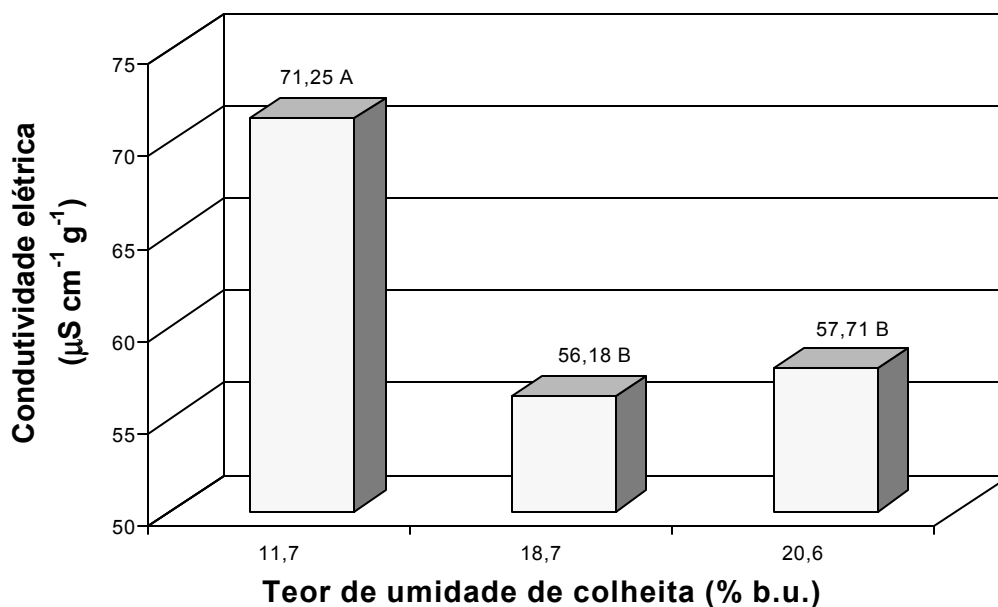


Figura - 6 Valores médios da condutividade elétrica da solução que contém os grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade. Médias com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P 0,05).

4.1.3. Coloração dos grãos de feijão

Os resultados da análise de variância para as coordenadas de Hunter (L_H , b_H e a_H) (detalhes no Quadro 4A) indicam, pelo teste F, a 1% de probabilidade, que houve efeito significativo do teor de umidade de colheita sobre a coordenada b_H e, a 5% de probabilidade, sobre a coordenada L_H .

Na Figura 7, são apresentados os valores médios das coordenadas de Hunter (L_H , a_H e b_H) em função dos teores de umidade de colheita. Embora a coordenada a_H tenha permanecido praticamente constante com os três teores de umidade de colheita, observa-se que as coordenadas L_H e b_H aumentaram à medida que se aumentou o teor de

umidade de colheita de 11,7% para 18,7 e 20,6%. O aumento na coordenada L_H pode ser um indicio de que os grãos colhidos mais secos apresentam uma coloração um pouco mais escura que a dos grãos colhidos com maior teor de umidade.

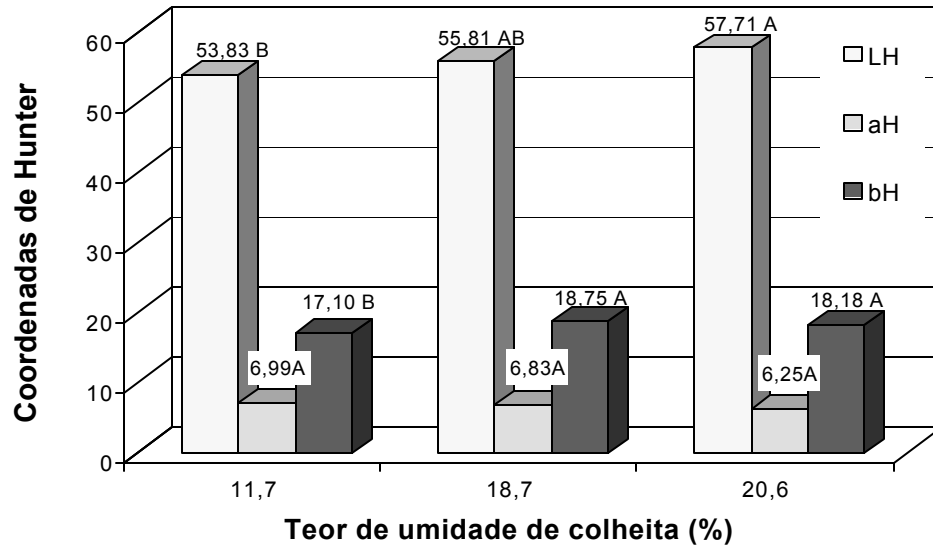


Figura - 7 Valores médios das coordenadas de Hunter (L_H , b_H e a_H) para os grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade. Médias com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4.2. Qualidade dos grãos de feijão logo após a secagem e durante o período de armazenamento

A qualidade dos grãos de feijão logo após a secagem (zero dia) e durante o período de armazenamento foi avaliada pelo teor de umidade, pela classificação dos grãos, pela condutividade elétrica, pela coloração, pela susceptibilidade à quebra e pelo endurecimento, incluindo forças e deformação para a ruptura do produto.

4.2.1 Teor de umidade dos grãos

No Quadro 2, encontram-se os valores médios dos teores de umidade dos grãos de feijão, em função dos tratamentos, em cada período de armazenamento. A variação do teor de umidade dos grãos está relacionada com a variação da temperatura e com a umidade relativa do ar em cada período de armazenamento (Figura 8).

Quadro 2 - Valores médios dos teores de umidade dos grãos de feijão em cada período de armazenamento

Teor de umidade de colheita (%b.u.)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Período de armazenamento (dias)			
		0	30	60	90
11,7		11,7	10,6	10,7	12,4
	30	11,7	10,6	10,7	12,4
	40	12,0	11,0	11,2	11,1
	50	11,8	10,9	11,0	11,7
	60	11,6	11,0	11,0	11,5
20,6	30	11,4	11,0	11,0	11,4
	40	12,1	10,8	11,1	11,7

50	11,7	10,9	11,0	11,3
60	11,5	10,9	10,7	11,3

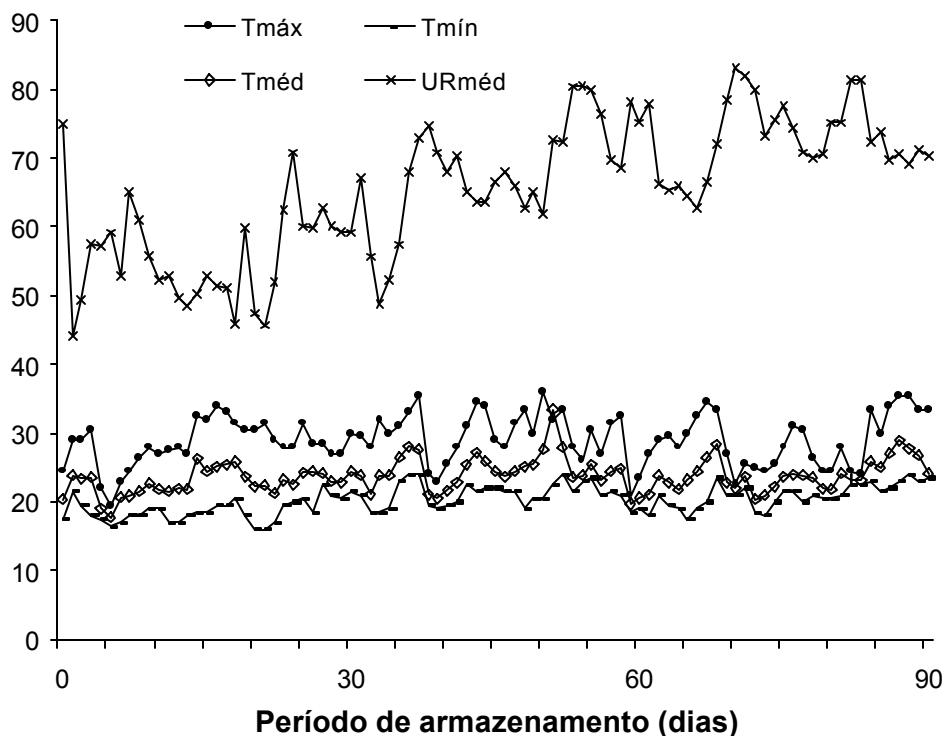


Figura 8 - Temperatura e umidade relativa do ar durante o período de armazenamento.

4.2.2. Classificação dos grãos

O resumo dos laudos de classificação dos grãos de feijão colhidos secos e depois limpos e dos grãos colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7%, após terem sido submetidos à limpeza e secagem, emitidos pelo MAARA, é apresentado no Quadro 3. Verifica-se que os grãos colhidos com 11,7% de umidade foram classificados como do tipo 3, mesmo depois de limpos. Os grãos colhidos com 18,7%, independentemente da temperatura do ar de secagem, foram classificados como do tipo 2. Os grãos de feijão

colhidos com teor de umidade de 20,6% e secos em temperaturas do ar de secagem de 30 e 40 °C foram classificados como do tipo 2. Observa-se, porém, que ocorreu um aumento dos grãos partidos em relação aos grãos colhidos com teor de umidade de 18,7%; e nas temperaturas de 50 e 60 °C, o aumento de grãos partidos ficou mais evidenciado e, conseqüentemente, maior foi o total de grãos avariados, levando-os a serem classificados como tipo 3.

Quadro 3 - Valores médios dos grãos colhidos com diferentes teores de umidade, limpos e secos em diferentes temperaturas do ar de secagem e dos grãos colhidos secos e depois limpos, obtidos dos Laudos de Classificação de Feijão realizados pelo Ministério da Agricultura

PARÂMETROS	Teor de umidade de colheita (% b.u.)								
	11,7		18,7				20,6		
	Temperaturas do ar de secagem (°C)								
	30	40	50	60	30	40	50	60	
Tipo	3	2	2	2	2	2	3	3	
Imp. e Mat. Estranhas (%)	0,12	0,25	0,19	0,29	0,15	0,12	0,16	0,17	0,13
Manchados (%)	0,54	0,60	0,40	0,51	0,27	0,49	0,33	1,07	1,28
Amassados (%)	0,00	0,04	0,10	0,12	0,09	0,19	0,00	0,20	0,16
Partidos (%)	5,83	1,93	1,48	2,36	1,51	2,63	2,39	3,00	2,85
Quebrados (%)	1,48	0,27	0,36	0,39	0,41	0,57	0,48	0,29	0,45
Picados (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00
Total de avariados (%)	7,99	5,27	5,19	6,28	4,84	7,77	7,36	8,24	8,87

Sabendo-se que o processo de secagem pode reduzir sensivelmente a qualidade dos grãos (BROOKER et al., 1992) e que, no caso do feijão, a porcentagem de grãos partidos pode aumentar significativamente com a redução do seu teor de umidade, analisou-se o percentual de grãos partidos em função da temperatura do ar de secagem para os teores de umidade de 20,6 e 18,7%.

Os resultados da análise de variância para o percentual de grãos partidos, colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7% e secos nas temperaturas do ar de secagem de 30, 40, 50 e 60 °C (detalhes no Quadro 5A), indicam, pelo teste F, a 5% de probabilidade, que houve efeito significativo apenas do teor de umidade de colheita sobre o percentual de grãos partidos.

O Quadro 4 apresenta os resultados médios do percentual de grãos partidos para os teores de umidade de colheita de 20,6 e 18,7%. Verifica-se que o percentual de grãos partidos é maior para o teor de umidade de colheita de 20,6%, independentemente da temperatura do ar de secagem.

Quadro 4 - Valores médios do percentual de grãos partidos para os grãos colhidos com 20,6 e 18,7% de umidade após a secagem

Teor de umidade de colheita (%)	Percentual de grãos partidos (%)
18,7	1,66b
20,6	2,72a

As médias seguidas de uma mesma letra, para cada teor de umidade de colheita, não diferem significativamente entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Os demais parâmetros de qualidade dos grãos não foram comparados em razão do processo de secagem ter sido realizado com os grãos em camada estática. Com relação ao armazenamento, pode-se considerar que os grãos mantiveram a mesma classificação por tipo (Quadro 3) nos quatro períodos.

4.2.3. Condutividade elétrica

Os valores médios da condutividade elétrica da solução que contém os grãos de feijão colhidos com 20,6 e 18,7% de umidade e secos em quatro temperaturas do ar de secagem foram comparados com o valor médio da condutividade elétrica dos grãos colhidos com 11,7% de umidade depois de limpos, em cada período de armazenamento (Quadro 5). Detalhes da análise de variância encontram-se no Quadro 6A. Verifica-se que, no início do armazenamento, ou seja, logo após a secagem, os grãos colhidos com umidade de 18,7% b.u. e secos em diferentes temperaturas do ar de secagem não apresentaram diferenças significativas em relação aos grãos colhidos com 11,7% b.u. Embora aos 30 e aos 60 dias de armazenamento os grãos colhidos

com teor de umidade de 18,7% tenham diferido significativamente em relação ao tratamento testemunha, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett, quando foram secos na temperatura de 60 °C, observa-se que, aos 90 dias de armazenamento, não mais apresentaram diferença significativa. No entanto, para os grãos colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u., somente os que foram secos à temperatura de 30 °C não diferiram significativamente da testemunha. Nas demais temperaturas do ar de secagem e em cada período de armazenamento, verifica-se que, à medida que se aumentou a temperatura, maior foi a condutividade elétrica da solução que contém os grãos de feijão.

Quadro 5 - Valores médios da condutividade elétrica da solução que contém os grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade e secos em diferentes temperaturas do ar de secagem e dos grãos colhidos secos, em cada período de armazenamento

Teor da umidade de colheita (% b.u.)	Temperatura de secagem (°C)	Condutividade elétrica da solução ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)			
		Período de armazenagem (dias)			
		0	30	60	90
11,7		71,25	73,73	77,86	84,41
	30	65,95 ^{n.s.}	65,50*	74,83 ^{n.s.}	88,13 ^{n.s.}
	40	68,54 ^{n.s.}	77,10 ^{n.s.}	78,45 ^{n.s.}	86,73 ^{n.s.}
	50	69,34 ^{n.s.}	76,21 ^{n.s.}	81,99 ^{n.s.}	89,95 ^{n.s.}
18,7	60	74,94 ^{n.s.}	84,79*	84,93*	92,07 ^{n.s.}
	30	73,46 ^{n.s.}	73,15 ^{n.s.}	78,15 ^{n.s.}	85,02 ^{n.s.}
	40	77,94*	86,86*	84,89*	103,60*
	50	78,28*	83,39*	93,21*	104,65*
20,6	60	97,95*	97,58*	96,10*	108,92*

* significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste de Dunnett.; ^{n.s.} não-significativo.

Os resultados da análise de variância para a condutividade elétrica da solução que contém os grãos colhidos com teor de umidade 20,6 e 18,7% b.u. e secos nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C (detalhes no Quadro 7A) indicam, pelo teste F, que não houve efeito significativo apenas para a interação período de armazenamento e teor de umidade de colheita.

Para melhor visualizar o comportamento da condutividade elétrica (CE) da solução que contém os grãos de feijão colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7% b.u., secos nas temperaturas do ar de secagem, na faixa de 30 a 60 °C, e armazenados no período de zero a 90 dias, ajustaram-se modelos matemáticos em função da temperatura do ar de secagem e do período de armazenamento.

Quadro 6 - Estimativa dos coeficientes da Equação 6, para estimar a condutividade elétrica da solução que contém os grãos de feijão colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7%, em função da temperatura do ar de secagem e do período de armazenamento

U _i (% b.u.)	Parâmetros estimados						R ²
	β ₀	β ₁	β ₂	β ₃	β ₄	β ₅	
18,7	54,273	0,2091**	0,3340**	-	-	-	0,85
20,6	48,850	0,1968**	0,6937**	-	-	-	0,84

** coeficiente significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

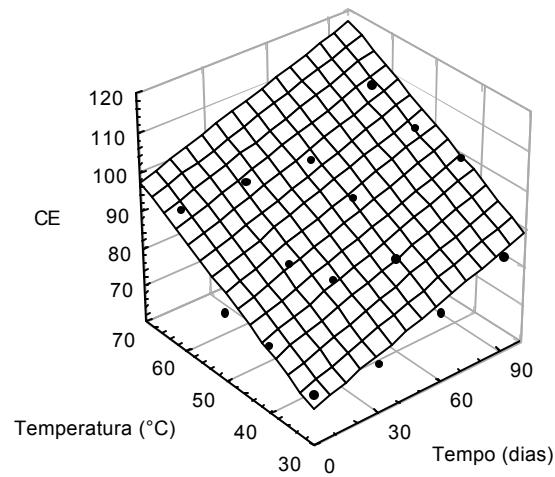
De acordo com os resultados apresentados no Quadro 6, os modelos obtidos para estimar a condutividade elétrica da solução que contém os grãos de feijão (\hat{CE}) foram:

$$\hat{CE}_{18,7} = 54,273 + 0,2091t + 0,3340T \quad (7)$$

$$\hat{CE}_{20,6} = 48,850 + 0,1968t + 0,6937T \quad (8)$$

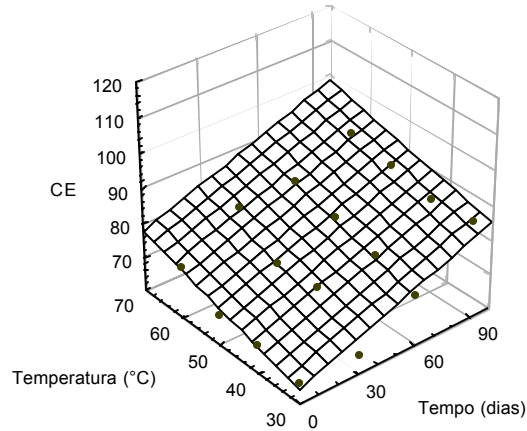
Nas Figuras 9 e 10 foram representadas as superfícies de resposta para prever a condutividade elétrica da solução que contém os grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6 e 18,7% em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento. Observa-se que a condutividade elétrica dessa solução aumentou à medida que se aumentaram a temperatura do ar de secagem e o período de armazenamento.

Estes efeitos foram mais acentuados em grãos colhidos com teor de umidade de 20,6%. Resultados semelhantes foram obtidos por AFONSO JUNIOR (1997), em estudos com sementes de feijão da variedade “Ouro Negro”. De acordo com este autor, o aumento da temperatura do ar de secagem associado ao aumento do teor de umidade de colheita resulta em maior condutividade elétrica da solução que contém os grãos.



$$\hat{CE}_{20,6} = 48,850 + 0,1968t + 0,6937T, (R^2 = 0,84; P > 0,0001; F_{\text{calc}} = 32,96; GL_{\text{res}} = 13)$$

Figura 9- Superfície de resposta para prever a condutividade elétrica (\hat{CE}) da solução que contém os grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e do período de armazenamento.



$$\hat{CE}_{18,7} = 54,273 + 0,2091t + 0,3340T, (R^2 = 0,85; P > 0,0001; F_{\text{calc}} = 65,15; GL_{\text{res}} = 13)$$

Figura 10 - Superfície de resposta para prever a condutividade elétrica (\hat{CE}) da solução que contém os grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e do período de armazenamento.

Sabendo-se que o valor de condutividade elétrica da solução que contém os grãos está relacionado com a deterioração da membrana, pode-se afirmar que, para grãos de feijão colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7%, a melhor temperatura do ar de secagem é a de 30 °C para obter grãos com o máximo de qualidade.

Apresenta-se, nas Figuras 11 e 12, a variação da condutividade elétrica da solução que contém os grãos de feijão colhidos com 20,6 e 18,7% b.u. em função do tempo de armazenamento, para cada temperatura do ar de secagem.

Observa-se nas Figuras 11 e 12, que a condutividade elétrica da solução aumenta à medida que se aumenta o período de armazenamento, para cada temperatura do ar de secagem. Verifica-se também que a qualidade dos grãos colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u. (Figura 12) é superior à dos grãos colhidos com 20,6% (Figura 11), na mesma temperatura do ar de secagem.

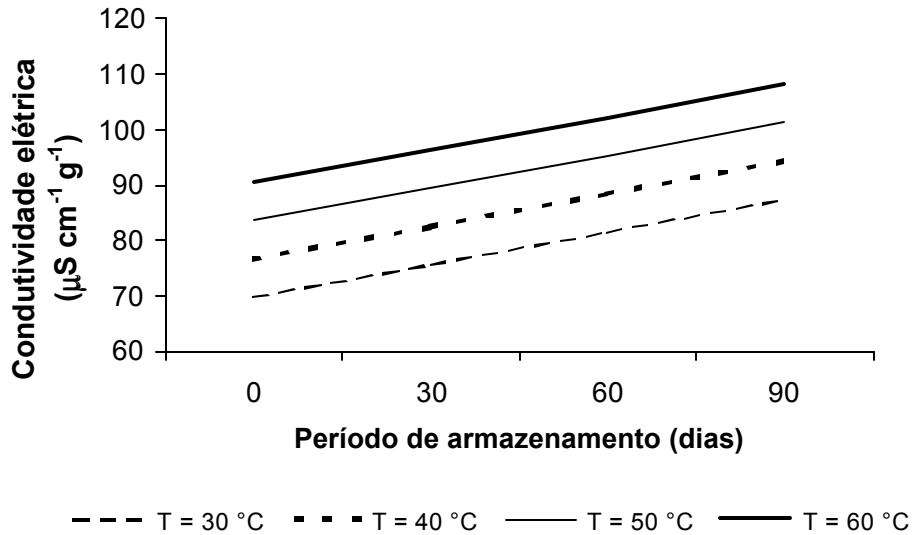


Figura 11 - Curvas estimadas para a condutividade elétrica (\hat{CE}) da solução que contém os grãos de feijão colhidos com 20,6% b.u., para cada temperatura do ar de secagem, em função do período de armazenamento.

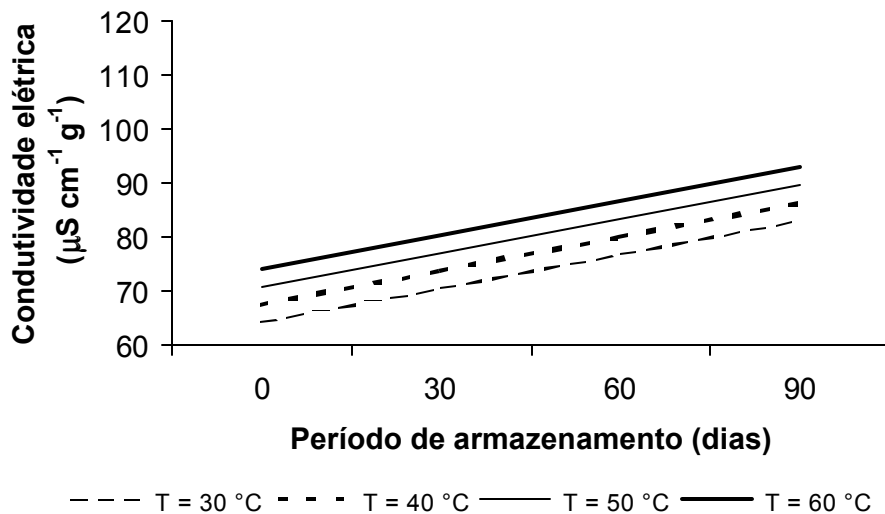


Figura 12 - Curvas estimadas para a condutividade elétrica (\hat{CE}) da solução que contém os grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u., para cada temperatura do ar de secagem, em função do período de armazenamento.

Os resultados obtidos indicam que o aumento no teor de umidade de colheita dos grãos associado ao aumento das temperaturas do ar de secagem ocasiona maiores perdas de qualidade fisiológica dos grãos ao longo do período de armazenamento. O aumento nos valores de condutividade elétrica da solução que contém os grãos de feijão durante o período de armazenamento está relacionado com a deterioração das membranas e, conseqüentemente, com a perda da sua funcionalidade. Os grãos apresentam maior perda de sólidos, que pode também estar relacionada com o endurecimento dos grãos.

4.2.4. Coloração dos grãos de feijão

As alterações ocorridas na coloração dos grãos de feijão após a secagem e em cada período de armazenamento foram avaliadas, além das Coordenadas de Hunter, pelas diferenças de cor e pelos índices cromáticos. Com os valores obtidos para as coordenadas L_H , a_H e b_H , foram calculadas as diferenças de cor (DE) e os índices cromáticos croma (C) e matiz (H).

Os valores médios das Coordenadas de Hunter, da diferença de cor e dos índices cromáticos para os grãos colhidos com 20,6 e 18,7% de umidade e secos em quatro temperaturas do ar de secagem foram comparados com os grãos colhidos com 11,7% de umidade, em cada período de armazenamento (Quadro 7). Detalhes da análise de variância encontram-se no Quadro 8A.

Verifica-se, no Quadro 7, que, com o teor de umidade de colheita de 18,7%, a coordenada L_H apenas diferiu-se da testemunha, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett, quando a temperatura do ar de secagem foi de 60 °C e depois de 60 dias de armazenamento. Com o teor de umidade de colheita de 20,6%, a coordenada L_H diferiu-se da testemunha, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett, quando a temperatura do ar de secagem foi superior a 40 °C no período de 30 a 90 dias de armazenamento. Fato semelhante ocorreu para a coordenada a_H . No entanto, a coordenada b_H , diferiu-se significativamente da testemunha, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnet, em praticamente todos os tratamentos.

Quadro 7 - Valores médios das coordenadas de Hunter para os grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade e secos em diferentes temperaturas do ar de secagem e dos grãos colhidos secos, em cada período de armazenamento

Coordenadas de Hunter	Umidade de colheita (% b.u.)	Temp. do ar de secagem (°C)	Período de armazenamento dias				
			0	30	60	90	
L _H	11,7		53,83	51,34	50,54	49,04	
		30	54,77 ^{n.s.}	52,25 ^{n.s.}	51,71 ^{n.s.}	49,27 ^{n.s.}	
		40	54,13 ^{n.s.}	51,87 ^{n.s.}	51,67 ^{n.s.}	48,99 ^{n.s.}	
		50	54,76 ^{n.s.}	53,48 ^{n.s.}	51,66 ^{n.s.}	50,27 ^{n.s.}	
	18,7	60	55,75 ^{n.s.}	52,85 ^{n.s.}	52,50*	50,41 ^{n.s.}	
		30	55,95 ^{n.s.}	52,32 ^{n.s.}	51,56 ^{n.s.}	48,44 ^{n.s.}	
		40	55,12 ^{n.s.}	51,55 ^{n.s.}	51,92 ^{n.s.}	49,20 ^{n.s.}	
		50	55,60 ^{n.s.}	54,13*	52,18*	51,10*	
	20,6	60	55,00 ^{n.s.}	53,97*	52,14 ^{n.s.}	50,81*	
		11,7		6,99	8,21	8,98	9,78
			30	6,55 ^{n.s.}	8,06 ^{n.s.}	8,69 ^{n.s.}	9,90 ^{n.s.}
			40	7,05 ^{n.s.}	8,20 ^{n.s.}	9,05 ^{n.s.}	9,96 ^{n.s.}
50	6,83 ^{n.s.}		7,84 ^{n.s.}	8,61 ^{n.s.}	9,64 ^{n.s.}		
18,7	60	7,18 ^{n.s.}	7,86 ^{n.s.}	8,69 ^{n.s.}	9,54 ^{n.s.}		
	30	6,19 ^{n.s.}	7,92 ^{n.s.}	8,73 ^{n.s.}	10,07 ^{n.s.}		
	40	6,49 ^{n.s.}	8,11 ^{n.s.}	8,59 ^{n.s.}	9,78 ^{n.s.}		
	50	6,43 ^{n.s.}	7,72 ^{n.s.}	8,52 ^{n.s.}	9,16*		
20,6	60	6,45 ^{n.s.}	7,62*	8,54 ^{n.s.}	9,36*		
	11,7		17,10	17,6	18,00	18,62	
		30	17,76 ^{n.s.}	18,72*	19,46*	20,02*	
		40	18,03*	19,60*	19,43*	19,91*	
50		19,83*	19,66*	19,33*	20,38*		
18,7	60	19,85*	19,63*	19,88*	20,37*		
	30	18,26*	18,56*	18,55 ^{n.s.}	19,64*		
	40	17,69 ^{n.s.}	18,68*	18,82*	19,44*		
	50	19,21*	18,54*	19,06*	20,20*		
20,6	60	17,33 ^{n.s.}	19,06*	19,41*	19,87*		

* significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste de Dunnett.; ^{n.s.} não-significativo.

Apresentam-se, no Quadro 8, os valores médios da diferença de cor dos grãos de feijão colhidos com 11,7% b.u. e os grãos colhidos com 18,7 e 20,6% b.u. e secos nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, em cada período de armazenamento. Verifica-se que não houve diferença significativa dos tratamentos em relação à testemunha, exceto quanto ao teor de umidade de colheita de 20,6%, quando os grãos foram secos à temperatura de 30 °C e armazenados por 60 e 90 dias e quando foram secos à temperatura de 40 °C e armazenados por 90 dias.

Quadro 8 - Valores médios da diferença de cor (DE) dos grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade e secos em diferentes temperaturas do ar de secagem e dos grãos colhidos secos, em cada período de armazenamento

	Umidade de colheita (% b.u.)	Temperatura de secagem (°C)	Período de armazenamento (dias)			
			0	30	60	90
DE	11,7		-	2,92	3,68	5,80
		30	-	3,25 ^{n.s.}	4,21 ^{n.s.}	6,92 ^{n.s.}
	18,7	40	-	3,35 ^{n.s.}	3,42 ^{n.s.}	6,16 ^{n.s.}
		50	-	1,83 ^{n.s.}	3,62 ^{n.s.}	5,37 ^{n.s.}
		60	-	3,19 ^{n.s.}	3,72 ^{n.s.}	5,90 ^{n.s.}
	20,6	30	-	4,05 ^{n.s.}	5,20*	8,59*
		40	-	4,26 ^{n.s.}	4,16 ^{n.s.}	7,12*
		50	-	2,59 ^{n.s.}	4,34 ^{n.s.}	5,49 ^{n.s.}
		60	-	2,84 ^{n.s.}	4,31 ^{n.s.}	5,87 ^{n.s.}

* significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste de Dunnett; ^{n.s.} não-significativo.

No Quadro 9 são apresentados os valores médios dos índices cromáticos croma (C) e matiz (H), em cada período de armazenamento, para os grãos colhidos com teor de umidade de 11,7% b.u. e os grãos colhidos com 18,7 e 20,6% b.u. e secos em temperaturas do ar de secagem de 30, 40, 50 e 60 °C. Verifica-se que, com o teor de umidade de colheita de 18,7%, o índice cromático C somente não diferiu-se significativamente da testemunha na temperatura do ar de secagem de 30 °C, nos períodos de zero e 30 dias de armazenamento. Com o teor de umidade de colheita de 20,6%, o índice

cromático C diferiu significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett, no tempo zero para a temperatura de 50 °C, com 30 e 60 dias na temperatura de 60 °C e com 90 dias em todas as temperaturas do ar de secagem. Analisando os valores obtidos para o índice cromático H, verifica-se que em todos os períodos de armazenamento e para os dois teores de umidade de colheita, independentemente da temperatura do ar de secagem, os valores diferiram-se significativamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett, dos da testemunha.

Quadro 9 - Valores médios dos índices cromáticos dos grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade e secos em diferentes temperaturas do ar de secagem e dos grãos colhidos secos, em cada período de armazenamento

	Umidade de colheita (% b.u.)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Período de armazenamento (dias)				
			0	30	60	90	
C	11,7		18,48	19,43	20,12	21,04	
		30	18,93 ^{n.s.}	20,39 ^{n.s.}	21,32*	22,33*	
		40	20,08*	21,25*	21,43*	22,26*	
		50	20,98*	21,17*	21,31*	22,54*	
	18,7	60	21,12*	21,14*	21,70*	22,50*	
		30	19,28 ^{n.s.}	20,18 ^{n.s.}	20,50 ^{n.s.}	22,07*	
		40	18,84 ^{n.s.}	20,36 ^{n.s.}	20,68 ^{n.s.}	21,77*	
		50	20,60*	20,08 ^{n.s.}	20,88 ^{n.s.}	22,18*	
	20,6	60	18,49 ^{n.s.}	20,53*	21,20*	21,97*	
				67,79	64,97	63,48	62,29
		18,7	30	69,77*	66,71*	65,92*	63,66*
			40	69,45*	67,29*	65,03*	63,41*
50	70,80*		68,24*	65,92*	64,67*		
60	70,12*		68,17*	66,36*	64,90*		
20,6	30	71,27*	66,90*	64,80*	62,78 ^{n.s.}		
	40	69,85*	66,53*	65,45*	63,29*		
	50	71,51*	67,39*	65,92*	65,60*		
	60	69,55*	68,20*	66,25*	64,78*		

* significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste de Dunnett.; ^{n.s.} não-significativo.

São apresentados, a seguir, os efeitos das temperaturas do ar de secagem (30, 40, 50 e 60 °C) sobre as coordenadas de Hunter (L_H , a_H e b_H), a diferença de cor (DE) e para os índices de cromaticidade matiz(H) e croma (C) dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6 e 18,7% (Quadro 8A).

Coordenadas de Hunter

Os resultados da análise de variância nas coordenadas de Hunter (Quadro 9A) indicam que houve efeito significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade, do teor de umidade de colheita, da temperatura do ar de secagem e do período de armazenamento sobre a coordenada L_H . Sobre a coordenada a_H , as interações teor de umidade de colheita e temperatura do ar de secagem e teor de umidade, temperatura do ar de secagem e período de armazenamento não apresentaram efeito significativo pelo teste F. Sobre a coordenada b_H , somente a interação período de armazenamento e teor de umidade não apresentou efeito significativo pelo teste F.

A partir da Equação 6, foram ajustados modelos matemáticos para melhor se visualizar o efeito das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento sobre as coordenadas de Hunter (L_H , a_H e b_H) nos grãos de feijão colhidos com teores de umidade 20,6 e 18,7% (Quadro 10).

Quadro 10 - Estimativa dos coeficientes da Equação 6 para prever as alterações na coloração dos grãos de feijão com teores de umidade de colheita de 20,6 e 18,7%, em função da temperatura do ar de secagem e do período de armazenamento

Ui (% b.u.)		Parâmetros estimados						R ²
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	
18,7	L _H	53,025	-0,0533**	0,0360**	-	-	-	0,91
	a _H	7,078	0,0312**	-0,0028**	-	-	-	0,97
	b _H	16,310	0,0398**	0,0603**	--	-	-0,0006 ^{n.s.}	0,81
20,6	L _H	53,387	-0,0588**	0,0405**	-	-	-	0,88
	a _H	6,996	0,0345**	-0,0099**	-	-	-	0,96
	b _H	18,269	0,0031 ^{n.s.}	-0,0036 ^{n.s.}	-	-	0,0003 ^{n.s.}	0,69

** coeficiente significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t; ^{n.s.} coeficiente não-significativo.

De acordo com os coeficientes apresentados no Quadro 10, os modelos obtidos para estimar as coordenadas de Hunter (L_H, a_H e b_H) nos grãos de feijão colhidos com 18,7 e 20,7% b.u., em função do período de armazenamento (t) e da temperatura do ar de secagem (T) foram:

$$\hat{L}_{H\ 18,7} = 53,025 - 0,0533t + 0,0360T \quad (9)$$

$$\hat{a}_{H\ 18,7} = 7,078 + 0,0315t - 0,0028T \quad (10)$$

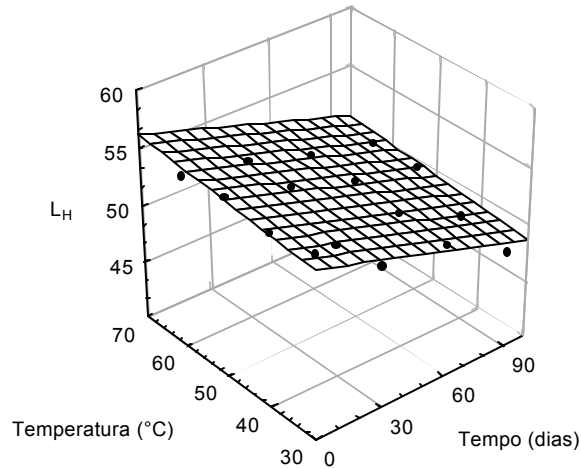
$$\hat{b}_{H\ 18,7} = 16,310 + 0,0398t + 0,0603T - 0,0006t.T \quad (11)$$

$$\hat{L}_{H\ 20,6} = 53,387 - 0,0588t + 0,0405T \quad (12)$$

$$\hat{a}_{H\ 20,6} = 6,996 + 0,0345t - 0,0099T \quad (13)$$

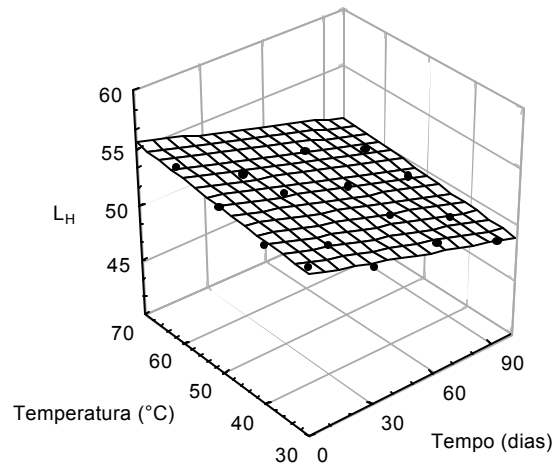
$$\hat{b}_{H\ 20,6} = 18,269 + 0,0031t - 0,0036T + 0,0003t.T \quad (14)$$

Apresentam-se, nas Figuras 13 a 18, as superfícies de resposta para prever as alterações ocorridas nas coordenadas L_H, a_H e b_H nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6 e 18,7 %, em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.



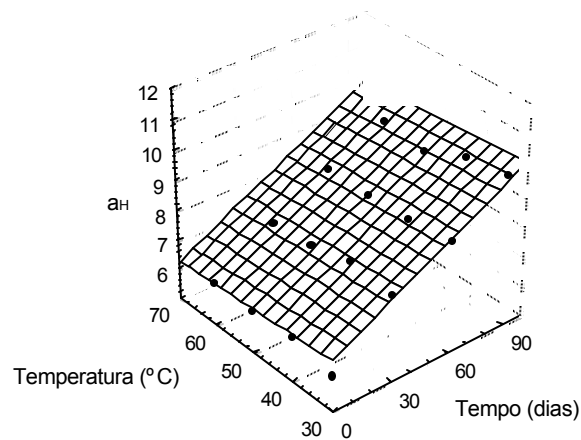
$$\hat{L}_{H\ 20,6} = 53,387 - 0,0588t + 0,0405T, (R^2 = 0,88; P > 0,0001; F_{\text{calc}} = 50,02; GL_{\text{res}} = 13)$$

Figura 13 - Superfície de resposta para estimar a Coordenada de Hunter L_H (\hat{L}_H) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.



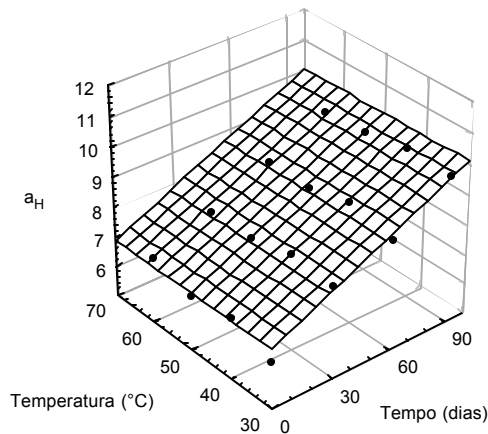
$$\hat{L}_{H\ 18,7} = 53,025 - 0,0533t + 0,0360T, (R^2 = 0,91; P > 0,0001; F_{\text{calc}} = 69,25; GL_{\text{res}} = 13)$$

Figura 14 - Superfície de resposta para estimar a Coordenada de Hunter L_H (\hat{L}_H) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.



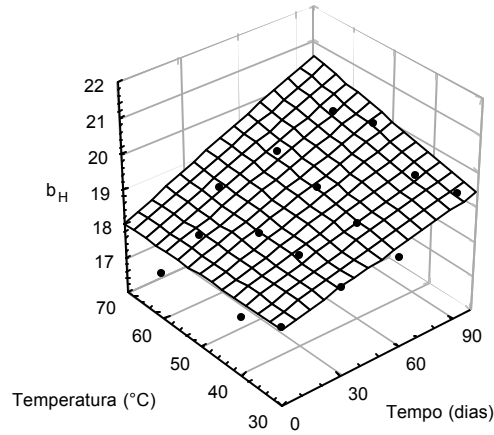
$$\hat{a}_{H\ 20,6} = 6,996 + 0,0345t - 0,0099T, (R^2 = 0,96; P > 0,0001; F_{\text{calc}} = 123,15; GL_{\text{res}} = 12)$$

Figura 15 - Superfície de resposta para estimar a Coordenada de Hunter \hat{a}_H (\hat{a}_H) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.



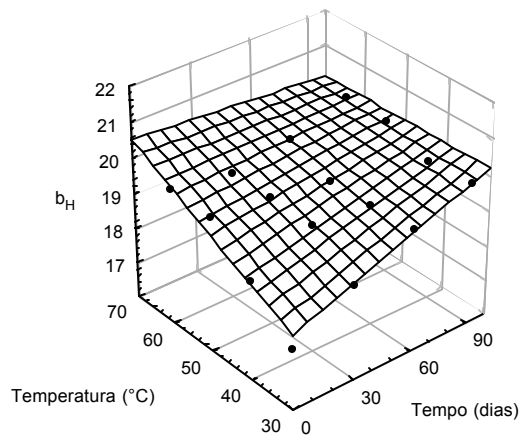
$$\hat{a}_{H\ 18,7} = 7,078 + 0,0315t - 0,0028T, (R^2 = 0,97; P > 0,0001; F_{\text{calc}} = 186,52; GL_{\text{res}} = 13)$$

Figura 16 - Superfície de resposta para estimar a Coordenada de Hunter \hat{a}_H (\hat{a}_H) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.



$$\hat{b}_{H_{20,6}} = 18,269 + 0,0031t - 0,0036T + 0,0003t.T, (R^2 = 0,69; P > 0,0022; F_{\text{calc}} = 8,94; GL_{\text{res}} = 12)$$

Figura 17 - Superfície de resposta para estimar a Coordenada de Hunter b_H (\hat{b}_H) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.



$$\hat{b}_{H_{18,7}} = 16,310 + 0,0398t + 0,0603T - 0,0006t.T, (R^2 = 0,81; P > 0,0001; F_{\text{calc}} = 17,27; GL_{\text{res}} = 12)$$

Figura 18 - Superfície de resposta para estimar a Coordenada de Hunter b_H (\hat{b}_H) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.

Observa-se, nas Figuras 13 e 14, que os valores da Coordenada L_H , nos grãos colhidos com 20,6 e 18,7% de umidade, respectivamente, decrescem com o aumento do período de armazenamento; o mesmo efeito não é observado na temperatura do ar de secagem, ou seja, a coordenada L_H mantém-se constante com o aumento da temperatura do ar de secagem nos dois teores de umidade de colheita. Pode-se inferir que, ao longo do período de armazenamento, independentemente do teor de umidade de colheita e da temperatura do ar de secagem, os grãos de feijão tendem a escurecer. Ao contrário da coordenada L_H , os valores da coordenada a_H (Figuras 15 e 16) aumentam com o período de armazenamento, significando maior intensidade da cor vermelha dos grãos colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7%. Novamente, a temperatura do ar de secagem e o teor de umidade de colheita não interferiram na coloração dos grãos. No entanto, nos grãos colhidos com teor de umidade de 18,7% (Figura 18), a temperatura do ar de secagem afetou a coordenada b_H , ou seja, os grãos apresentaram uma coloração mais amarelada quando se aumentou a temperatura do ar de secagem. Vale ressaltar, no entanto, que ao longo do período de armazenamento, os grãos que foram secos nas temperaturas de 50 e 60 °C mantiveram-se com a mesma intensidade da cor amarela; somente os grãos que foram secos nas temperaturas de 30 e 40 °C apresentaram um aumento da intensidade da cor amarela, à medida que se prolongou o período de armazenamento. Com o teor de umidade de colheita de 20,6%, além do aumento da intensidade da cor amarela, ao longo do período de armazenamento, nota-se um ligeiro aumento da coordenada b_H em função da temperatura do ar de secagem (Figura 17).

Apresenta-se, nas Figuras 19 e 20, a variação da Coordenada L_H nos grãos de feijão colhidos com 20,6 e 18,7% b.u. em função do período de armazenamento, para cada temperatura do ar de secagem.

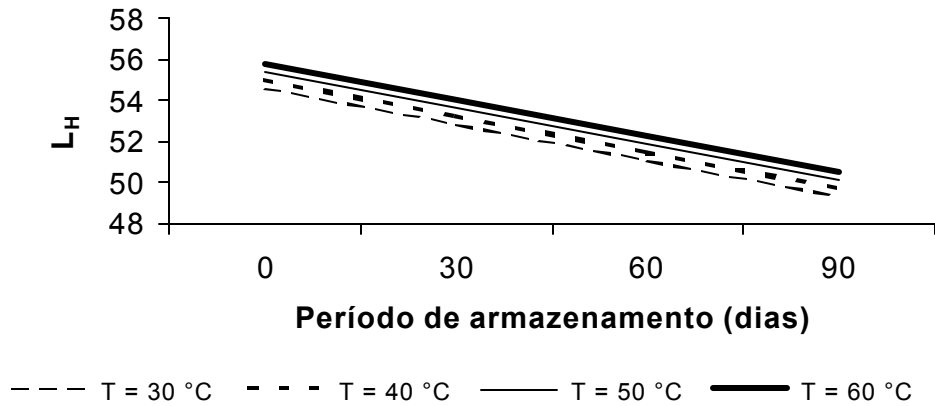


Figura 19 - Curvas estimadas para a Coordenada de Hunter (\hat{L}_H) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u. em função do período de armazenamento, para cada temperatura do ar de secagem.

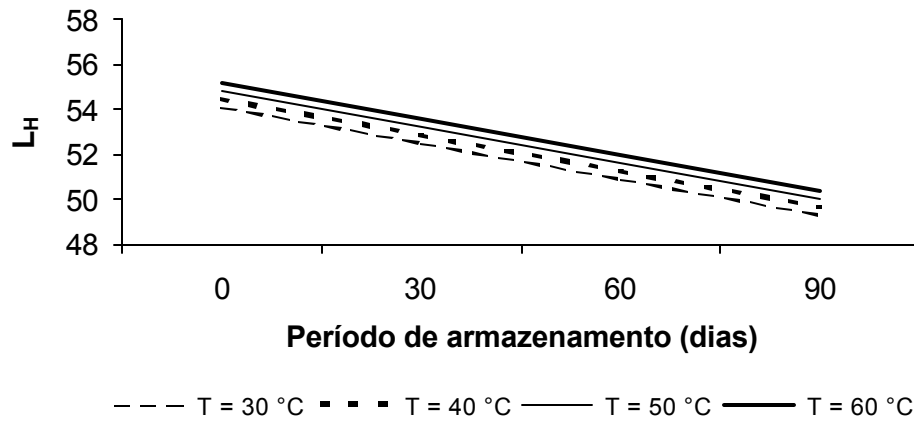


Figura 20 - Curvas estimadas para a Coordenada de Hunter L_H (\hat{L}_H) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u. em função do período de armazenamento, para cada temperatura do ar de secagem.

Observa-se, nas Figuras 19 e 20, que os valores estimados da coordenada L_H , nos dois teores de umidade de colheita e em todas as temperaturas do ar de secagem, decresceram ao longo do período de armazenamento. Verifica-se que as reduções nos valores estimados para a coordenada L_H foram da ordem de 9 e 8% para os grãos colhidos com teor de umidade de 20,6 e 18,7%, respectivamente. Esse decréscimo, associado ao aumento nos valores das coordenadas a_H e b_H , indica que, durante o período de armazenamento, os grãos de feijão tendem a escurecer, independentemente dos teores de umidade de colheita e das temperaturas do ar de secagem.

Diferenças de cor

Os resultados da análise de variância da diferença de cor (DE) (Quadro 9A) indicam que houve efeito significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade, do teor de umidade de colheita, da temperatura do ar de secagem, do período de armazenamento e da interação período de armazenamento e temperatura do ar de secagem sobre a diferença de cor dos grãos de feijão.

A partir da Equação 6, foram ajustados modelos matemáticos para melhor se visualizar o efeito das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento sobre a diferença de cor (DE) nos grãos de feijão colhidos com teores de umidade 20,6 e 18,7% (Quadro 11).

Quadro 11 - Estimativa dos coeficientes da Equação 6 para prever as diferenças de cor dos grãos de feijão com teores de umidade de colheita de 20,6 e 18,7%, em função da temperatura do ar de secagem e do período de armazenamento

Ui (% b.u.)		Parâmetros estimados						R ²
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	
18,7	DE	1,089	0,0637**	-0,0171**	-	-	-	0,93
20,6	DE	2,448	0,0712**	-0,0440**	-	-	-	0,92

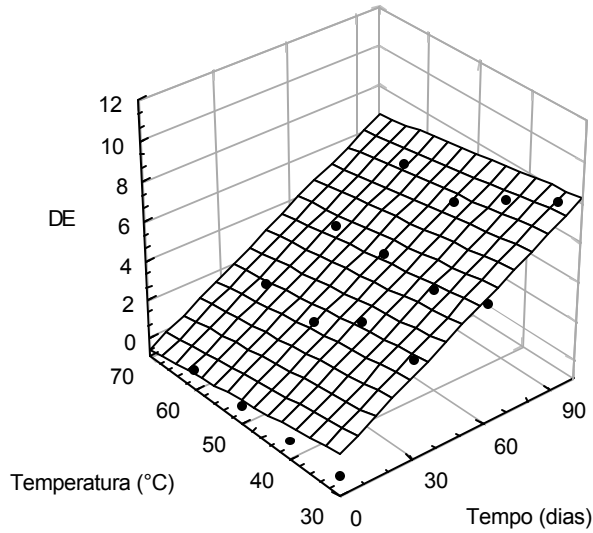
**coeficiente significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t; ^{ns} coeficiente não-significativo.

De acordo com os resultados apresentados no Quadro 11, os modelos obtidos para estimar a diferença de cor (\hat{DE}) dos grãos de feijão foram:

$$\hat{DE}_{18,7} = 1,089 + 0,0637t - 0,0171T \quad (15)$$

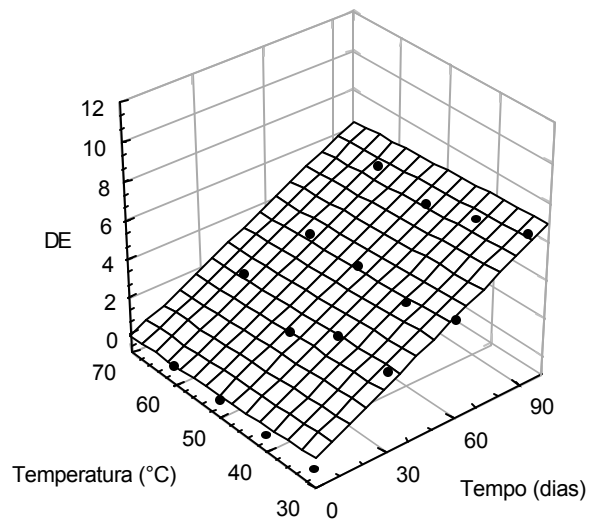
$$\hat{DE}_{20,6} = 2,448 + 0,0712t - 0,0440T \quad (16)$$

Nas Figuras 21 e 22, foram representadas as superfícies de resposta para prever a diferença de cor (DE) dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade 20,6 e 18,7% em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento. Observa-se que ocorreu um aumento na diferença de cor dos grãos de feijão ao longo do período de armazenamento, com os dois teores de umidade de colheita. Vale ressaltar, no entanto, que a diferença de cor dos grãos colhidos com teor de umidade de 20,6% foi mais acentuada que a dos grãos colhidos com 18,7%. Embora a temperatura do ar de secagem tenha tido pouca influência na diferença de cor, pode-se observar ainda, nas Figuras 21 e 22, que os grãos que foram secos em temperaturas mais baixas apresentaram maior diferença de cor.



$$\hat{DE}_{20,6} = 2,448 + 0,0712t - 0,0440T, (R^2 = 0,92; P > 0,0001; F_{\text{calc}} = 71,14; GL_{\text{res}} = 13)$$

Figura 21 - Superfície de resposta para prever a diferença de cor (\hat{DE}) dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e do período de armazenamento.



$$\hat{DE}_{18,7} = 1,089 + 0,0637t - 0,0171T, (R^2 = 0,93; P > 0,0001; F_{\text{calc}} = 87,97; GL_{\text{res}} = 13)$$

Figura 22 - Superfície de resposta para prever a diferença de cor (\hat{DE}) dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e do período de armazenamento.

As Figuras 23 e 24 apresentam a variação das diferenças de cor nos grãos colhidos com teor de umidade de 20,6 e 18,7% em função do período de armazenamento, para cada temperatura do ar de secagem. Observa-se que, com os dois teores de umidade de colheita, a diferença de cor, em todas as temperaturas do ar de secagem, aumentou durante o período de armazenamento. Observa-se, também, que a diferença de cor foi menor à medida que se aumentou a temperatura do ar de secagem, embora tenha sido mais evidente com o teor de umidade de colheita de 20,6% (Figura 24).

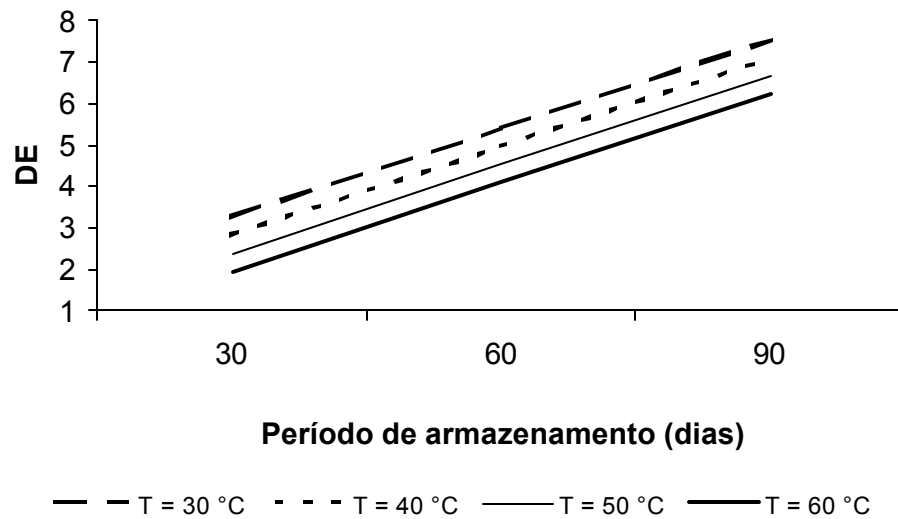


Figura 23 - Curvas estimadas para a diferença de cor (\hat{DE}) dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u., em função do período de armazenamento em cada temperatura do ar de secagem.

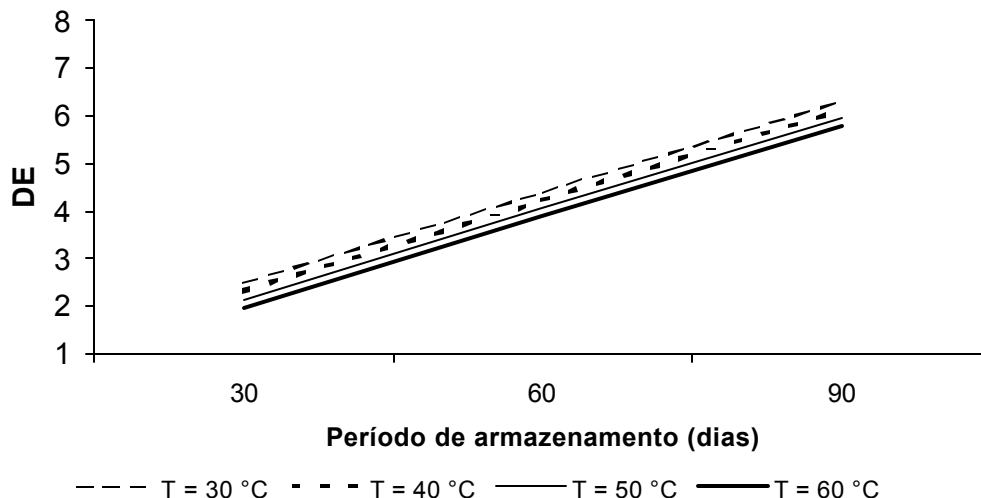


Figura 24 - Curvas estimadas para a diferença de cor (\hat{DE}) dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u., em função do período de armazenamento em cada temperatura do ar de secagem.

O aumento nos valores da diferença de cor dos grãos de feijão, durante o período de armazenamento, mostra que, ao final do período de armazenamento, os grãos apresentaram alterações na sua coloração.

Dos resultados obtidos para as coordenadas de Hunter, Figuras 13 a 20, e para as diferenças de cor (DE), Figuras 21 a 24, pode-se inferir que os grãos de feijão colhidos com maior teor de umidade tendem a maior escurecimento ao longo do período de armazenamento, independentemente da temperatura do ar de secagem.

Avaliação dos índices cromáticos de Munsell

Os resultados da análise de variância para o índice cromático de Munsell cor (C) mostraram que apenas a interação período de armazenamento e teor de umidade de colheita não apresentou efeito significativo sobre este índice (Quadro 8A). Para o índice cromático matiz (H), verificou-se que o teor

de umidade, a interação teor de umidade e temperatura do ar de secagem, e a interação teor de umidade e período e armazenamento não apresentaram efeito significativo (Quadro 8A).

A partir da Equação 6, foram ajustados modelos matemáticos para melhor se visualizar o efeito das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento sobre os valores de croma (C) e matiz (H), nos grãos de feijão colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7% (Quadro 12).

Quadro 12 - Estimativa dos coeficientes da Equação 6 para prever os índices cromáticos de Munsell croma (C) e matiz (H) nos grãos de feijão com teores de umidade de colheita de 20,6 e 18,7%, em função da temperatura do ar de secagem e período de armazenamento

Ui (% b.u.)		Parâmetros estimados						
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R^2
18,7	C	19,191	-0,0656**	0,0376**	-	-	-	0,70
	H	68,096	0,01936**	0,0276**	-	-	-	0,95
20,6	C	19,172	0,0288 ^{n.s.}	0,0031 ^{n.s.}	-	-	-	0,78
	H	68,464	-0,0689**	0,0318**	-	-	-	0,86

** coeficiente significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t; ^{n.s.} coeficiente não-significativo.

De acordo com os resultados apresentados no Quadro 12, os modelos obtidos para estimar os valores de croma (\hat{C}) e matiz (\hat{H}) nos grãos de feijão foram:

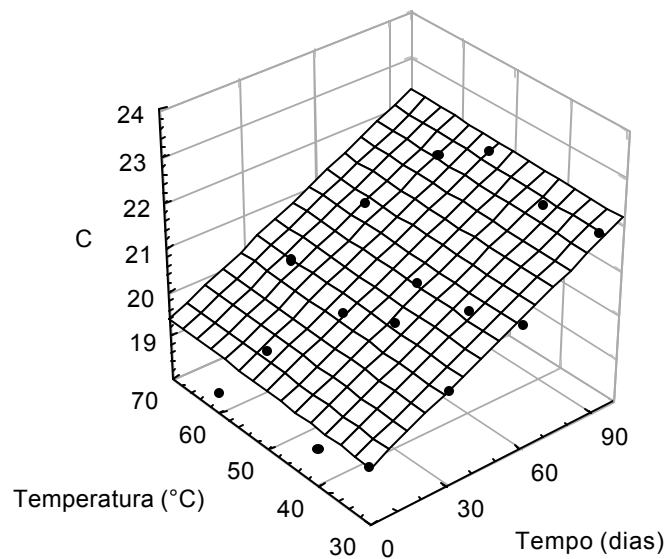
$$\hat{C}_{18,7} = 19,191 - 0,0656t + 0,0376T \quad (17)$$

$$\hat{H}_{18,7} = 68,096 - 0,0194t + 0,0276T \quad (18)$$

$$\hat{C}_{20,6} = 19,172 + 0,0288t + 0,0031T \quad (19)$$

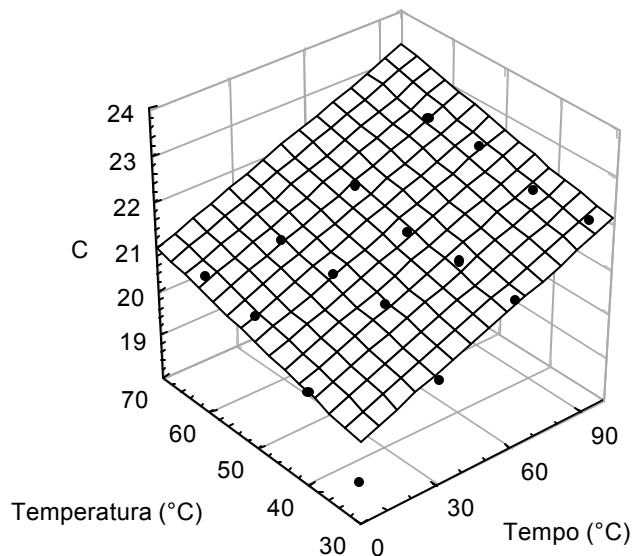
$$\hat{H}_{20,6} = 68,464 - 0,0689t + 0,0318T \quad (20)$$

Apresentam-se, nas Figuras 25 e 26, as superfícies de resposta para prever o croma (C) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6 e 18,7% em função das temperaturas do ar de secagem e do período de armazenamento. Observa-se que o índice cromático C aumentou com o período de armazenamento nos grãos colhidos nos dois teores de umidade. No entanto, observa-se que somente nos grãos colhidos com 18,7%, Figura 26, os valores do croma apresentaram um aumento mais acentuado com o aumento da temperatura do ar de secagem.



$$\hat{C}_{20,6} = 19,172 + 0,0288t + 0,0031T, \quad (R^2 = 0,78; P > 0,0001; F_{\text{calc}} = 22,95; GL_{\text{res}} = 13)$$

Figura 25 - Superfície de resposta para estimar o valor do índice cromático croma (\hat{C}) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.



$$\hat{C}_{18,7} = 19,191 - 0,0656t + 0,0376T, \quad (R^2 = 0,70; P > 0,0004; F_{\text{calc}} = 22,95; GL_{\text{res}} = 13)$$

Figura 26 - Superfície de resposta para estimar o valor do índice cromático croma (\hat{C}) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.

As Figuras 27 e 28 apresentam a variação do croma (C) para grãos colhidos com teor de umidade de 20,6 e 18,7% b.u. em função dos períodos de armazenamento, em cada temperatura do ar de secagem. Observa-se, para os dois teores de umidade de colheita, que, à medida que se aumenta o período de armazenamento, maior é o índice cromático em todas as temperaturas do ar de secagem. No entanto, para os grãos colhidos com teor de umidade de 20,6%, o aumento das temperaturas do ar de secagem tem pouca influência sobre o índice croma, que teve maior variação em função do período de armazenamento. Verifica-se, também, que o aumento das temperaturas do ar de secagem e do período de armazenamento proporcionou um aumento na intensidade da cor vermelha dos grãos colhidos com teor de umidade de 18,7%.

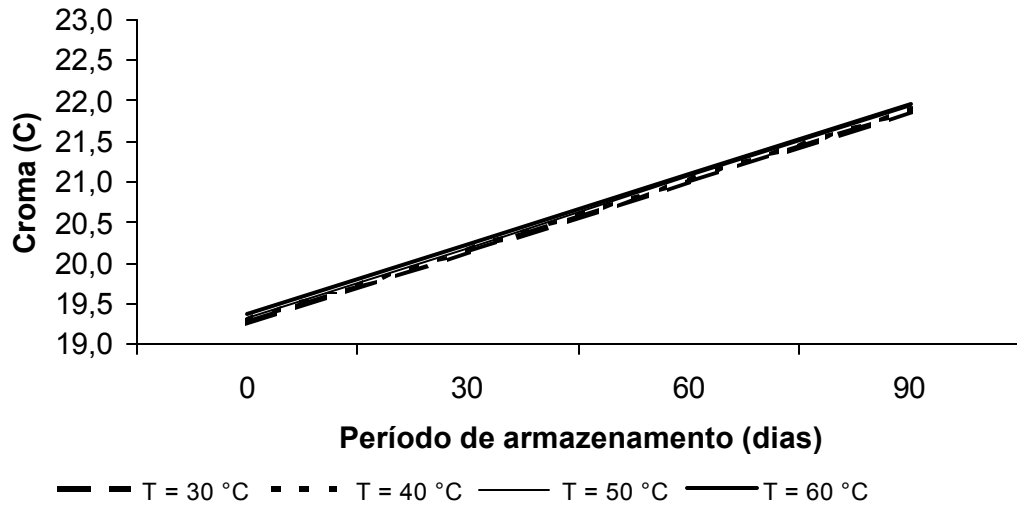


Figura 27 - Curvas estimadas para prever o croma (\hat{C}) dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u., em função do período de armazenamento em cada temperatura do ar de secagem.

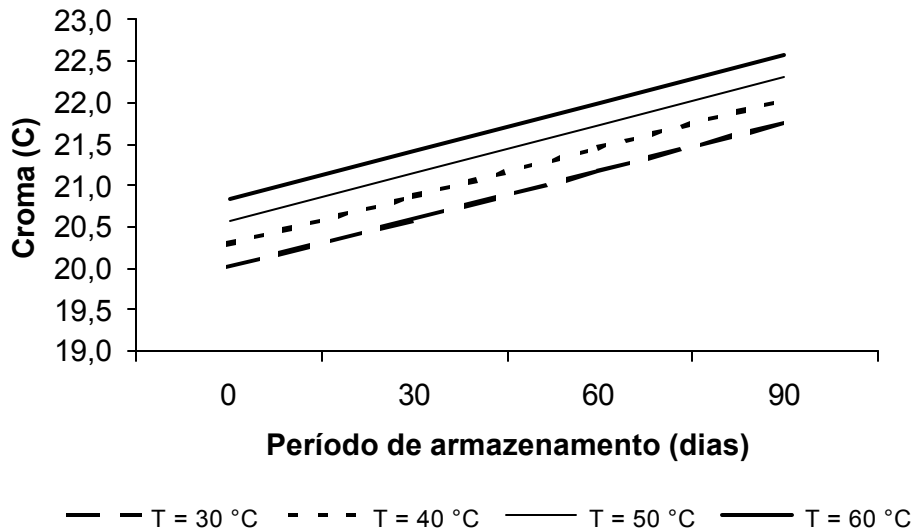
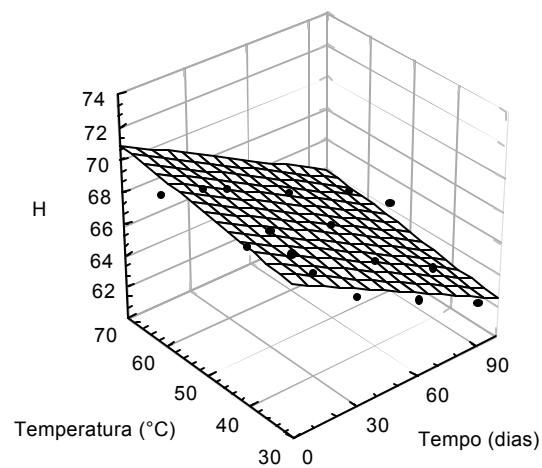


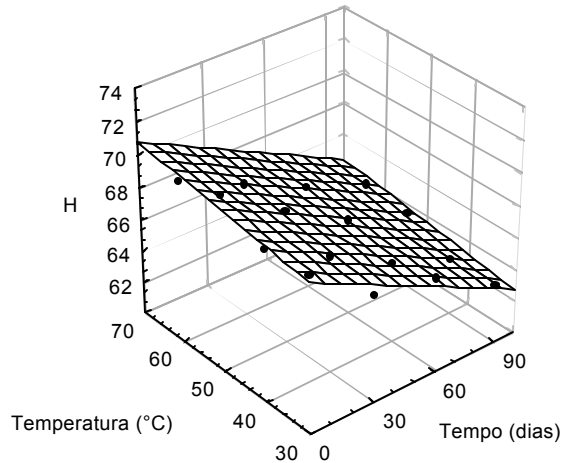
Figura 28 - Curvas estimadas do croma (\hat{C}) para os grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u., em função do período de armazenamento em cada temperatura do ar de secagem.

Apresentam-se, nas Figuras 29 e 30, as superfícies de resposta para prever a matiz (H) nos grãos de feijão colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7% em função das temperaturas do ar de secagem e do período de armazenamento. Observa-se que o índice matiz (H) decresce com o período de armazenamento nos grãos colhidos nos dois teores de umidade. Vale ressaltar, no entanto, que a temperatura do ar de secagem teve pouca influência sobre o índice matiz (H) nos dois teores de umidade de colheita.



$$\hat{H}_{20,6} = 68,464 - 0,0689t + 0,0318T, (R^2 = 0,86; P > 0,0001; F_{\text{calc}} = 40,43; GL_{\text{res}} = 13)$$

Figura 29 - Superfície de resposta para estimar o valor do índice cromático matiz (\hat{H}) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.



$$\hat{H}_{18,7} = 68,096 + 0,0194t + 0,0276T, (R^2 = 0,95; P > 0,0001; F_{\text{calc}} = 188,77; GL_{\text{res}} = 13)$$

Figura 30 - Superfície de resposta para estimar o valor do índice cromático matiz (\hat{H}) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.

Apresenta-se, nas Figuras 31 e 32, a variação do índice cromático matiz (H) nos grãos colhidos com teor de umidade de 18,7 e 20,6% b.u. em função do período de armazenamento, em cada temperatura do ar de secagem. Observa-se que, independentemente do teor de umidade de colheita e da temperatura do ar de secagem, o índice matiz (H) decresce à medida que se prolonga o período de armazenamento.

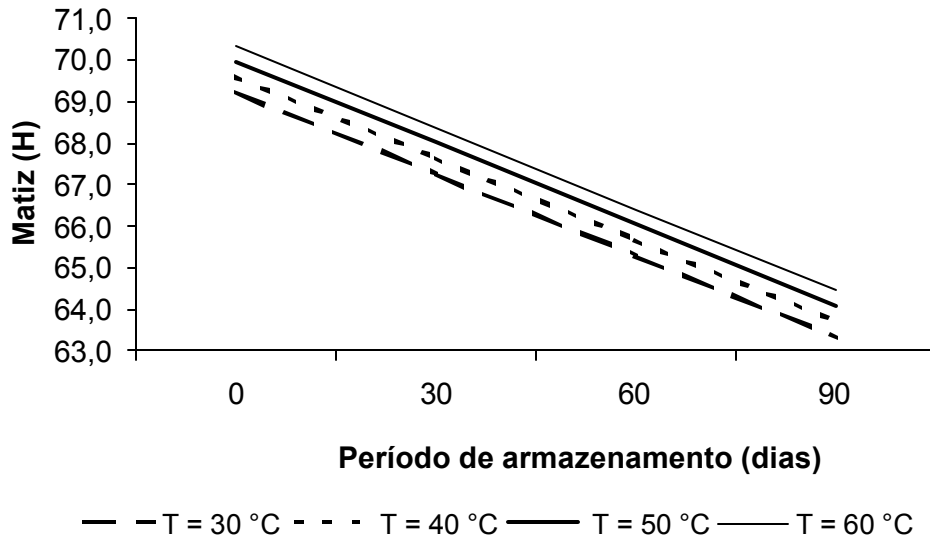


Figura 31- Curvas estimadas da matiz (\hat{H}) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u., em função do período de armazenamento em cada temperatura do ar de secagem.

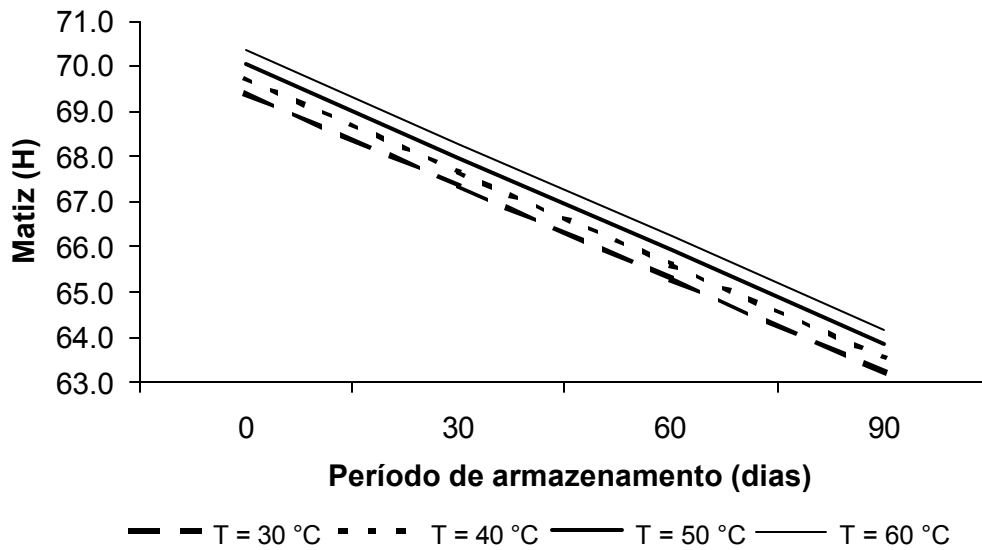


Figura 32 - Curvas estimadas do cromá (\hat{H}) nos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u. em função do período de armazenamento em cada temperatura, do ar de secagem.

4.2.5. Susceptibilidade à quebra

Os valores médios da susceptibilidade à quebra dos grãos de feijão colhidos com 20,6 e 18,7% de umidade e secos em quatro temperaturas do ar de secagem foram comparados com o valor médio de susceptibilidade à quebra dos grãos colhidos com 11,7% de umidade, em cada período de armazenamento (Quadros 13 e 10A). Verifica-se que, logo depois da secagem, os grãos de feijão que foram secos nas temperaturas de 30 e 40 °C foram menos susceptíveis à quebra do que os grãos que foram colhidos secos. No entanto, 30 dias depois da secagem, os grãos colhidos com 18,7% de umidade e secos nas temperaturas do ar de secagem: 30, 40 e 50 °C e os colhidos com 20,6% e secos na temperatura de 30 °C apresentaram a mesma susceptibilidade à quebra que os grãos colhidos secos; uma possível explicação é que este aumento da susceptibilidade destes grãos à quebra pode estar relacionado com a redução do teor de umidade (Quadro 2). Embora tenha ocorrido, também, uma redução do teor de umidade dos grãos dos demais tratamentos, observa-se que os grãos foram ainda mais susceptíveis à quebra do que os colhidos com 11,7% de umidade, sugerindo o efeito latente da temperatura do ar de secagem nos grãos colhidos com 18,7% e secos na temperatura de 60 °C e nos grãos colhidos com 20,6% e secos nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. Aos 60 dias de armazenamento, observa-se que houve uma tendência dos grãos colhidos com teor de umidade de 18,7% e secos nas temperaturas de 30 e 40 °C e os colhidos com 20,6% e secos a 30 °C tornarem-se menos susceptíveis à quebra do que os grãos colhidos secos. Novamente, a explicação para este fato pode estar relacionada com o aumento do teor de umidade do grão neste período (Quadro 2), em razão do aumento da umidade relativa do ar no mesmo tempo. Para os demais tratamentos, observa-se uma redução da susceptibilidade à quebra, mas os valores são superiores aos dos grãos colhidos secos, indicando, mais uma vez, o efeito latente da temperatura do ar de secagem. Aos 90 dias de armazenamento, a susceptibilidade dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% e secos nas temperaturas do ar de 30 e 40 °C, os colhidos com 20,6% e secos na temperatura de 30 °C e os colhidos secos é ainda menos acentuada, confirmando, assim, o efeito do teor de umidade (Quadro 2)

na susceptibilidade à quebra desses grãos. Para os demais tratamentos, observa-se, além do efeito do teor de umidade dos grãos neste período, o efeito da temperatura do ar de secagem.

Quadro 13- Valores médios da susceptibilidade à quebra dos grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade e secos em diferentes temperaturas do ar de secagem e dos grãos colhidos secos em cada período de armazenamento

Teor de umidade de colheita (% b.u.)	Temperatura de secagem (°C)	Susceptibilidade à quebra (%)			
		Período de armazenagem (dias)			
		0	30	60	90
11,7		30,66	32,31	28,84	12,30
	30	12,81*	34,98 ^{n.s.}	23,27*	12,96 ^{n.s.}
18,7	40	17,69*	31,35 ^{n.s.}	20,87*	14,52 ^{n.s.}
	50	30,93 ^{n.s.}	30,50 ^{n.s.}	30,71 ^{n.s.}	28,23*
	60	30,90 ^{n.s.}	41,55*	35,85*	30,56*
20,6	30	13,97*	32,05 ^{n.s.}	16,79*	11,63 ^{n.s.}
	40	23,21*	42,67*	29,39 ^{n.s.}	24,76*
	50	31,42 ^{n.s.}	37,90*	34,71*	25,12*
	60	27,20 ^{n.s.}	37,65*	36,39*	19,52*

* significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste de Dunnett.; ^{n.s.} não-significativo.

São apresentados, a seguir, os efeitos das temperaturas do ar de secagem (30, 40, 50 e 60 °C) sobre a susceptibilidade à quebra dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6 e 18,7%. Os resultados da análise de variância da susceptibilidade à quebra dos grãos (detalhes no Quadro 11A) mostraram que esta sofreu efeito significativo, pelo teste F, a 1% de probabilidade, do teor de umidade de colheita, da temperatura do ar de secagem, do período de armazenamento e das interações destes fatores.

Para melhor visualizar o comportamento da susceptibilidade à quebra dos grãos de feijão colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7% b.u., secos nas temperaturas do ar de 30 a 60 °C, armazenados no período de zero a 90 dias, ajustaram-se modelos matemáticos (\hat{S}) em função da temperatura do ar de secagem e do período de armazenamento.

Quadro 14 - Estimativa dos coeficientes da Equação 6, para prever a susceptibilidade à quebra dos grãos de feijão colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7%, em função da temperatura do ar de secagem e do período de armazenamento

Ui (% b.u.)	Parâmetros estimados						R ²
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	
18,7	1,4936	0,4022**	0,5012**	-0,0049**	-	-	0,74
20,6	8,3434	0,5025**	0,3702**	-0,0063**	-	-	0,69

** coeficiente significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

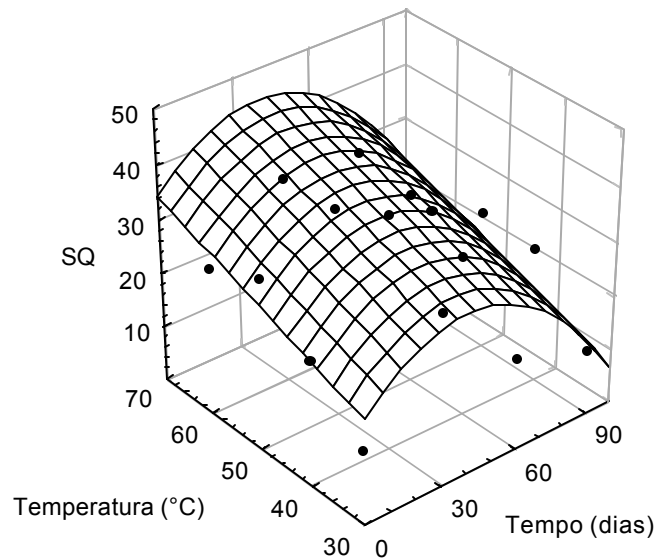
De acordo com os resultados apresentados no Quadro 14, os modelos obtidos para estimar a susceptibilidade à quebra dos grãos (\hat{S}) foram:

$$\hat{S}_{18,7} = 1,4936 + 0,4022t + 0,5012T - 0,0049t^2 \quad (23)$$

$$\hat{S}_{20,6} = 8,3434 + 0,5025t + 0,3702T - 0,0063t^2 \quad (24)$$

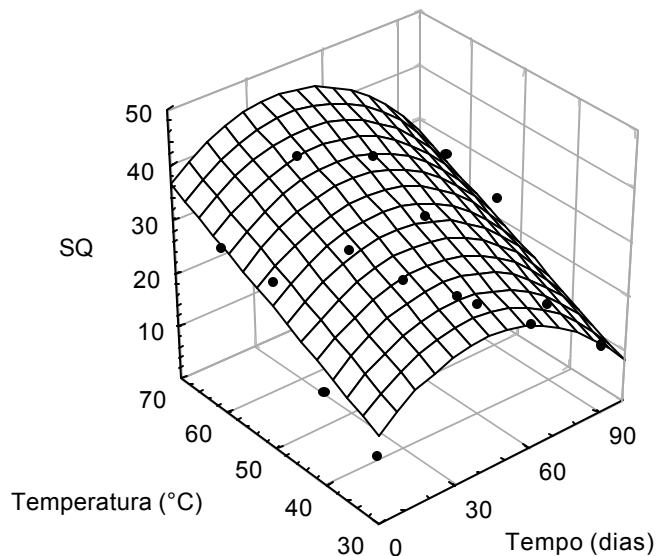
Nas Figuras 33 e 34, foram representadas as superfícies de resposta para prever a susceptibilidade à quebra dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6 e 18,7% em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento. Observa-se que a susceptibilidade à quebra dos grãos de feijão colhidos com 20,6 (Figura 33) e a dos grãos colhidos com 18,7% b.u. (Figura 34) apresentaram um comportamento semelhante; logo depois da secagem, os grãos de feijão foram mais susceptíveis à quebra à medida que se aumentou a temperatura do ar de secagem; esta tendência ocorreu até 30 dias de armazenamento, quando, então, observou-se que a susceptibilidade à quebra dos grãos permaneceu praticamente constante no intervalo de 30 a 60 dias. A partir dos 60 dias de armazenamento, a susceptibilidade à quebra dos grãos, nos dois teores de umidade, apresentou um decréscimo, tendendo a se aproximar do comportamento apresentado imediatamente após a secagem. Uma possível explicação para estes

resultados é que podem estar relacionados com o teor de umidade dos grãos no mesmo período (Quadro 2). Vale ressaltar que estes resultados diferiram-se dos obtidos por AFONSO JÚNIOR (1992), que observou que, à medida que se aumenta a temperatura do ar de secagem, se aumenta a susceptibilidade à quebra dos grãos de feijão da variedade "Ouro Negro 1992". Este autor relata, também, que, independentemente da temperatura do ar de secagem, à medida que se aumenta o teor de umidade de colheita, aumenta-se a susceptibilidade à quebra dos grãos de feijão imediatamente após a colheita. Resultados semelhantes também foram observados por SILVA (1997), quando realizou as colheitas mecânica e manual de milho, de variedade dura e da semidura.



$$\hat{S}_{20,6} = 8,3434 + 0,5025t + 0,3702T - 0,0063t^2, (R^2 = 0,69; P > 0,0023; F_{\text{calc}} = 8,80; GL_{\text{res}} = 12)$$

Figura 33 - Superfície de resposta para estimar a susceptibilidade à quebra (\hat{S}) dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.



$$\hat{S}_{18,7} = 1,4936 + 0,4022t + 0,5012T - 0,0049t^2, (R^2 = 0,74; P > 0,0008; F_{\text{calc}} = 11,35; GL_{\text{res}} = 12)$$

Figura 34 - Superfície de resposta para estimar a susceptibilidade à quebra (\hat{S}) dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.

Apresentam-se, nas Figuras 35 e 36, a variação da susceptibilidade à quebra dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6 e 18,7% em função dos períodos de armazenamento, para cada temperatura do ar de secagem. Observa-se que, nos dois teores de umidade de colheita, independentemente da temperatura do ar de secagem, a susceptibilidade à quebra aumentou depois de 30 dias de armazenamento. No período de 30 a 60 dias, manteve-se praticamente constante, quando, então, voltou a decrescer.

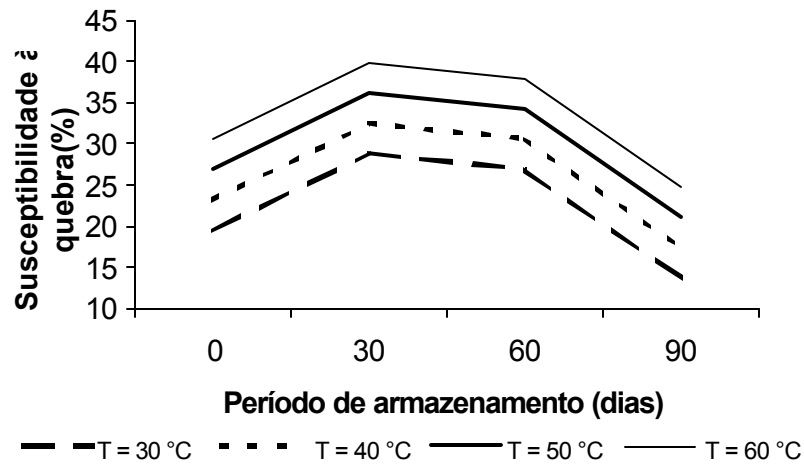


Figura 35 - Superfície de resposta para estimar a susceptibilidade à quebra (\hat{S}) dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u., em função das temperaturas do ar de secagem e dos períodos de armazenamento.

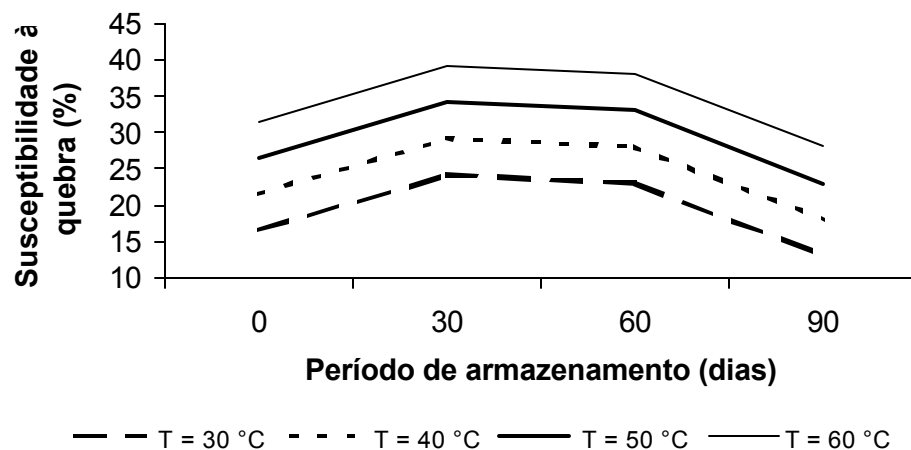


Figura 36 - Curvas estimadas para a susceptibilidade à quebra (\hat{S}) de grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u., para cada temperatura do ar de secagem, em função do período de armazenamento.

4.2.6. Endurecimento dos grãos de feijão

O endurecimento dos grãos, em cada período de armazenamento, foi avaliado pela força de compressão e pela deformação específica necessária para a ruptura macroestrutural de grãos individuais. A Figura 37 mostra uma curva típica para a compressão dos grãos de feijão; neste caso, o produto encontrava-se com um teor de umidade de 11,7% b.u. É mostrado também, nesta figura, o ponto da curva considerado como o ponto de ruptura macroestrutural. As curvas de compressão dos grãos colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7% b.u. apresentaram o mesmo comportamento, durante o período de armazenamento em todas as temperaturas do ar de secagem.

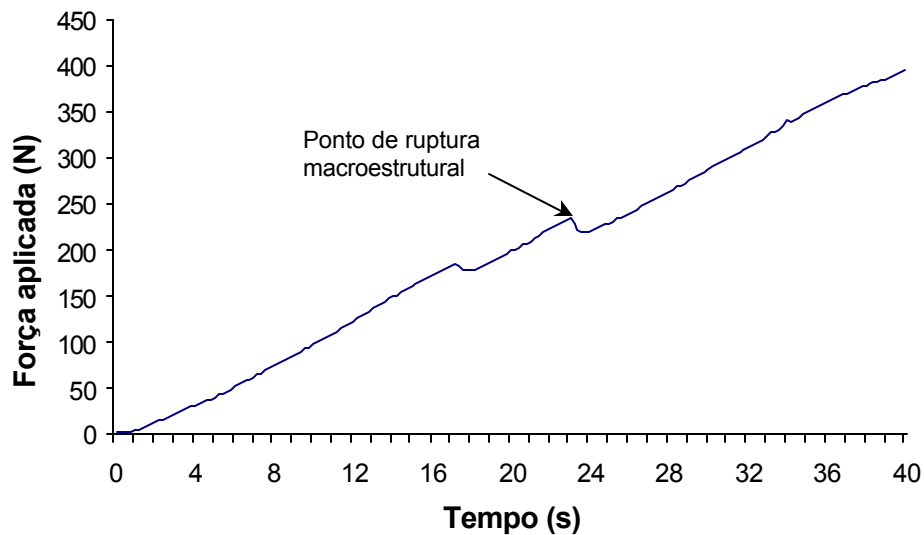


Figura 37 - Curva típica do comportamento dos grãos de feijão durante a aplicação de força nos ensaio de compressão.

Força

Na Figura 38 são apresentados os valores médios experimentais da força de compressão necessária para a ruptura macroestrutural dos grãos de feijão colhidos com teores de umidade de 11,7% b.u. (secos no campo); de

20,6 e 18,7% b.u. (secos artificialmente nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C), todos armazenados durante períodos de 0, 30, 60 e 90 dias.

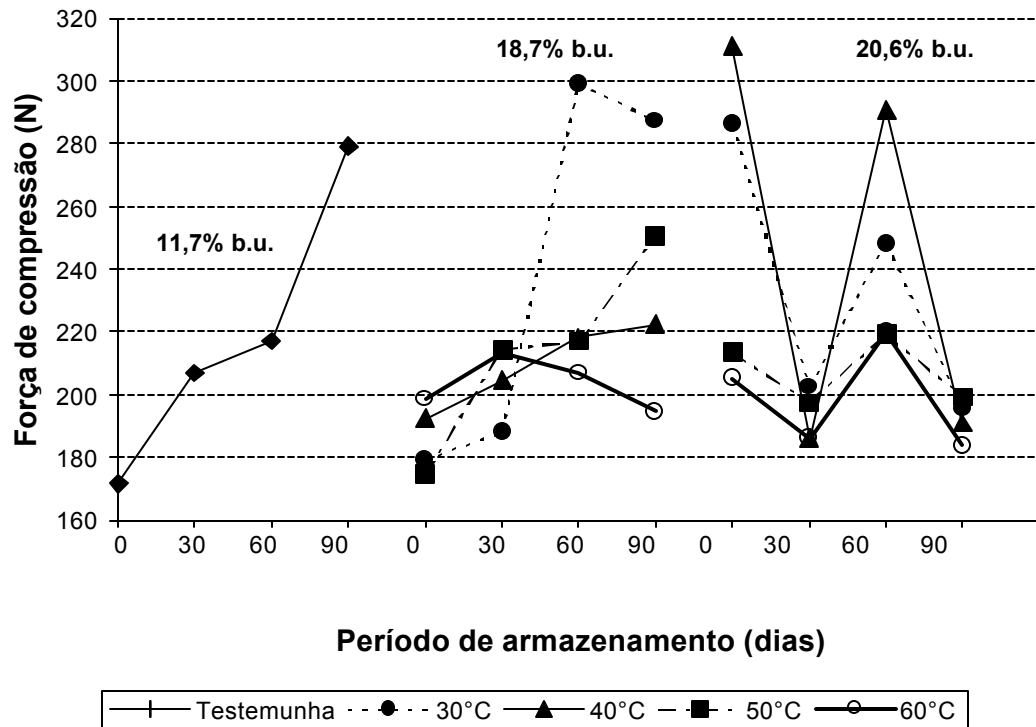


Figura 38 - Valores médios experimentais da força específica necessária à ruptura macroestrutural dos grãos de feijão.

Na Figura 38, observa-se que a força de compressão necessária para a ruptura macroestrutural dos grãos de feijão da amostra testemunha, grãos colhidos com 11,7% de umidade, apresentou um aumento ao longo do período de armazenamento. Este resultado, considerando que os grãos mais duros necessitam de maior força de compressão para a ruptura, indica que estes grãos sofreram um endurecimento durante o período de armazenamento. Observa-se, também, que, ao final de 90 dias de armazenamento, a força necessária para a ruptura foi cerca de 60% maior do que a necessária no início do período de armazenamento. Observando o comportamento dos grãos

colhidos com 18,7% nas diversas temperaturas do ar de secagem, nota-se que, no início do armazenamento, houve um aumento nos valores de força para a ruptura, indicando que ocorreu um endurecimento dos grãos; nas temperaturas de 50 e 60 °C, os valores desta grandeza parecem maiores. Este comportamento foi mantido, ao longo do período de armazenamento, pelos grãos colhidos com 18,7% de umidade e secos nas temperaturas de 40 e 50 °C, ou seja, estes apresentaram um aumento no valor de força necessária para a ruptura macroestrutural e, conseqüentemente, o endurecimento dos grãos. Vale ressaltar que os grãos secos na temperatura de 30 °C apresentaram as maiores variações na força necessária para a ruptura.

Para os grãos colhidos com 20,6% de umidade, a força necessária para a ruptura não apresentou uma tendência definida, uma vez que ela cresceu e decresceu ao longo do período de armazenamento. Este comportamento sugere que o endurecimento dos grãos colhidos com 20,6% de umidade aumentou e diminuiu ao longo do período de armazenamento, o que contraria todas as informações sobre o endurecimento de grãos disponíveis na literatura. No Quadro 14, são apresentados, para cada período de armazenamento investigado, os valores médios (com os respectivos coeficientes de variação) da força de compressão necessária para ruptura de grãos de feijão colhidos com 11,7% b.u. e aqueles requeridos para os grãos que, após a colheita com 20,6 e 18,7% b.u., foram submetidos à secagem nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C. Maiores detalhes encontram-se no Quadro 12A. Verifica-se, como acontece com a maioria dos produtos agrícolas, que ocorreu uma grande variação nos valores de força de compressão para a ruptura macroestrutural dos grãos de feijão. O coeficiente de variação médio, para todos os testes, foi da ordem de 29%, variando de 18,94% (grãos colhidos com teor de umidade de 11,7% b.u., no início do armazenamento) até 42,95% (grãos colhidos com 20,6% e secos a 40 °C, após 30 dias de armazenamento).

Em média, as menores variações da força de ruptura ocorreram após o período de 90 dias de armazenamento; grãos colhidos com 11,7 e 18,7% b.u., secos a 30 °C, apresentaram as menores variações (em torno de 18%), enquanto que os colhidos com 20,6% b.u. e secos a 40 °C apresentaram a maior variação (33,23%).

Na Figura 37, foi apresentada uma curva típica de compressão de grãos de feijão. Deve-se ressaltar que nem todas as curvas apresentaram os dois picos, como ilustrado na figura, e apenas aquelas que o fizeram foram analisadas. A força correspondente ao segundo pico foi considerada como a de ruptura macroestrutural dos grãos. Alguns testes preliminares mostraram que somente após o segundo pico conseguia-se detectar, visualmente, rachaduras no tegumento do grão.

O Quadro 15 apresenta, também, os resultados do teste de Dunnett (a 5% de probabilidade), aplicado na comparação entre cada valor médio de força exibido no quadro e aqueles de grãos colhidos com 11,7% b.u. (testemunha). Observa-se que os grãos colhidos com umidade de 18,7% b.u. apresentaram diferença significativa nos valores de força de compressão para a ruptura macroestrutural, em relação à testemunha, somente na temperatura de 30 °C, no período de 60 dias de armazenamento, e nas temperaturas de 40 e 60 °C, no período de 90 dias. Os grãos colhidos com umidade de 20,6% b.u. apresentaram efeito significativo, em relação à testemunha, em todas as temperaturas do ar de secagem, no início do armazenamento; na temperatura do ar de 40 °C, depois de 60 dias; e em todas as temperaturas após 90 dias de armazenamento. Verifica-se, pelos resultados obtidos, que os grãos colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u. apresentaram os maiores valores de força de ruptura macroestrutural, independentemente das temperaturas do ar de secagem, no início do armazenamento, quando comparados com os grãos colhidos com teor de umidade de 11,7% b.u., no entanto, no período de 90 dias, estes valores foram menores.

Quadro 15 - Valores médios, e os respectivos coeficientes de variação, da força de compressão necessária para a ruptura macroestrutural dos grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade e secos em diferentes temperaturas do ar de secagem, e dos grãos colhidos secos, em cada período de armazenamento

Teor de umidade de colheita (% b.u.)	Temperatura de secagem (°C)	Força de ruptura macroestrutural (N)							
		Período de armazenagem (dias)							
		0		30		60		90	
		Força	CV(%)	Força	CV(%)	Força	CV(%)	Força	CV(%)
11,7		171,78	18,94	206,94	28,24	217,16	27,39	279,25	18,38
	30	179,04 ^{n.s.}	22,27	188,14 ^{n.s.}	32,00	299,22*	21,35	287,26 ^{n.s.}	18,89
18,7	40	192,42 ^{n.s.}	30,50	204,60 ^{n.s.}	36,71	218,28 ^{n.s.}	26,28	222,34*	27,73
	50	174,51 ^{n.s.}	41,50	214,33 ^{n.s.}	39,02	217,12 ^{n.s.}	34,13	250,35 ^{n.s.}	26,17
	60	198,69 ^{n.s.}	29,06	213,59 ^{n.s.}	29,53	206,90 ^{n.s.}	23,71	194,62*	29,13
	30	286,17*	25,45	202,49 ^{n.s.}	33,79	248,07 ^{n.s.}	25,29	195,55*	28,34
20,6	40	311,10*	23,62	186,07 ^{n.s.}	42,95	290,97*	29,50	191,04*	33,23
	50	213,60*	35,01	197,37 ^{n.s.}	32,27	219,24 ^{n.s.}	30,64	199,32*	27,93
	60	205,24*	39,04	186,08 ^{n.s.}	33,54	219,84 ^{n.s.}	32,66	183,80*	28,35

* significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste de Dunnett.; ^{n.s.} não-significativo.

São apresentados, a seguir, os efeitos das temperaturas do ar de secagem (30, 40, 50 e 60 °C) sobre a força para ruptura dos grãos de feijão colhidos com teor de umidade de 20,6 e 18,7%. Os resultados da análise de variância para a força de compressão necessária para a ruptura macroestrutural dos grãos (detalhes no Quadro 13A) indicam, pelo teste F, a 1% de probabilidade, que todos os fatores, exceto o teor de umidade de colheita, apresentaram efeito significativo sobre a força de compressão.

Observa-se que o comportamento da força de ruptura em função da temperatura do ar de secagem (Quadro 15) alterou-se ao longo do período de armazenamento. No início do armazenamento (tempo zero), verifica-se que a força de ruptura torna-se maior à medida que se aumenta a temperatura do ar de secagem. Após determinado período de armazenamento, a força requerida para ruptura dos grãos aumenta, ao longo do período de armazenamento, com uma diminuição da temperatura à qual o grão ficou submetido durante a secagem. É interessante notar que, quando os grãos são secos a 60 °C, a força requerida para a ruptura do produto permanece, praticamente, constante ao longo do período de armazenamento. Este fato parece indicar algum tipo de estabilização no comportamento mecânico do produto. Como o endurecimento dos grãos de feijão não é um processo reversível, esses resultados podem indicar, também, um efeito latente das temperaturas do ar de secagem na resistência dos grãos de feijão. É interessante notar que a temperatura de secagem pode tornar o produto mais quebradiço devido às trincas formadas no interior do material, devido às tensões térmicas decorrentes do processo. Isto poderia resultar em uma força menor para a ruptura do grão.

Para grãos colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7% b.u., foram ajustados modelos matemáticos na tentativa de prever a força de ruptura (\hat{F}) em função da temperatura do ar de secagem (T), de 30 a 60 °C, e do período de armazenamento (t), de zero a 90 dias. Estes modelos podem ser expressos por:

$$\hat{F}_{18,7} = 149,789 + 2,4811t + 0,8534T - 0,0412t.T \quad (R^2 = 0,69) \quad (25)$$

$$\hat{F}_{20,6} = 220,997 \quad (26)$$

Deformação

Na Figura 39, são apresentados os valores médios experimentais da deformação específica necessária para a ruptura macroestrutural dos grãos de feijão colhidos com umidades de 11,7% b.u. (secos no campo); de 20,6 e 18,7% b.u. (secos artificialmente nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C), todos armazenados durante períodos de 0, 30, 60 e 90 dias.

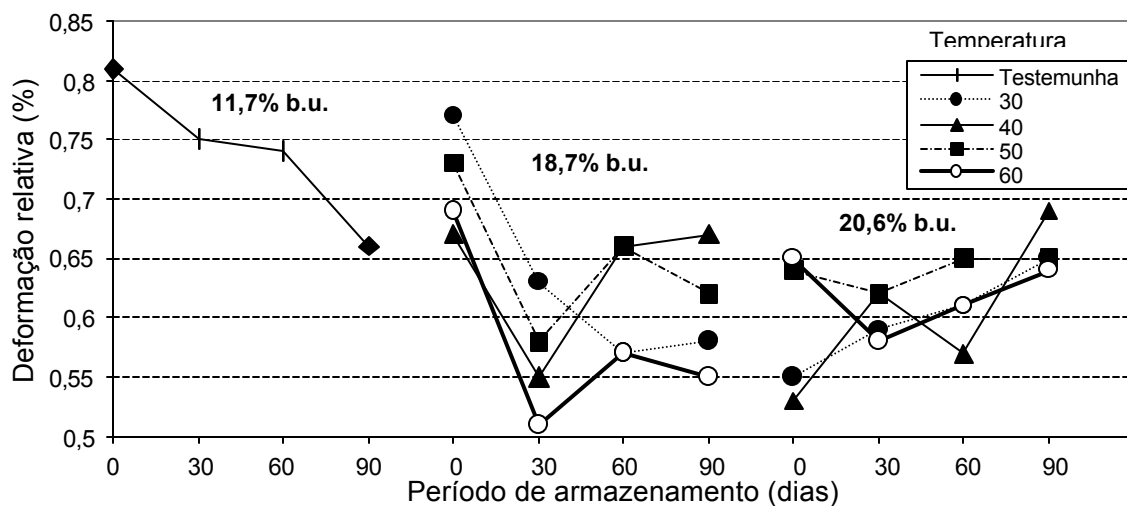


Figura 39 - Valores médios experimentais da deformação específica necessária à ruptura macroestrutural dos grãos de feijão.

Observa-se que os valores da deformação específica dos grãos da amostra testemunha (colhidos a 11,7% b.u.) mostram uma tendência a decrescer ao longo do período de armazenamento. Baseado na hipótese de que “uma maior deformação de um grão está relacionada com uma maior maciez do produto”, pode-se verificar que ocorreu um endurecimento dos grãos (testemunha) ao longo do período de armazenamento.

Se for observado o comportamento da deformação das amostras, colhidas a 18,7% b.u. e secas em diferentes temperaturas, nota-se que, no início do

armazenamento, os valores desta grandeza foram os maiores, indicando maior maciez. Após 30 dias de armazenamento, os valores decrescem, provavelmente, indicando um endurecimento dos grãos. A partir deste período os valores das deformações tendem a crescer (60 dias) e a decrescer (90 dias). Este fato, já que o processo de endurecimento é irreversível, é fisicamente impossível.

Mudanças ao longo do período de armazenamento, relativas a aumentos e diminuições nas deformações requeridas para a ruptura de grãos de feijão colhidos a 20,6% b.u. e secos em diferentes temperaturas, podem, também, ser observadas na Figura 39. Neste caso, parece que a faixa de variação dos valores desta grandeza é menor do que a das amostras colhidas nos outros teores de umidade.

No Quadro 16, são apresentados os valores médios experimentais, com os respectivos coeficientes de variação, da deformação específica necessária para a ruptura macroestrutural dos grãos de feijão colhidos com 11,7% b.u. (secos no campo); e com 20,6 e 18,7% b.u. (secos artificialmente nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C), todos armazenados durante períodos de 0, 30, 60 e 90 dias.

O coeficiente de variação médio para os testes foi da ordem de 14%; variando de 5,43% (grãos colhidos com teor de umidade de 11,7% no início do armazenamento) até 31,4% (grãos colhidos com 18,7% e secos a 40 °C, após 30 dias de armazenamento). Em média, a menor variação de deformação ocorreu no início do período de armazenamento; grãos colhidos com 11,7%b.u. apresentaram a menor variação (5,43%), enquanto os grãos colhidos com 20,6%b.u. e secos a 30 °C apresentaram a maior (16,17%).

Quadro 16 - Valores médios, e os respectivos coeficientes de variação, da deformação específica necessária para a ruptura macroestrutural dos grãos de feijão colhidos com diferentes teores de umidade e secos em diferentes temperaturas do ar de secagem, e dos grãos colhidos secos, em cada período de armazenamento

Teor de umidade de colheita (% b.u.)	Temperatura de secagem (°C)	Deformação específica (mm/mm)							
		Período de armazenagem (dias)							
		0		30		60		90	
		Defor	CV(%)	Defor	CV(%)	Defor	CV(%)	Defor	CV(%)
11,7		0,81	5,43	0,75	13,07	0,74	10,26	0,66	11,43
18,7	30	0,77 ^{n.s.}	8,12	0,63*	14,52	0,57*	12,87	0,58 ^{n.s.}	11,92
	40	0,67*	12,63	0,55*	31,40	0,66 ^{n.s.}	11,28	0,67 ^{n.s.}	9,26
	50	0,73*	12,74	0,58*	20,27	0,66 ^{n.s.}	12,24	0,62 ^{n.s.}	11,15
	60	0,69*	7,53	0,51*	28,27	0,57*	14,44	0,55 ^{n.s.}	15,31
20,6	30	0,55*	16,17	0,59*	25,44	0,61 ^{n.s.}	12,39	0,65 ^{n.s.}	13,31
	40	0,53*	14,46	0,62*	17,77	0,57*	14,28	0,69 ^{n.s.}	11,78
	50	0,64*	10,95	0,62*	18,35	0,65 ^{n.s.}	10,27	0,65 ^{n.s.}	13,19
	60	0,65*	12,79	0,58*	17,26	0,61 ^{n.s.}	16,23	0,64 ^{n.s.}	13,21

* significativo a 5% de probabilidade, pelo Teste de Dunnett.; ^{n.s.} não-significativo.

O Quadro 16 apresenta, também, os resultados do teste de Dunnett (a 5% de probabilidade) aplicado na comparação de cada valor médio de deformação exibida pelos grãos colhidos com 11,7% b.u. (testemunha). Observa-se que os grãos colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u. apresentaram diferenças significativas, no tempo zero, nas temperaturas do ar de secagem de 40, 50 e 60 °C; aos 30 dias de armazenamento, em todas as temperaturas; e, após 60 dias, nas temperaturas de 30 e 60 °C. Os grãos colhidos com 20,6% b.u. de umidade apresentaram diferença significativa nos valores de suas deformações em todas as temperaturas do ar de secagem, no tempo zero e após 30 dias de armazenamento; e, após 60 dias, na temperatura de 40 °C. Observa-se que, nestes casos, os valores da deformação específica foram menores para os grãos colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7% b.u., quando comparados com os grãos colhidos com 11,7% b.u.

São apresentados, a seguir, os efeitos das temperaturas do ar de secagem (30, 40, 50 e 60 °C) sobre a deformação específica dos grãos de feijão colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7% b.u. Os resultados da análise de variância da deformação necessária para a ruptura macroestrutural dos grãos (detalhes no Quadro 13A) indicam que a deformação específica foi afetada significativamente pelo período de armazenamento e mostrou significância nas interações “período de armazenamento e teor de umidade”, “período de armazenamento e temperatura do ar de secagem” e, também, “período de armazenamento, teor de umidade e temperatura do ar de secagem”.

Observa-se que houve tendência de os valores de deformação específica aumentarem em função dos aumentos do período de armazenamento e da temperatura do ar de secagem nos grãos colhidos com 20,6% b.u. Embora os valores da deformação dos grãos colhidos a 18,7% b.u. tenham sido afetados pelo período de armazenamento e pelas temperaturas do ar de secagem, não se observa nenhuma tendência definida.

Os modelos matemáticos testados na tentativa de predizer a deformação específica (ξ^{\wedge}) em função da temperatura do ar de secagem e do período de armazenamento apresentaram baixos coeficientes de

determinação. Apesar deste fato, os melhores “ajustados” podem ser expressos por:

$$\hat{\xi}_{18,7} = 0,4549 - 0,0044.D + 0,0136.TE + 0,00004D^2 - 0,0002.TE^2 \quad (R^2 = 0,58) \quad (27)$$

$$\hat{\xi}_{20,6} = 0,4439 - 0,0003.D + 0,0064.TE + 0,00001D^2 - 0,00006.TE^2 \quad (R^2 = 0,44) \quad (28)$$

Vários pontos podem ser levantados na tentativa de justificar o comportamento das forças e deformações específicas (aumentos e diminuições) durante o período de armazenamento, dentre estes citam-se: (a) variações no teor de umidade do produto ao longo do armazenamento; (b) insuficiência do número de grãos usados nos testes de compressão (devida às grandes variações inerentes ao comportamento do próprio produto); (c) o segundo pico da curva de “força versus tempo”, obtida na compressão do produto e considerada como referência, não corresponde ao início de ruptura do grão; e (d) a sensibilidade da célula de carga usada.

Os resultados obtidos para a força de compressão e deformação específica necessárias para a ruptura macroestrutural dos grãos indicam que os grãos colhidos com 11,7% de umidade desenvolveram o endurecimento ao longo do período de armazenamento, no entanto, para os grãos de feijão colhidos com teores de umidade de 18,7 e 20,6%, esta indicação não é clara. Sabe-se, no entanto, que o endurecimento dos grãos de leguminosa pode ser influenciado pelas condições de armazenamento, pelo grau de maturidade, pelo teor de umidade, dentre outros fatores, e resulta em diversas mudanças. Verificando as condições de temperatura e a umidade relativa, Figura 8, observa-se que estas foram favoráveis ao endurecimento dos grãos de feijão (BURR et al., 1968; EDMISTER et al., 1990). RICHARDSON e STANLEY (1991) verificaram que grãos de feijão durante o endurecimento apresentam maior perda de sólidos, e conseqüentemente, maior deterioração da membrana. Verificou-se que os grãos colhidos com teor de umidade de 20,6 e 18,7% e secos nas temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C apresentaram um aumento nos valores de condutividade elétrica em função dos períodos de armazenamento e das temperaturas de secagem. Verificou-se, também, que

os grãos apresentaram mudanças na coloração, que resultaram no escurecimento, que pode ser associado ao endurecimento (EDMISTER et al., 1990). Logo, apesar dos valores obtidos para a força e deformação para a ruptura dos grãos não indicarem claramente se houve endurecimento dos grãos durante o período de armazenamento, pode-se concluir, com base nos resultados de condutividade e coloração, que os grãos colhidos com 18,7 e 20,6% b.u. indicam que houve o endurecimento dos grãos de feijão em função das temperaturas do ar de secagem e do período de armazenamento.

5. RESUMOS E CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado no Setor de Pré-processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, no Laboratório de Propriedades Físicas do CENTREINAR e no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia, ambos localizados na Universidade Federal de Viçosa, MG.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de grãos de feijão, colhidos com diferentes teores de umidade e secos em diferentes temperaturas do ar de secagem, durante o período de armazenamento.

Foram utilizados grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade "Carioca 1030", plantados em abril de 1999, procedentes do CNPMS/EMBRAPA, Sete Lagoas-MG. Os grãos foram arrancados manualmente e recolhidos e trilhados mecanicamente com teores de umidade

de 20,6, 18,7 e 11,7% b.u. Após a colheita e a limpeza, os grãos colhidos com teores de umidade de 20,6 e 18,7% foram submetidos à secagem nas temperaturas do ar de 30, 40, 50 e 60 °C em um secador de laboratório, até atingirem o teor de umidade médio de 12% b.u. Após a secagem, os grãos foram expurgados com fosfato de alumínio e, em seguida, acondicionados em recipientes metálicos e armazenados em laboratório por um período de 90 dias. Logo após a colheita e a secagem, em intervalos de 30 dias, foram retiradas amostras para a avaliação da qualidade dos grãos.

A qualidade dos grãos foi avaliada pela sua classificação, pelo teor de umidade, pela condutividade elétrica, pela coloração, pela susceptibilidade à quebra e pelo grau de endurecimento. A classificação dos grãos foi realizada na Delegacia Federal de Agricultura em Minas Gerais, Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária (MAARA), em Belo Horizonte, MG.

A análise dos dados e a interpretação dos resultados obtidos na avaliação da qualidade dos grãos de feijão da variedade "Carioca 1030", nas condições específicas do presente trabalho, permitiram concluir que:

- os grãos de feijão com teor de umidade de 18,7% b.u. na colheita apresentaram melhor classificação por tipo;
- grãos colhidos com teor de umidade de 18,7 e 20,6% b.u. apresentaram qualidade fisiológica superior à dos colhidos secos;
- os grãos colhidos mais secos apresentaram coloração mais escura do que os colhidos com maiores teores de umidade;
- a temperatura do ar de secagem não afetou a classificação por tipo dos grãos durante o período de armazenamento. No entanto, o aumento da temperatura do ar de secagem diminuiu a sua qualidade fisiológica ao longo do armazenamento;
- o aumento da temperatura do ar de secagem, independente do teor de umidade de colheita, não alterou a coloração dos grãos. No entanto, independente do teor de umidade de colheita, os grãos tenderam ao escurecimento ao longo do armazenamento;

- a susceptibilidade à quebra dos grãos foi maior à medida que se aumentou a temperatura do ar de secagem, independentemente do teor de umidade de colheita;
- os grãos de feijão colhidos secos apresentaram um aumento do endurecimento durante o período de armazenamento. Quanto aos demais teores de umidade de colheita, não foi possível identificar claramente se causaram o endurecimento dos grãos ao longo do armazenamento; no entanto, considerando os dados de condutividade elétrica e coloração, pode-se inferir que o comportamento foi semelhante ao dos grãos colhidos secos.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se a necessidade de novos trabalhos, estudando-se uma faixa mais ampla de teor de umidade de colheita, principalmente no que tange ao fenômeno do endurecimento dos grãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P.C. **Efeitos imediato e latente das condições de secagem sobre a qualidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade "Ouro Negro 1992"**. Viçosa, MG: UFV, 1992. 64p. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola)-Universidade Federal.

- ANDERSON, J.A. Problems of controlling quality in grain. In SINHA, R.N., MUIR, W.E. **Grain storage: part of system**. The Publishing Company, 1973, p. 1-14.
- ANDRADE, E.T., CORRÊA, P.C., MARTINS, J.H., ALVARENGA, E.M. Avaliação de dano mecânico em sementes de feijão por meio de condutividade elétrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 54-60, 1999.
- BAILEY, J.E. Whole grain storage. In: SAUER, D.B. **Storage of cereal grains and their products**, Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1992. 615 p.
- BAKKER-ARKEMA, F.W. Grain quality and management of grain quality standards. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF GRAIN CONSERVATION, 1993, Canela. **Anais ...** Porto Alegre: Plus Comunicações, 1994. p.3-11.
- BORÉM, A., CARNEIRO, J.E.S. A cultura. In: VIEIRA, C., DE PAULA JÚNIOR, T.J., BORÉM, A. **Feijão-aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**, Viçosa, MG: UFV, 1998. p. 13-17.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Abastecimento. Comissão Técnica de Normas e Padrões. Norma de identidade, qualidade, apresentação e embalagem do feijão. **Portaria nº 161, de 24 de julho de 1987**, 12 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: 1992. 365p.
- BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W., HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450p.
- BURR, H.K., KON, S., MORRIS, H.J. Cooking rates of dry beans as influenced by moisture content and temperature and time of storage. **Food Technology**, v. 22, n. 3, p. 336-338, 1968.
- CALVO, C. Atlas de color: fundamentos e aplicaciones. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v. 29, n. 1, p.54-60, 1989.
- CANNIATTI-BRAZACA, S.G., MANCINI FILHO, J., SALGADO, J.M., NOVAES, N.J. Influência do tempo de armazenamento a 11 °C sobre algumas

características físicas de cultivares de feijão guandu (*Cajanus cajan* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 1, p. 53-59, 1998.

CARDOSO, E.G. “**Qualidade de grãos de feijão em função do método de irrigação e teor de umidade na colheita**”. Viçosa, MG: UFV, 1997. 46p. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola)-Universidade Federal.

CHEN, H., SIEBENMORGEN. T.J., MARKS, B.P. Relating drying rate constant to head rice yield reduction of long-grain rice. **Transactions of the ASAE**, v. 40, n. 4, p. 1133-1139, 1997.

CHIARADIA, A.C.N., GOMES, J.C. **Feijão: química, nutrição e tecnologia**. Viçosa, MG: Fundação Arthur Bernardes, 1997. 180 p.

CIRNE, L.E.M.R., MATA, M.E.R.M.C., SCAICO, M.A. Estudo das alterações da coloração das sementes de feijão mulatinho (*Phaseolus vulgaris* L.) submetidas a diferentes condições de armazenagem. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1993, Ilhéus, BA. **Anais...** p. 110-114, 1993.

CONAB. **Safra Brasil – estimativa de produção de grãos**. [31/01/2000] (http://www.conab.gov.br/Política_Agrícola/safra/grãos.cfm)

COUTO, S.M., SILVA, M.A., REGAZZI, A.J. An electrical conductivity method suitable for quantitative mechanical damage evaluation. **Transactions of the ASAE**, v. 41, n.2, p. 421-426, 1998.

DE LÉON, F.L., BRESSANI, R., ELIAS, L.G. Efecto de la cáscara sobre el mecanismo de endurecimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris*). **Archivos Latino-americanos de Nutrición**, v. 39, n. 3, p. 405-418, 1989.

DURIGAN, J.F., FALEIROS, R.R.S., LAM-SANCHES, A. Determinação das características tecnológicas e nutricionais de diversas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) I. Características Tecnológicas. **Cientifica**, v. 6, n. 2, p. 215-223, 1978.

EDMISTER, J.A., BREENE, W.M., SERUGENDO, A. Influence of temperature, water activity and time on cookability and color of a stored Rwandan dry bean (*Phaseolus vulgaris*) mixture. **Journal of Stored Product Research**, v. 26, n. 3, p. 121-126, 1990.

- FERREIRA, V.L.P., TEIXEIRA NETO, R.O.T., MOURA, S.C.S.R., SILVA, M.S. Cinética da degradação da cor de solução hidrossolúvel comercial de urucum, submetida a tratamentos térmicos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 1, p. 37-42, 1999.
- GARCIA, E., FILISETTI, T.M.C.C., UDAETA, J.E.M., LAJOLO, F.M. Hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris*): Involvement of phenolic compounds and pectates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 6, p. 2110-2116, 1998.
- HAMPTON, J.G., JOHNSTONE, K.A., EUA-UMPON, V. Bulk conductivity test variables for mungbean, soybean and French bean seed lots. **Seed Science and Technology**, v. 20, p. 677-686, 1992.
- IBGE. **Estimativas da produção agrícola**. [31/01/2000] (<http://www.ibge.gov.br/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.stm>)
- JODARI, F., LINSCOMBE, S.D. Grain fissuring and milling yields of rice cultivars as influenced by environmental conditions. **Crop Science**, v. 36, p. 1496-1502, 1996.
- LEITE, E.C.B., HETZEL, S.M. Feijão preto: argentinos e americanos de olho no Brasil. **Agroanalysis**, p. 38-40, 1997.
- LITTLE, A.C. Physical measurements as predictions of visual appearance. **Food Technology**, p. 74-82, 1976.
- LOPES, R. P., HARA, T., SILVA, J.S. Avaliação da qualidade de grãos de café pela colorimetria. **Engenharia na Agricultura**, v. 6, n.3, p.160-169, 1998.
- MALDONADO, S.H.G., MARÍN-JARILLO, A., CASTELLANOS, J.Z., MEJÍA,E.G., ACOSTA-GALLEGOS, J.A. Relationship between physical and chemical characteristics and susceptibility to *Zabrotes subfasciatus* (Boh.) (Coleoptera: Bruchidae) and *Acanthoscelides obtectus* (Say) in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. **Journal of Stored Products Research**, v. 32, n. 1, p. 53-58, 1986.
- MARKS, B.P., STROSHINE, R.L. Effects of previous storage history, hybrid and drying method on the storability of maize grain (corn). **Journal of Stored Products Research**, v. 36, n. 3, p. 121-126, 1990.

- MARTÍN-CABREJAS, M.A., ESTEBAN, R.M., PEREZ, P., MAINA, G., WALDRON, K.W. Changes in physicochemical properties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) during long-term storage. **Journal of Food Chemistry**, v. 45, n.8, p. 3223-3227, 1997.
- MORENO-MARTINEZ, E., VÁZQUEZ-BADILLO, M.E., NAVARRETE-MAYA, R., RAMÍREZ-GONZALEZ, J. Seed viability of different varieties of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) stored under low and high relative humidity. **Seed Science and Technology**, v. 22, p. 195-200, 1994.
- RADAJEWSKK, E.J., JENSEN, T., ABAWI, G.Y., McGAHAN, E.J. Drying rate and damage to navy beans. **Transactions of the ASAE**, v. 35, n. 2, p. 583-590, 1992.
- RICHARDSON, J.C., STANLEY, D.W. Relationship of loss of membrane functionality and hard-to-cook defect in aged beans. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 2, p. 590-591, 1991.
- SANTOS, M.L., BRAGA, M.J. Aspectos econômicos. In: VIEIRA, C., DE PAULA JÚNIOR, T.J., BORÉM, A. **Feijão-aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**, Viçosa, MG: UFV, 1998. p.19-53.
- SILVA, A.L.S. **Influência do processo de colheita na qualidade do milho (*Zea mays* L.) durante o armazenamento**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 87p. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola)-Universidade Federal.
- SILVA, C.C., BEVITORI, R. Colheita e beneficiamento de feijão. **Informe Agropecuário**, v. 17, n. 178, p. 54-63, 1994.
- SILVA, J.S., QUEIROZ, D.M. Colheita, trilha, secagem e armazenagem. In: VIEIRA, C., DE PAULA JÚNIOR, T.J., BORÉM, A. **Feijão-aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**, Viçosa, MG: UFV, 1998. p. 13-17.
- SINHA, R.N. Interrelations of physical, chemical, and biological variables in the deterioration of stored grains. In: SINHA, R.N., MUIR, W.E. **Grain storage: part of a system**. Connecticut: [s.n.], 1973. p. 15-47.
- SRIVASTAVA, A.K., RAO, P.H. Changes in the functional characteristics of wheat during high temperature storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 31, n. 1, p. 36-39, 1994.

STEPHENS, L.E., FOSTER, G.H. **Breakage tester predicts handling damage in corn.** Agricultural Research Service, U.S. Department of Agricultural, 1976.

TIPPLES, K.H. Quality and nutritional changes in stored grain. In: JAYAS, D.S., WHITE, N.D.G., MUIR, W.E. **Stored Grain Ecosystems**, 1995, p. 325-351.

VIEIRA, R.D., CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes.** Jaboticabal: FUNEP; UNESP, 1994. p. 103-132.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quadro 1A – Resumo da análise de variância percentual de impurezas e matérias estranhas em função do teor de umidade na colheita (TEO)

F.V.	G.L.	Quadrado médio	
		Impurezas e matérias estranhas	
TEO	2	5,5888**	
Resíduo	6	0,2800	
C.V. (%)		28,51	

**significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 2A – Resumo da análise de variância dos grãos manchados (MAN), amassados (AMAS), partidos (PART), quebrados (QUEB) e total de grãos avariados (TAV) em função do teor de umidade na colheita (TEO)

F.V.	G.L.	Quadrados médios				
		MAN	AMAS	PART	QUEB	TAV
TEO	2	0,0119*	7,355**	21,3228*	2,2024*	12,7984
Resíduo	6	0,0181	0,5397	2,2997	0,3235	5,2027
C.V. (%)		88,35	40,82	28,89	67,36	27,07

*significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 3A – Resumo da análise de variância para a condutividade elétrica da solução que contém os grãos de feijão em função do teor de umidade na colheita

F.V.	G.L.	Quadrado médio	
		Condutividade elétrica	
TEO	2	206,6092**	
Resíduo	6	1,0411	
C.V. (%)		1,65	

**significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 4A - Resumo da análise para as coordenadas de Hunter (L_H , a_H , b_H) em função do teor de umidade na colheita

F.V.	G.L.	Quadrados médios		
		L_H	a_H	b_H
TEO	2	11,2919*	0,4488 ^{n.s}	2,0961**
Resíduo	6	1,1578	0,1830	0,1131

C.V. (%)	1,93	6,39	1,87
----------	------	------	------

*significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 5A - Resumo da análise de variância do fatorial (2x4+1)x3 para o percentual de grãos partidos (PART) com os diferentes teores de umidade na colheita (T) e temperaturas do ar de secagem (TE)

F.V.	G.L.	Quadrado médio	
		Grãos partidos	
TRAT	8	5,3725	
T	1	6,6571*	
TE	3	0,2106 ^{ns}	
TxTE	3	0,1413 ^{ns}	
Fat. vs Test.	1	35,26762*	
Residuo	18	0,2226	
C.V. (%)		18,19	

*significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; ^{ns} não-significativo pelo teste F.

Quadro 6A - Resumo da análise do fatorial (2x4+1) para condutividade elétrica da solução que contém os grãos de feijão em função dos diferentes teores de umidade na colheita e temperaturas do ar de secagem, em cada período de armazenamento

FV	GL	Quadrado médio			
		0 dia	30 dias	60 dias	90 dias
TRAT	8	269,0528	266,0791	157,6571	265,3283
Resíduo	18	1,9886	8,2310	5,1598	21,0453

Quadro 7A - Resumo da análise de variância do fatorial (2x4x4)x3 para condutividade elétrica da solução que contém os grãos para os diferentes teores de umidade na colheita, temperaturas do ar de secagem e período de armazenamento

FV	GL	QM
Umidade (TEOR)	1	2500,3170**

Temperatura (TE)	3	1111,4430**
TEORxTE	3	145,5850**
Resíduo (a)	16	7,5097
Tempo (DIA)	3	1584,8900**
DIAXTEOR	3	20,7425 ^{ns}
DIAXTE	9	44,5491 ^{ns}
DIAXTExTEOR	9	33,9596**
resíduo (b)	48	8,7575
CV parcela (%)		3,27
CV subparcela (%)		3,53

**significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F; ^{ns} não-significativo.

Quadro 8A - Resumo da análise do fatorial (2x4+1) para as coordenadas de Hunter (L_H , a_H , b_H) diferença de cor (DE), croma (C) e matiz (H) nos grãos de feijão em função dos diferentes teores de umidade na colheita e temperaturas do ar de secagem em cada período de armazenamento

Parâmetros	FV	GL	Quadrado médio			
			0 dia	30 dias	60 dias	90 dias
L_H	TRAT	8	1,5240	3,4513	0,9133	2,6198
	resíduo	18	1,3179	0,8303	0,4631	0,5448
a_H	TRAT	8	0,3416	0,1335	0,1038	0,2604
	resíduo	18	0,1273	0,06419	0,0582	0,0264
b_H	TRAT	8	3,2834	1,3645	0,9653	0,9060
	resíduo	18	0,2797	0,1713	0,1363	0,0800
DE	TRAT	8	-	1,6050	0,8768	3,1514
	resíduo	18	-	0,4014	0,2617	0,3941
H	TRAT	8	3,8774	3,3089	2,4824	3,6708
	resíduo	18	0,9055	0,2294	0,2462	0,1081
C	TRAT	8	3,1750	1,0851	0,7666	0,6363
	resíduo	18	0,3056	0,2059	0,1564	0,0907

Quadro 9A - Resumo da análise de variância do fatorial (2x4x4)x3 para as coordenadas de Hunter (L_H , a_H e b_H), diferença de cor (DE) e índices de Munsell (C e H) nos grãos de feijão nos diferentes teores de umidade na colheita, temperaturas do ar de secagem e período de armazenamento

FV	GL	L _H	a _H	b _H	DE	C	H
Umidade (TEOR)	1	2,3856*	1,4929*	9,9846**	5,7897**	11,6838**	0,0276 ^{ns}
Temperatura (TE)	3	8,5864*	0,4438**	2,2928**	5,5224**	7,3000**	8,8776**
TEORxTE	3	0,5296 ^{ns}	0,0851 ^{ns}	0,6686*	0,7304 ^{ns}	0,75511*	0,1179 ^{ns}
resíduo (a)	16	0,8886	0,066051	0,1845	0,3692	0,1485	0,3501
Tempo (DIA)	3	116,3844*	39,1618*	7,9772**	170,3845**	25,1431**	167,822**
DIAXTEOR	3	0,3561 ^{ns}	0,1815**	0,3335 ^{ns}	0,6991 ^{ns}	0,4331 ^{ns}	0,7423 ^{ns}
DIAXTE	9	1,6354*	0,2064*	0,6031**	1,5991**	0,6203**	1,4950**
DIAXTExTEOR	9	0,6690 ^{ns}	0,0448 ^{ns}	0,7000**	0,2528 ^{ns}	0,6116**	0,9515**
Resíduo (b)	48	0,7765	0,0601	0,1684	0,2515	0,2103	0,2787
CV parcela (%)		1,80	3,12	2,24	17,71	2,83	0,88
CV subparcela (%)		1,68	2,98	2,14	14,6	2,14	0,77

*significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; **significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F; ^{ns} não-significativo pelo teste F.

Quadro 10A – Resumo da análise do fatorial (2x4+1) para a susceptibilidade à quebra dos grãos de feijão em função dos diferentes teores de umidade na colheita e temperaturas do ar de secagem em cada período de armazenamento

FV	GL	Quadrado médio			
		0 dia	30 dias	60 dias	90 dias
TRAT	8	176,5693	61,0193	143,6974	163,9750
resíduo	18	4,0995	4,1218	2,3668	3,2043

Quadro 11A - Resumo da análise de variância do fatorial (2x4x4)x3 para susceptibilidade à quebra dos grãos com os diferentes teores de umidade na colheita, temperaturas do ar de secagem e período de armazenamento

FV	GL	QM
----	----	----

Umidade (TEOR)	1	26,1556**
Temperatura (TE)	3	806,7720**
TEORxTE	3	211,7807**
resíduo (a)	16	2,620391
Tempo (DIA)	3	1068,9790**
DIAXTEOR	3	19,3018**
DIAXTE	9	70,7148**
DIAXTEXTEOR	9	23,6372**
resíduo (b)	48	3,7083
CV parcela (%)		5,94
CV subparcela (%)		7,07

**significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 12A – Resumo da análise do fatorial (2x4+1) para a força de compressão e deformação necessárias para a ruptura macroestrutural dos grãos de feijão em função dos diferentes teores de umidade na colheita e temperaturas do ar de secagem em cada período de armazenamento

Parâmetros	FV	GL	Quadrado médio			
			0 dia	30 dias	60 dias	90 dias
Força	TRAT	8	7490,556	375,3698	3584,846	4769,341
	resíduo	18	39,4436	121,6291	366,5541	327,5256
Deformação	TRAT	8	0,0254	0,0134	0,0101	0,0061
	resíduo	18	0,0011	0,0018	0,0049	0,0058

Quadro 13A - Resumo da análise de variância do fatorial (2x4x4)x3 para a força de compressão e a deformação relativa para a ruptura macroestrutural dos grãos de feijão nos diferentes teores de umidade na colheita, temperaturas do ar de secagem e período de armazenamento

FV	GL	Quadrado médio	
		Força de compressão	Deformação relativa
Umidade (TEOR)	1	521,0182 ^{n.s.}	0,00243 ^{n.s.}

Temperatura (TE)	3	5876,1150**	0,00670 ^{ns}
TEORxTE	3	2521,4410**	0,00808 ^{ns}
resíduo (a)	16	250,2065	0,00695
Tempo (DIA)	3	6788,8100**	0,02039**
DIAXTEOR	3	13772,1800**	0,03754**
DIAXTE	9	2240,3560**	0,00635*
DIAXTExTEOR	9	2662,7860**	0,00420 ^{ns}
resíduo (b)	48	221,4332	0,00267
CV parcela (%)		7,23	
CV subparcela (%)		6,81	1,68

*significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F; **significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F; ^{ns} não-significativo pelo teste F.

APÊNDICE B

Quadro 1B - Valores dos grãos colhidos em diferentes teores de umidade, obtidos dos Laudos de Classificação de Feijão, realizados pelo Ministério da Agricultura

Parâmetros	Repetição	Teor de umidade na colheita (%b.u.)*		
		11,7	18,7	20,6

Tipo	1	3	2	2
	2	3	2	2
	3	3	2	4
Impurezas e matérias estranhas (%)	1	1,48	1,28	3,88
	2	1,04	1,28	3,80
	3	0,44	0,88	2,60
Manchados (%)	1	0,20	0,00	0,12
	2	0,08	0,00	0,00
	3	0,12	0,04	0,00
Amassados (%)	1	0,00	2,48	2,92
	2	0,00	1,68	1,92
	3	0,04	3,20	3,96
Partidos (%)	1	7,40	3,64	3,80
	2	8,84	2,60	2,08
	3	8,56	3,40	6,92
Quebrados (%)	1	1,20	0,32	0,40
	2	1,28	0,24	0,76
	3	2,88	0,28	0,24
Picados (%)	1	0,16	0,00	0,04
	2	0,04	0,00	0,16
	3	0,04	0,02	0,08
Total de avariados (%)	1	9,04	6,64	7,72
	2	10,44	4,96	5,60
	3	11,72	7,24	12,48

*Cada valor representa a média de três repetições.

Quadro 2B- Valores dos grãos colhidos com teor de umidade de 18,7% b.u. após a secagem e durante o armazenamento, obtidos dos Laudos de Classificação de Feijão, realizados pelo Ministério da Agricultura

Temperatura do ar de secagem (°C)	Parâmetros	Repetição	Período de armazenamento			
			0 dia	30 dias	60 dias	90 dias
30	Tipo	1	2	2	2	2
		2	2	2	2	2
		3	2	2	2	2
	Impurezas e matérias estranhas (%)	1	0,20	0,16	0,30	0,16
		2	0,36	0,52	0,20	0,44
		3	0,20	0,56	0,29	0,12
	Manchados	1	0,64	0,00	0,00	0,00
		2	0,40	0,00	0,00	0,00
		3	0,76	0,00	0,00	0,00
	Amassados	1	0,12	0,00	0,00	0,16
		2	0,00	0,16	0,00	0,10
		3	0,00	0,00	0,00	0,04
	Partidos	1	1,88	2,12	1,90	2,12
		2	2,08	1,80	2,80	2,08
		3	1,84	1,96	1,50	1,92
	Quebrados	1	0,24	0,36	0,60	0,20
		2	0,24	0,44	0,45	0,16
		3	0,32	0,80		0,12
	Picados	1	0,00	0,00	0,30	0,48
		2	0,00	0,00	0,12	0,28
		3	0,00	0,00	0,21	0,38
	Total de avariados	1	5,96	4,88	6,70	4,80
		2	4,80	4,68	6,84	5,84
		3	5,04	5,32	5,80	4,88
40	Tipo	1	2	2	2	1
		2	2	2	2	2
		3	2	2	3	1
	Impurezas e matérias estranhas (%)	1	0,20	0,36	0,06	0,20
		2	0,24	0,28	0,00	0,16
		3	0,12	0,28	0,00	0,08
	Manchados	1	0,40	0,36	0,00	0,00
		2	0,40	0,36	0,00	0,20
		3	0,40	0,36	0,00	0,00
	Amassados	1	0,12	0,24	0,40	0,52
		2	0,08	0,16	0,50	0,60
		3	0,10	0,20	0,60	0,56
	Partidos	1	1,48	1,52	2,90	1,20
		2	1,48	1,92	1,60	1,24
		3	1,48	1,60	2,00	1,36
	Quebrados	1	0,40	0,76	0,60	0,28
		2	0,44	0,48	0,60	0,44
		3	0,24	0,52	0,70	0,60
	Picados	1	0,00	0,00	0,00	0,16
		2	0,00	0,00	0,00	0,32
		3	0,00	0,00	0,00	0,40
	Total de avariados	1	4,88	5,04	7,60	3,84
		2	5,36	5,40	7,80	4,88
		3	5,32	4,64	7,70	3,64

Quadro 2B, Cont.

Temperatura do ar de secagem (°C)	Parâmetros	Repetição	Período de armazenamento				
			0 dia	30 dias	60 dias	90 dias	
50	Tipo	1	2	2	2	2	
		2	2	2	2	2	
		3	2	2	2	2	
	Impurezas e matérias estranhas (%)	1	0,32	0,16	0,40	0,08	
		2	0,40	0,36	0,00	0,16	
		3	0,16	0,04	0,00	0,04	
	Manchados	1	0,40	0,20	0,00	0,00	
		2	0,56	0,64	0,00	0,00	
		3	0,56	0,42	0,00	0,00	
	Amassados	1	0,20	0,00	0,00	0,04	
		2	0,08	0,00	0,00	0,00	
		3	0,08	0,00	0,00	0,04	
	Partidos	1	2,52	2,40	1,80	2,00	
		2	2,56	1,48	2,60	1,96	
		3	2,00	1,32	2,70	2,60	
	Quebrados	1	0,44	0,72	0,75	0,80	
		2	0,36	0,68	0,60	0,76	
		3	0,36	0,68	0,90	0,72	
	Picados	1	0,00	0,48	0,00	0,00	
		2	0,00	0,64	0,00	0,00	
		3	0,00	0,32	0,00	0,00	
	Total de avariados	1	6,24	5,52	7,80	4,96	
		2	5,92	4,92	7,60	4,32	
		3	6,68	5,22	6,10	5,92	
	60	Tipo	1	2	2	2	1
			2	2	2	2	2
			3	2	2	2	2
Impurezas e matérias estranhas (%)		1	0,20	0,20	0,00	0,08	
		2	0,12	0,24	0,00	0,08	
		3	0,12	0,12	0,40	0,12	
Manchados		1	0,24	0,16	0,00	0,00	
		2	0,08	0,20	0,00	0,00	
		3	0,48	0,20	0,00	0,00	
Amassados		1	0,04	0,28	0,00	0,00	
		2	0,16	0,24	0,00	0,00	
		3	0,08	0,16	0,00	0,00	
Partidos		1	2,40	1,48	0,90	1,72	
		2	1,12	2,32	1,40	2,92	
		3	1,00	2,00	1,80	2,16	
Quebrados		1	0,40	0,32	1,20	0,32	
		2	0,44	0,40	0,70	0,80	
		3	0,40	0,56	0,90	0,32	
Picados		1	0,00	0,00	0,00	0,00	
		2	0,00	0,00	0,00	0,00	
		3	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total de avariados		1	5,84	4,72	7,70	7,12	
		2	4,36	7,16	5,40	7,84	
		3	4,32	5,04	6,00	6,40	

Quadro 3B- Valores dos grãos colhidos com teor de umidade de 20,6% b.u. após a secagem e durante o armazenamento, obtidos dos Laudos de Classificação de Feijão, realizados pelo Ministério da Agricultura

Temperatura do ar de secagem (°C)	Parâmetros	Repetição	Período de armazenamento			
			0 dia	30 dias	60 dias	90 dias
30	Tipo	1	2	2	3	2
		2	3	2	3	3
		3	2	3	3	3
	Impurezas e matérias estranhas (%)	1	0,08	0,24	0,00	0,04
		2	0,16	0,28	0,20	0,04
		3	0,12	0,16	0,20	0,04
	Manchados	1	0,40	0,16	0,00	0,00
		2	0,84	0,68	0,00	0,02
		3	0,24	0,00	0,00	0,04
	Amassados	1	0,08	0,00	0,00	0,00
		2	0,12	0,20	0,00	0,02
		3	0,36	0,00	0,00	0,04
	Partidos	1	2,76	3,72	2,10	2,00
		2	2,72	2,80	1,95	2,80
		3	2,40	3,20	1,80	3,60
	Quebrados	1	0,40	0,56	0,90	0,16
		2	0,56	0,36	0,00	0,52
		3	0,76	0,72	1,00	0,88
	Picados	1	3,84	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		3	0,00	0,00	0,00	0,00
Total de avariados	1	7,60	6,80	9,60	5,60	
	2	8,20	7,88	9,80	7,10	
	3	7,52	8,12	8,70	8,60	
40	Tipo	1	2	2	3	2
		2	2	2	3	2
		3	2	2	3	2
	Impurezas e matérias estranhas (%)	1	0,24	0,16	0,00	0,04
		2	0,16	0,16	0,00	0,08
		3	0,08	0,24	0,00	0,04
	Manchados	1	0,00	0,28	0,00	0,00
		2	0,52	0,40	0,00	0,00
		3	0,48	0,60	0,00	0,00
	Amassados	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		3	0,00	0,00	0,00	0,08
	Partidos	1	2,32	2,28	3,90	3,12
		2	2,60	2,24	2,20	3,20
		3	2,24	2,32	4,00	3,28
	Quebrados	1	0,52	0,60	0,00	0,20
		2	0,44	0,68	0,00	0,16
		3	0,48	0,60	0,00	0,24
	Picados	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		3	0,00	0,00	0,00	0,00
Total de avariados	1	6,76	7,44	9,00	7,80	
	2	7,48	6,32	9,30	5,68	
	3	7,84	5,80	11,90	6,64	

Quadro 3B, Cont.

Temperatura do ar de secagem (°C)	Parâmetros	Repetição	Período de armazenamento				
			0 dia	30 dias	60 dias	90 dias	
50	Tipo	1	3	2	2	2	
		2	2	2	3	2	
		3	3	3	3	2	
	Impurezas e matérias estranhas (%)	1	0,20	0,20	0,00	0,04	
		2	0,16	0,20	0,00	0,12	
		3	0,16	0,16	0,00	0,16	
	Manchados	1	1,40	0,04	0,00	0,00	
		2	1,16	0,24	0,00	0,00	
		3	0,64	0,00	0,00	0,00	
	Amassados	1	0,36	0,00	0,00	0,00	
		2	0,16	0,60	0,00	0,00	
		3	0,08	0,60	0,00	0,00	
	Partidos	1	3,00	2,68	2,60	2,80	
		2	3,00	2,60	3,80	2,40	
		3	3,00	2,40	1,80	2,80	
	Quebrados	1	0,08	0,80	0,20	0,40	
		2	0,36	0,80	0,30	0,48	
		3	0,44	0,60	0,50	0,16	
	Picados	1	0,00	0,44	0,00	0,00	
		2	0,00	0,16	0,00	0,00	
		3	0,00	0,44	0,00	0,00	
	Total de avariados	1	8,64	6,36	5,30	6,24	
		2	7,64	7,48	8,50	6,36	
		3	8,44	8,64	9,80	6,40	
	60	Tipo	1	3	2	3	2
			2	3	2	3	2
			3	2	3	3	2
Impurezas e matérias estranhas (%)		1	0,16	0,00	0,40	0,24	
		2	0,16	0,20	0,00	0,08	
		3	0,08	0,16	0,00	0,16	
Manchados		1	0,92	0,20	0,00	0,00	
		2	1,64	0,00	0,00	0,00	
		3	1,28	0,12	0,00	0,00	
Amassados		1	0,00	0,40	0,90	0,00	
		2	0,16	0,04	1,00	0,00	
		3	0,32	0,08	0,90	0,00	
Partidos		1	3,48	2,48	2,90	2,88	
		2	2,48	3,56	3,50	2,32	
		3	2,60	3,48	2,40	2,32	
Quebrados		1	0,76	0,40	0,80	0,80	
		2	0,24	0,52	0,70	0,48	
		3	0,36	0,40	0,30	0,44	
Picados		1	0,00	0,00	0,00	0,00	
		2	0,00	0,00	0,00	0,00	
		3	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total de avariados		1	10,40	8,16	11,10	7,68	
		2	8,52	7,60	10,80	7,80	
		3	7,68	8,72	10,95	7,74	

Quadro 4B- Valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) obtidos antes e após a secagem e durante o armazenamento

Umidade de colheita (%)	Repetição	Antes da secagem	Temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)			
				1	2	3	4
11,7	1	71,04		71,04	73,64	79,79	81,30
	2	71,67		71,67	74,10	76,99	80,53
	3	71,05		71,05	73,44	76,79	91,39
18,7	1	56,34		66,40	65,89	73,74	85,65
	2	56,37	30	65,40	65,56	77,25	88,27
	3	55,81		66,04	65,05	73,50	90,48
	1			69,23	82,37	75,03	87,56
	2		40	67,47	74,91	82,86	85,64
	3			68,92	74,04	77,44	87,00
	1			67,80	76,09	82,17	88,22
	2		50	70,27	75,70	79,70	91,13
	3			69,96	76,83	84,11	90,52
20,6	1			77,64	91,72	86,72	93,09
	2		60	73,37	79,80	84,03	100,04
	3			73,80	82,86	84,05	83,08
	1	59,16		72,35	70,80	80,15	78,05
	2	58,13	30	76,03	75,42	76,35	85,02
	3	55,83		72,01	73,21	77,93	91,98
	1			79,09	89,16	84,42	105,00
	2		40	76,95	85,29	81,95	100,85
	3			77,79	86,11	88,31	104,95
20,6	1			79,87	81,59	93,65	107,66
	2		50	78,46	83,62	93,31	104,51
	3			76,52	84,97	92,68	101,79
	1			97,69	98,21	95,36	108,56
	2		60	97,54	96,04	95,32	111,91
	3			98,62	98,49	97,62	106,28

*Cada valor representa a média de quatro repetições.

Quadro 5B- Valores das coordenadas de Hunter (L, a, b) após a colheita dos grãos

Teor de umidade de colheita (%b.u.)	Rep.	Coordenadas de Hunter		
		L	a	b
11,7	1	53,83	6,99	17,10
	2	53,83	6,99	17,10
	3	53,83	6,99	17,10
18,7	1	56,23	6,76	18,67
	2	54,47	7,12	18,48
	3	56,72	6,62	19,10
20,6	1	58,26	6,50	18,26
	2	57,11	6,29	18,39

3 57,77 5,97 17,88

Quadro 6B- Valores das coordenadas de Hunter (L, a, b) após a secagem e durante o armazenamento

Umidade de colheita (% b.u.)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Repetição	Período de armazenamento (dias)							
			0			30				
			L	a	B	L	a	b		
11,7		1	53,83	6,99	17,10	51,50	8,05	17,57		
		2	53,83	6,99	17,10	50,96	8,29	17,22		
		3	53,83	6,99	17,10	51,55	8,30	18,01		
	18,7	30	1	53,95	6,87	17,81	53,20	8,33	19,12	
			2	56,02	6,11	17,37	51,34	7,93	18,43	
			3	54,35	6,67	18,10	52,20	7,91	18,62	
		50	40	1	55,11	6,88	18,89	52,23	8,22	19,75
				2	55,58	7,04	19,05	51,24	8,29	19,77
				3	51,71	7,22	18,47	50,99	8,10	19,30
60			1	54,81	6,73	19,67	54,00	7,84	19,71	
			2	55,32	6,84	19,55	53,83	7,73	19,86	
			3	54,16	6,92	20,28	52,60	7,95	19,40	
20,6	30	1	55,90	7,18	19,38	53,23	8,24	20,53		
		2	55,79	6,65	19,87	53,65	7,82	19,28		
		3	55,56	7,72	20,31	51,67	7,53	19,07		
		1	56,23	6,34	18,68	52,31	7,93	18,50		
		2	56,01	5,89	17,83	51,54	8,16	18,64		
		3	55,62	6,35	18,27	53,12	7,66	18,54		
	40	1	55,57	6,18	17,71	51,51	8,31	19,12		
		2	55,79	6,76	18,50	51,11	8,14	18,89		
		3	53,99	6,52	16,85	52,04	7,89	18,02		
		50	1	54,33	6,08	18,49	55,45	7,90	18,71	
			2	55,28	6,62	19,68	53,51	7,85	18,74	
			3	57,19	6,58	19,47	53,45	7,40	18,15	
	60	1	54,52	6,56	16,85	52,30	8,03	19,14		
		2	54,39	6,44	18,13	54,40	7,21	18,78		
		3	56,10	6,36	17,00	55,22	7,62	19,25		

*Cada valor representa a média de três repetições.

Quadro 6B, Cont.

Umidade de colheita (% b.u.)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Repetição	Período de armazenamento (dias)						
			60			90			
			L	a	b	L	a	b	
11,7		1	50,12	8,86	18,02	49,25	9,51	18,19	
		2	50,03	9,04	17,99	48,58	9,79	18,68	
		3	51,47	9,03	17,99	49,28	10,05	18,99	
	18,7	30	1	51,37	8,87	19,47	48,84	9,81	19,81
			2	51,23	8,33	19,22	48,78	9,89	19,80
			3	52,54	8,88	19,68	50,18	10,01	20,43
		40	1	51,93	9,00	19,25	49,13	9,88	19,85
			2	51,68	9,16	19,55	48,85	10,04	19,96
			3	51,41	8,98	19,48	48,99	9,96	19,91
50		1	52,40	8,30	19,16	50,10	9,52	20,39	
		2	51,25	8,89	19,13	50,10	9,52	20,39	
		3	51,33	8,63	19,69	50,61	9,88	20,35	
60	1	52,07	8,62	19,30	50,67	9,47	20,07		
	2	52,88	8,56	20,65	50,28	9,58	20,53		
	3	52,54	8,88	19,68	50,28	9,58	20,53		
20,6	30	1	51,40	8,88	18,78	47,49	10,15	19,60	
		2	50,92	8,61	18,51	48,24	10,58	19,37	
		3	52,35	8,69	18,37	49,39	9,98	19,68	
	40	1	51,74	8,53	18,47	49,66	9,80	19,64	
		2	52,11	8,64	19,16	47,95	9,82	19,17	
		3	51,91	8,59	18,82	49,98	9,72	19,53	
	50	1	53,30	8,12	18,53	51,23	9,29	20,45	
		2	50,99	8,52	19,25	50,67	9,09	20,47	
		3	52,25	8,92	19,39	51,41	9,09	19,67	
	60	1	51,43	8,56	19,51	51,80	9,28	19,61	
		2	52,77	8,84	19,78	49,32	9,67	20,18	
		3	52,21	8,20	18,93	51,31	9,12	19,83	

* Cada valor representa a média de três repetições.

Quadro 7B- Valores de susceptibilidade à quebra (%) obtidos após a secagem e durante o período de armazenamento

Teor de umidade de colheita (%b.u.)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Rep.	Período de armazenamento (dias)			
			0	30	60	90
11,7	30	1	32,47	32,69	25,06	12,30
		2	28,94	32,23	30,24	12,37
		3	30,58	32,01	31,21	12,22
	40	1	12,90	35,64	23,91	14,75
		2	14,79	34,31	23,27	12,96
		3	10,75	34,98	22,63	11,18
	50	1	16,76	30,45	20,05	15,32
		2	18,62	31,35	21,69	14,52
		3	17,69	32,25	20,87	13,71
18,7	60	1	32,54	35,82	29,02	26,12
		2	29,33	30,50	30,17	30,34
		3	30,93	25,17	32,94	28,23
	30	1	30,08	43,28	36,92	27,56
		2	31,73	39,82	34,77	32,06
		3	30,90	41,55	35,85	32,06
20,6	30	1	13,21	32,89	16,47	14,08
		2	14,72	32,05	16,79	9,18
		3	13,97	31,21	17,12	11,63
	40	1	22,06	41,41	30,28	23,27
		2	24,36	43,92	30,07	26,25
		3	23,21	42,67	27,83	24,76
	50	1	29,95	39,29	36,01	25,12
		2	32,90	37,64	34,04	25,95
		3	31,42	36,75	34,08	24,29
60	1	32,48	37,17	35,46	21,73	
	2	25,34	37,40	37,31	17,31	
	3	23,78	38,39	36,39	19,52	

*Cada valor representa a média de três repetições.

Quadro 8B- Valores da força de ruptura macroestrutural (N) dos grãos após a secagem e durante o armazenamento.

Teor de umidade de colheita (%b.u.)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Rep.	Período de armazenamento (dias)			
			0	30	60	90
11,7		1	169,64	224,35	211,54	274,16
		2	173,91	203,49	223,94	273,91
		3	171,78	192,99	215,98	289,67
18,7	30	1	171,91	188,19	303,94	308,54
		2	186,17	182,80	300,91	308,12
		3	179,04	193,43	292,80	245,12
	40	1	199,94	210,53	232,66	231,05
		2	184,90	205,73	231,17	221,03
		3	192,42	197,54	191,02	214,93
	50	1	167,38	215,95	223,99	264,56
		2	181,63	217,89	221,10	259,93
		3	174,51	209,14	206,28	226,55
60	1	200,64	185,42	205,13	214,23	
	2	196,75	231,01	185,41	189,08	
	3	198,69	224,33	230,16	180,54	
20,6	30	1	274,12	205,42	232,65	179,23
		2	298,23	209,24	222,99	195,55
		3	286,17	192,82	288,57	211,86
	40	1	307,25	187,34	281,06	183,59
		2	314,96	180,40	301,32	196,38
		3	311,10	190,46	290,53	193,14
	50	1	218,70	204,31	244,03	186,07
		2	208,50	195,90	200,82	191,88
		3	213,60	191,90	212,85	220,02
	60	1	203,57	186,91	229,98	194,81
		2	206,55	186,19	202,77	179,10
		3	205,60	185,13	226,79	177,50

*Cada valor representa a média de 25 repetições.

