

ANDRÉ LUÍS DUARTE GONELI

QUALIDADES TECNOLÓGICA E FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO-
PIPOCA EM FUNÇÃO DA DANIFICAÇÃO MECÂNICA E DO
ARMAZENAMENTO

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

2004

ANDRÉ LUÍS DUARTE GONELI

QUALIDADES TECNOLÓGICA E FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO-
PIPOCA EM FUNÇÃO DA DANIFICAÇÃO MECÂNICA E DO
ARMAZENAMENTO

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 julho de 2004.

Prof. Glauco Vieira Miranda
(Conselheiro)

Prof. José Helvecio Martins

Prof. Eduardo Fontes Araújo

Dr. Paulo Cesar Afonso Júnior

Prof. Paulo Cesar Corrêa
(Orientador)

Aos meus pais Clóvis e Nelma e aos
meus irmãos Carlos Eduardo, Andréa e Leonardo, exemplos de
amor, carinho, confiança, incentivo e dedicação irrestrita.

DEDICO.

A Deus, que ilumina todos os momentos de minha caminhada.

OFEREÇO.

AGRADECIMENTO

Ao Professor Paulo Cesar Corrêa, pela orientação, amizade, confiança e participação irrestrita na execução deste trabalho, pelos valiosos ensinamentos e, ainda, pelo apoio constante em minha caminhada acadêmica.

Aos Professores conselheiros Glauco Vieira Miranda e Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias, pelas valiosas críticas e sugestões.

Aos Professores Eduardo Fontes Araújo, José Helvécio Martins e Tetuo Hara, pelas contribuições e sugestões.

Ao doutor Paulo César Afonso Júnior, pelas valiosas críticas e sugestões.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela amizade e pela ajuda na realização deste trabalho.

Ao meu amigo e professor Fabrício Schwanz da Silva, pelo apoio constante e pelas sugestões.

Aos meus amigos e colegas da Pós-Graduação Deise e Osvaldo, pelo companheirismo e amizade e pelas idéias e incentivo.

À minha grande amiga Ana Cristina, por ter me ajudado nos primeiros passos desta conquista.

Aos estudantes de iniciação científica Diana, Rodrigo e Fernando, por terem sempre se prontificados a me ajudar na realização das diversas análises envolvidas, e àqueles que porventura não tenham sido citados, mas por, direta ou indiretamente, terem contribuído para a realização desta pesquisa.

À Universidade Federal de Viçosa e, em especial, ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do Curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

BIOGRAFIA

ANDRÉ LUÍS DUARTE GONELI, filho de Clóvis Natal Goneli e Nelma Duarte Goneli, nasceu em Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais, em 6 de novembro de 1979.

Em março de 1998, iniciou o Curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, graduando-se em março de 2003.

Nesse mesmo mês e ano, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da UFV, na área de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, submetendo-se à defesa de tese, requisito indispensável para a obtenção do título de *Magister Scientiae*, em julho de 2004.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo geral	4
2.2. Objetivos específicos	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. A cultura do milho-pipoca	5
3.2. Qualidade tecnológica	6
3.3. Danos mecânicos	8
3.4. Qualidade fisiológica	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1. Avaliação da qualidade tecnológica	15
4.2. Avaliação do efeito da danificação mecânica pela condutividade elétrica	15
4.2.1. Análise do tempo de embebição	16
4.3. Avaliação da qualidade fisiológica das sementes	17
4.3.1. Teste de germinação	17
4.3.2. Primeira contagem do teste de germinação	17
4.3.3. Teste de envelhecimento acelerado	17

	Página
4.3.4. Teste de frio modificado	18
4.4. Análise estatística.....	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1. Modelagem.....	21
5.2. Avaliação da qualidade tecnológica.....	21
5.3. Avaliação do efeito da danificação mecânica por meio da condutividade elétrica.....	24
5.3.1. Análise do tempo de embebição	28
5.4. Avaliação da qualidade fisiológica	33
6. CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
APÊNDICE	45
APÊNDICE A	46

RESUMO

GONELI, André Luís Duarte, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2004.
Qualidades tecnológica e fisiológica de sementes de milho-pipoca em função da danificação mecânica e do armazenamento. Orientador: Paulo Cesar Corrêa.
Conselheiros: Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias e Glauco Vieira Miranda.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito da interação entre a danificação mecânica por impacto controlado e o tempo de armazenamento sobre as qualidades tecnológica e fisiológica das sementes de milho-pipoca. Foram utilizadas sementes da variedade UFVM-2 com teor de umidade (13% b.u.), as quais foram submetidas a diferentes tempos de impacto, utilizando-se o aparelho Stein Breakage Tester (modelo CK2-M). Depois de impactadas, as sementes foram embaladas em sacos de polipropileno de baixa densidade, que foram selados com seladora elétrica e devidamente identificados. As sementes foram, então, armazenadas durante seis meses em condições não controladas, sendo analisadas no início do experimento e a cada mês subsequente. A qualidade tecnológica das sementes foi avaliada pelo teste de capacidade de expansão, sendo utilizado o pipocador Cretors, modelo MWVT. O efeito da danificação mecânica foi avaliado pelo teste de condutividade elétrica. Posteriormente, foi analisado paralelamente o efeito do período de embebição sobre os resultados do teste de condutividade elétrica, por meio de leituras de hora em hora ao longo do período de condução do teste (24 horas). A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada pelos testes de germinação, primeira contagem da germinação,

envelhecimento acelerado e frio modificado, sendo o resultado expresso em porcentagem de plântulas normais. Os resultados encontrados indicam que a capacidade de expansão diminui consideravelmente à medida que aumenta o tempo de duração de impacto, apresentando ligeiro aumento desses valores, em todos os tratamentos, durante o período de armazenamento. Esse fato revela que o aumento da duração do impacto promoveu maior quantidade de danos ao pericarpo das sementes, gerando perda de sua integridade e, conseqüentemente, menor expansão das sementes, porque a expansão ocorre devido à resistência do pericarpo ao aumento da pressão interna. Com relação ao teste de condutividade elétrica, os resultados evidenciam que os valores aumentam à medida que também aumentam a duração do impacto e o tempo de armazenamento. Dessa forma, nota-se que o aumento da duração do impacto e o do período de armazenagem provocam maior perda da integridade das membranas, acarretando maior lixiviação eletrolítica dos solutos celulares. Além disso, os resultados evidenciam também a potencialidade de utilização do teste de condutividade elétrica como avaliador da integridade do pericarpo e qualidade tecnológica das sementes de milho-pipoca. O aumento no período de embebição também conduziu a maiores valores de condutividade elétrica. Para detectar maiores diferenças de vigor e qualidade, existe a possibilidade de redução no período de realização do teste de condutividade elétrica para 4 horas. Porém, quando essas diferenças não são marcantes, recomenda-se a avaliação da condutividade elétrica após 16 horas de embebição. O aumento na duração do impacto e do período de armazenamento também promoveu redução na germinação e vigor, evidenciando o efeito imediato e latente da danificação mecânica sobre a qualidade fisiológica das sementes.

ABSTRACT

GONELI, André Luís Duarte, M. S., Universidade Federal de Viçosa, July, 2004.
Technological and physiological quality of popcorn seeds as a function of mechanical injury and storage. Adviser: Paulo Cesar Corrêa. Committee Members: Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias and Glauco Vieira Miranda.

The objective of this work was to evaluate the effect of the interaction between the mechanical injury by controlled impact and storage time on the technological and physiological quality of popcorn seeds. UFVM-2 seeds with 13% b.u. humidity level were submitted to different impact time with a Stein Breakage Tester (CK2-M model). Following impacts, the seeds were wrapped in low-density polyethylene bags, sealed with an electric sealer and properly identified. They were, then, stored for six months in non-controlled conditions, analyzed in the beginning of the experiment and every succeeding month. Seed technological quality was evaluated by the expansion capacity test, with Cretors (MWVT) popcorn maker. The effect of mechanical injury was evaluated by the electric conductivity test. Later, it was analyzed the effect of the soak period on the results of the electric conductivity test, by hourly readings along the assay period (24 hours). Seed physiological quality was evaluated by germination tests, first germination counting, accelerated aging and modified cold, with the result being expressed in percentage of normal plantlets. The results indicated that the expansion capacity decreases considerably with the increase in impact duration time, showing a slight increase of those values in all treatments during storage. The lowest grain

expansion occurred probably because of the higher damage to the pericarp, due to the increase in impact duration that the grains were submitted, once the expansion occurred because of the pericarp resistance to the increase of internal pressure. The results of the electric conductivity test increased with the increase in impact duration and storage time. In that way, it was noticed that the increase in impact duration and storage period caused larger loss of membrane integrity, causing higher electrolytical leaching of cellular solution. Furthermore, the results evidenced the potential for the electric conductivity test to assess pericarp integrity and technological quality of popcorn seeds. The increase in soak period also led to larger values for electric conductivity. To detect higher differences in vigor and quality, it is possible to reduce the period of the electric conductivity test to four hours. However, when those differences are not remarkable, the evaluation of the electric conductivity is recommended after a 16-hour soaking period. The increase in the impact duration and the storage period also reduced germination and vigor, being evidenced the immediate and latent effect of the mechanical injury on the physiological quality of seeds.

1. INTRODUÇÃO

O milho-pipoca é bastante apreciado no Brasil e atualmente, em consequência do aprimoramento e da popularização das máquinas elétricas e do forno de microondas para o pipocamento do milho, constata-se o aumento crescente de seu consumo e, conseqüentemente, de sua produção. Segundo informações de empresas empacotadoras, o consumo nacional desse milho em 2001 foi em torno de 80 mil toneladas, correspondendo a 75% desse mercado para produto importado, principalmente, da Argentina (SAWAZAKI, 2001).

O milho-pipoca tem sua produção voltada para o consumo humano, sendo uma eficiente fonte de calorias e constituindo-se numa boa opção econômica para os produtores, em razão do crescente consumo de pipoca no país. Uma das características mais importantes desse produto, diferindo-o dos demais tipos, é a capacidade de seus grãos estourarem quando aquecidos (RUFFATO et al., 2000). A comercialização dos grãos é feita por peso e o produto final, vendido pelo volume. Por isso, a capacidade de expansão da pipoca é o fator mais importante quando se faz referência à sua qualidade.

Esse parâmetro pode ser estimado pelo volume de pipoca produzido em relação a massa dos grãos (usualmente expresso em mL/g) ou pelo volume de pipoca em relação ao volume dos grãos (mL/mL). O equipamento-padrão usado mundialmente para a avaliação da capacidade de expansão é o pipocador Cretors, modelo MWVT, que utiliza amostra de 250 g de grãos, fornecendo os resultados em mL/g.

O valor da capacidade de expansão é influenciado, de maneira significativa, pelos danos a que a semente está sujeita nas diversas operações unitárias que compõem

o seu processo produtivo, desde a colheita até o seu consumo final, etapas em que podem ocorrer trincas ou mesmo ruptura do tegumento.

A porcentagem de sementes trincadas ou quebradas cresce significativamente com o aumento da velocidade de impacto a que são submetidas e com o decréscimo de seu teor de umidade (KELLER et al., 1972; PAULSEN et al., 1981; BARTSCH et al., 1984; EVANS et al., 1990). Vários fatores, como temperatura do ar de secagem, presença de tensões de quebra e características genótípicas, influenciam a suscetibilidade à quebra (GUNASEKARAN e MUTHUKUMARAPPAN, 1993).

Essa suscetibilidade se refere ao potencial de fragmentação do produto quando este é submetido a forças de impacto durante as diversas etapas de processamento pós-colheita, como no beneficiamento e no transporte. De acordo com Carvalho e Nakagawa (2000), os danos mecânicos, juntamente com a mistura varietal, são alguns dos mais sérios problemas na produção de sementes. O dano mecânico é consequência, na sua maior parte, da mecanização das atividades agrícolas, constituindo-se em problema praticamente inevitável devido ao fato de as principais fontes desse tipo de injúria se encontrarem em todas as etapas do processo produtivo. Além de apresentarem efeitos imediatos na viabilidade e vigor das sementes, esses danos predis põem as sementes à deterioração mais rápida, proporcionando maior percentual no número de plântulas fracas e anormais, maior suscetibilidade à incidência de microrganismos, maior sensibilidade aos fungicidas e consequente redução do potencial de armazenamento (BRUGGINK et al., 1991).

Nas regiões tropicais, o armazenamento é uma das maiores limitações à manutenção da qualidade fisiológica das sementes. Vários são os fatores que influenciam a conservação da viabilidade e vigor das sementes durante o armazenamento: qualidade fisiológica inicial da semente, vigor da planta-mãe, condições climáticas durante a maturação, danos mecânicos, condições de secagem, adequado teor de umidade, umidade relativa do ar, temperatura de armazenamento, ação de fungos e insetos, tipos de embalagens e duração do armazenamento (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

O tempo de armazenagem dos produtos agrícolas danificados por impactos é um fator importante, pois os danos por eles sofridos irão se agravar com o decorrer do tempo, afetando o potencial de armazenagem do produto (MORAES, 1980; COUTINHO, 1984; ANDRADE et al., 1998; ARAÚJO et al., 2002).

A qualidade fisiológica de uma semente é determinada por seu genótipo e está associada às condições ambientais em que foi produzida e armazenada, bem como às tecnologias de produção, colheita, secagem, beneficiamento e comercialização (MARINCEK, 2000). Dessa forma, a colheita e o beneficiamento podem provocar danos à qualidade fisiológica das sementes de milho-pipoca e à sua qualidade tecnológica avaliada por meio de sua capacidade de expansão.

A perda da integridade e, ou, a descontinuidade das membranas com a conseqüente lixiviação de íons em quantidades diferentes, em função do grau de deterioração e, ou, danificação das sementes, possibilitam o emprego de testes rápidos para avaliar sua viabilidade e vigor (CHEN e BURRIS, 1991). Sementes com viabilidade e vigor baixos apresentam maior lixiviação de solutos do que sementes vigorosas e com alto índice de germinação (HAMPTON, 1995).

Por essa razão, pode-se destacar o teste de condutividade elétrica, no qual a qualidade é avaliada indiretamente por meio da determinação da quantidade de lixiviados na solução de embebição das sementes, com um bom potencial como indicativo do nível de danificação e integridade do tegumento. Os menores valores de condutividade, correspondentes à menor liberação de lixiviados, indicam alto potencial fisiológico (maior vigor), revelando menor intensidade de desorganização das membranas das células (VIEIRA e KRZYZANOWSKI, 1999). Portanto, a condutividade elétrica pode se constituir em uma opção interessante para a avaliação da intensidade de danificações mecânicas nas sementes e estar associada não somente à sua qualidade fisiológica, como também à capacidade de expansão do grão.

Apesar de o milho-pipoca ser um alimento bastante apreciado no Brasil e do aumento crescente constatado em sua produção e consumo, são poucos os trabalhos que analisam o efeito de danos mecânicos sobre a qualidade tecnológica dos grãos e a qualidade fisiológica das sementes. Não foi encontrado registro de trabalhos na literatura especializada avaliando o efeito do impacto mecânico controlado sobre a qualidade das sementes de milho-pipoca por meio da lixiviação eletrolítica dos solutos celulares, representada pela condutividade elétrica da solução de embebição, como parâmetro de avaliação da qualidade tecnológica.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo geral de avaliar o efeito da interação entre a danificação mecânica por impacto controlado e o tempo de armazenamento sobre as qualidades tecnológica e fisiológica das sementes de milho-pipoca.

2.2. Objetivos específicos

Este trabalho foi desenvolvido com os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar os efeitos imediato e latente da danificação mecânica em diferentes intensidades sobre as qualidades tecnológica e fisiológica das sementes de milho-pipoca.
- Verificar a possibilidade de utilização do teste de condutividade elétrica como avaliador da qualidade tecnológica dos grãos de milho-pipoca.
- Propor uma equação para avaliar a capacidade de expansão dos grãos de milho-pipoca por meio dos valores do teste de condutividade elétrica.
- Verificar a possibilidade de redução do período de condução do teste de condutividade elétrica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A cultura do milho-pipoca

O milho-pipoca caracteriza-se por apresentar sementes duras e pequenas que, sob a ação do calor, estouram, originando a pipoca. A exemplo das demais variedades de milho, pertence à espécie botânica *Zea mays* L. Portanto, a característica do pipocamento constitui a diferença básica entre esse e os outros tipos. Sabe-se que também os grãos do tipo “flint” podem estourar, embora de maneira não muito eficiente. Assim, somente o milho-pipoca oferece, depois de estourado, características que o tornam muito apreciado pela sua maciez e sabor (ZINSLY e MACHADO, 1987).

O melhoramento de cultivares e o desenvolvimento de uma tecnologia de produção específica para o milho-pipoca levaram a um aumento significativo na qualidade do produto nos Estados Unidos. Tal fato contribuiu para a ampla aceitação dos híbridos americanos no mercado brasileiro, tornando o país um importante importador de grãos de milho-pipoca (SAWAZAKI, 2001).

No Brasil, tem-se notado aumento no consumo desde a chegada do milho-pipoca importado dos Estados Unidos para uso em fornos de microondas. Como a demanda é fator determinante nos agronegócios, o cultivo brasileiro desse milho tende a expandir-se em razão do crescente consumo. Para isso, conta com alguns fatores favoráveis, como a possibilidade de a cultura ser mecanizada, embora seja mais exigente em termos de cuidados, quando comparada com a do milho comum, e de seu

valor comercial ser, no mínimo, três vezes superior ao deste, conforme comentado por Machado (1997).

3.2. Qualidade tecnológica

A capacidade que o milho-pipoca tem de estourar quando aquecido denomina-se capacidade de expansão. Tal parâmetro pode ser estimado por meio do volume de pipoca em relação ao peso dos grãos (usualmente expresso em mL/g) ou pelo volume de pipoca em relação ao volume dos grãos (mL/mL). A relação volume/volume está sujeita a maiores variações, devido à falta de precisão ao se medir o volume da amostra. A expansão ocorre devido à resistência do pericarpo, associado aos teores de água e de óleo do grão.

Segundo Zinsly e Machado (1987), as variedades comerciais de milho-pipoca devem apresentar valores de capacidade de expansão superiores a 15 mL/mL, pois, abaixo desse índice, o milho se apresenta muito rígido e com alta proporção de grãos sem estourar. O valor da capacidade de expansão para uma pipoca de boa qualidade deve estar acima de 32 mL/g. Para pipoca de microondas, esse valor deve ser acima de 39 mL/g (SAWAZAKI, 2001).

A explicação para o fato de milho-pipoca “estourar” está na fina cápsula que envolve o endosperma do grão. A película da semente funciona como uma espécie de parede rígida, semelhante a um reator sem válvulas, que se rompe quando a pressão interna aumenta, por causa do calor que é transferido para o interior do grão (DALBELLO et al., 1995). Essa película apresenta uma eficiência de condução de calor para o endosperma três vezes mais do que para a película do milho comum. Isso se deve à distribuição das fibras de celulose que a formam. No milho-pipoca, essa distribuição é feita de forma regular, quase num arranjo típico de cristal, enquanto no milho comum elas se organizam de modo amorfo. Outro resultado da distribuição das fibras de celulose é o fato de a resistência da película do milho-pipoca ser quatro vezes superior à do milho comum, permitindo-lhe suportar maiores pressões e forças de impacto, sob as mesmas condições.

A resistência do pericarpo está associada aos teores de água e de óleo do grão. Ao ser submetido ao calor, o amido se expande, aumentando gradualmente a pressão interna, mantida pelo pericarpo, até que ocorra a explosão (SILVA et al., 1993). Evidencia-se, dessa forma, a grande importância da integridade do pericarpo, uma vez

que essa estrutura suporta alta pressão e alta temperatura. Se no pericarpo existirem fendas ou trincas, a pressão ideal não poderá ser atingida e, conseqüentemente, a sua capacidade de expansão reduzirá (HOSENEY et al., 1983).

O volume de expansão ou capacidade de expansão pode ser afetado por vários fatores, dentre os quais estão: o teor de umidade inicial na ocasião da colheita, o teor de umidade final (depois da secagem), a existência de danos mecânicos, a temperatura do ar de secagem, a temperatura proporcionada pela pipocadora utilizada e o tamanho, forma e massa específica do grão.

De acordo com Song e Eckhoff (1994), o teor de umidade para uma expansão máxima varia de acordo com o tamanho dos grãos. Em sua pesquisa, esses autores trabalharam com grãos de diferentes tamanhos e, quando não ocorreu o controle do tamanho dos grãos, ou seja, grãos de diferentes tamanhos em mistura, o teor de umidade ótimo para uma máxima expansão foi de 13% b.u.

Pacheco et al. (1996), estudando o efeito de três níveis de danificação mecânica, durante a debulha, na qualidade fisiológica e capacidade de expansão de sementes de milho-pipoca, verificaram que sementes danificadas têm sua germinação, vigor e capacidade de expansão significativamente reduzidos.

Ruffato et al. (2000), trabalhando com os cultivares Zélia e CMS 43, avaliaram os efeitos dos métodos de colheita e debulha de grãos, dos teores de umidade inicial, da temperatura do ar de secagem e do tempo de armazenamento sobre a capacidade de expansão do milho-pipoca. Os autores concluíram que houve efeito significativo da mecanização da colheita e do aumento da temperatura do ar de secagem na redução da capacidade de expansão do milho-pipoca. Os valores da capacidade de expansão elevaram-se durante o período de armazenamento. De acordo com Zinsly e Machado (1987), quando bem armazenadas, a capacidade de expansão das sementes de milho-pipoca pode ser mantida durante um período de 15 a 20 anos.

Corrêa et al. (2001), trabalhando com secagem de milho-pipoca da cultivar Zélia em camada fina, com temperaturas do ar de secagem de 40, 50 e 60 °C e velocidade do ar de secagem de 1 m.s⁻¹, verificaram haver efeito da temperatura do ar de secagem sobre a qualidade do produto estudado. Esses autores chegaram à conclusão de que o aumento da temperatura do ar de secagem provoca diminuição na capacidade de expansão do milho-pipoca em razão, possivelmente, da alta taxa de retirada de água do produto e da alta temperatura do ar de secagem, provocando danos ao pericarpo do grão (película protetora), não sendo recomendadas altas temperaturas do ar de secagem

para o milho-pipoca com a vazão de ar utilizada. Esses resultados concordam com os encontrados por Ruffato et al. (2000).

3.3. Danos mecânicos

Os danos mecânicos que as sementes podem sofrer durante o processo produtivo são causados pela atuação de forças externas, sob condições estáticas ou dinâmicas, ou de forças internas resultantes de mudanças devidas às variações na temperatura e no seu teor de umidade ou de mudanças resultantes de fatores biológicos e químicos (MOHSEIN, 1986; ZAPP et al., 1990).

Com a crescente demanda de sementes de alta qualidade para o estabelecimento de uma agricultura mais produtiva e sustentável, cresce também a necessidade de monitorar cada fase do processo produtivo. No caso específico do milho-pipoca, os danos mecânicos a que as sementes são submetidas durante as diferentes fases do processo produtivo são os principais fatores causadores de perda da qualidade fisiológica e tecnológica do produto (PACHECO et al., 1996).

Praticamente, é inevitável a ocorrência dos danos mecânicos nas sementes devido ao uso de colheitadeiras, debulhadoras e máquinas de beneficiamento. Apesar da perfeita regulagem dessas máquinas, as espigas e sementes são severamente impactadas, resultando em danos em menor ou maior intensidade. Essas danificações podem também ocorrer durante o transporte, secagem e beneficiamento, quando as sementes passam por elevadores, transportadores e máquinas de beneficiamento e limpeza, sofrendo quedas, impactos e abrasões que causam lesões ou danos no tegumento, endosperma e embrião. Além dos danos visíveis, representados por rachaduras, quebras ou, até mesmo, pela fragmentação, danos imperceptíveis à visão podem comprometer a qualidade fisiológica da semente. Pode haver redução no poder germinativo logo após a incidência do dano, efeitos imediatos, ou podem ocorrer efeitos latentes, os quais se manifestam depois de períodos variáveis de armazenamento (POPINIGIS, 1985).

Quando os danos mecânicos são visíveis (sementes partidas e com rupturas no tegumento), o material danificado pode ser separado durante a limpeza por máquinas que classificam os produtos de acordo com a forma, o tamanho e suas propriedades físicas. Danos internos e rupturas de baixa intensidade são difíceis de serem detectados e tornam os grãos suscetíveis ao ataque de insetos e microrganismos, influenciando diretamente a qualidade final do produto (CHAVES, 1990).

As sementes quebradas são facilmente eliminadas durante o beneficiamento. Porém, aquelas danificadas em menor intensidade não o são, acompanhando a massa do produto a ser armazenada. Essas sementes podem se deteriorar durante o período de armazenamento, tornando-se focos de contaminação e afetando as sementes sadias vizinhas. A deterioração de sementes mecanicamente danificadas se processa essencialmente pela ação de microrganismos (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

Uma etapa importante no processamento de sementes de milho é a debulha mecânica. O impacto, abrasão e cisalhamento, que normalmente ocorrem por ocasião da debulha, constituem fatores altamente deletérios para a qualidade das sementes, causando, de imediato, danos físicos e queda na germinação e vigor, podendo ainda ocorrer danos internos que, mesmo não sendo visíveis, podem afetar a qualidade das sementes durante o armazenamento (BORBA et al., 1995).

No caso específico do milho-pipoca, além do efeito deletério da debulha mecânica na qualidade fisiológica das sementes, existe a danificação do pericarpo, o que acarreta a diminuição da sua capacidade de expansão (ZINSLY e MACHADO, 1987).

Segundo Bewley e Black (1994), os danos mecânicos são causados por agentes físicos durante os processos de plantio, colheita, beneficiamento, armazenamento e transporte, resultando em abrasões, trincas, rachaduras e quebras, que estão diretamente relacionados com reduções na germinação, emergência e vigor, reduzindo o potencial de armazenamento das sementes. De acordo com Carvalho e Nakagawa (2000), os danos mecânicos podem destruir estruturas essenciais das sementes, aumentar a suscetibilidade a microrganismos e a sensibilidade a fungicidas, além de reduzir a germinação, o vigor, o potencial de armazenamento e o desempenho em campo.

Alguns autores, estudando danos por impacto em diversos produtos agrícolas, verificaram ser significativa a influência da velocidade do impacto sobre a qualidade final do produto (HOKI e PICKETT, 1973; MATHEW e HYDE, 1997; ANDRADE et al., 1998). De modo geral, a velocidade e o número de impactos, assim como o teor de umidade, exercem influência sobre a qualidade do produto, a qual decresce a velocidades mais elevadas e teores de umidade mais baixos (CHAVES et al., 1992; ANDRADE et al., 1998). Os danos têm efeito cumulativo, e aquele causado pelo impacto anterior soma-se ao de um novo impacto. A cada impacto, o produto se torna mais sensível ao dano mecânico e, com isso, a qualidade do material decresce conforme a quantidade de impactos que ele recebeu.

3.4. Qualidade fisiológica

O uso de sementes de alta qualidade é um dos pré-requisitos fundamentais para se conseguir maior produtividade na lavoura. A qualidade fisiológica das sementes é influenciada pelas características genéticas herdadas de seus progenitores, além da germinação e vigor, sendo estes dois últimos fatores afetados pelas condições ambientais, métodos de colheita, secagem, processamento, tratamento, condições de armazenamento e embalagem.

O teste de germinação fornece informações sobre o potencial de uma amostra em germinar sob condições ótimas de ambiente, sendo considerado como padrão, com ampla possibilidade de repetição dos resultados, dentro de níveis razoáveis de tolerância, desde que sejam seguidas as instruções preestabelecidas. Porém, segundo Popinigis (1985), a perda do poder germinativo é a última conseqüência do processo de deterioração da semente.

Considerando que os testes de vigor são mais sensíveis para avaliar a qualidade fisiológica das sementes, quando comparados com teste de germinação (ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS, 1983), qualquer evento que preceda a perda do poder germinativo pode servir como base para o desenvolvimento dos testes de vigor. Entretanto, acredita-se que, quanto mais próximo da maturidade fisiológica (ou mais distante da perda do poder germinativo) estiver a variável avaliada, mais sensível deverá ser o teste. Segundo as tendências atualmente defendidas por diversos especialistas no assunto, são considerados eficientes os testes que permitem separar lotes de sementes em diferentes categorias de vigor.

Marcos Filho (1999b) relataram que os testes de vigor possibilitam avaliar ou detectar diferenças significativas na qualidade fisiológica entre dois lotes de sementes que apresentam poder germinativo semelhante. Contudo, esses autores mencionaram que este fato não deve implicar substituir o teste de germinação pelos de vigor, mas sim utilizá-los como informação complementar daquelas obtidas pelo teste de germinação. Os testes de vigor têm sido instrumentos de uso cada vez mais rotineiro pela indústria de sementes para determinação da sua qualidade fisiológica. As empresas produtoras e as instituições oficiais têm incluído esses testes em programas internos de controle de qualidade ou para a garantia da qualidade das sementes destinadas à comercialização.

Carneiro et al. (2003), estudando o efeito da debulha e da classificação sobre a qualidade fisiológica de sementes de milho-pipoca durante o armazenamento,

encontraram que a debulha mecânica teve efeito prejudicial na germinação e vigor das sementes de milho-pipoca. Eles também encontraram que as sementes que não foram classificadas foram as que sofreram maior efeito da debulha mecânica. Eles também constataram que as sementes tiveram seu vigor reduzido quando armazenadas em condições não-controladas. Independentemente da classificação das sementes, a debulha e o armazenamento influenciaram sua germinação e vigor.

Carvalho e Nakagawa (2000) relataram que as condições ambientais exercem influência acentuada sobre a manifestação do potencial fisiológico das sementes e, portanto, se a semeadura for realizada em condições ambientais desfavoráveis, a emergência de plântulas em campo pode ser inferior à porcentagem de germinação determinada em laboratório. Portanto, há necessidade da inclusão de testes, em programas de controle de qualidade, que permitam, pelo menos, identificar diferenças no potencial fisiológico de lotes com alto índice de germinação, além de detectar possíveis diferenças no potencial de desempenho entre lotes com índice de germinação semelhante.

Nesse sentido, podem-se destacar os testes de frio, nos quais as sementes são submetidas a condições adversas de temperatura, e o de envelhecimento acelerado, no qual as sementes são submetidas a condições adversas de temperatura e umidade relativa (MARCOS FILHO et al., 1999a).

Como a degradação das membranas celulares se constitui, hipoteticamente, no primeiro evento do processo de deterioração (DELOUCHE e BASKIN, 1973), os testes que avaliam a integridade das membranas seriam, teoricamente, os mais sensíveis para estimar o vigor. Portanto, para essa finalidade, pode-se destacar o teste de condutividade elétrica, no qual a qualidade das sementes é avaliada indiretamente por meio da determinação da quantidade de lixiviados na solução de embebição das sementes. Os menores valores, correspondentes à menor taxa de lixiviação, indicam alto potencial fisiológico (maior vigor), revelando menor intensidade de desorganização dos sistemas das membranas das células (VIEIRA e KRZYZANOWSKI, 1999).

Um dos primeiros sinais da deterioração das sementes, principalmente em função do período de armazenamento prolongado, está relacionado com a alteração ou perda da integridade das membranas celulares (DELOUCHE e BASKIN, 1973). Vários são os fatores que estão relacionados à permeabilidade das membranas, dentre os quais podem ser citados a idade da semente, suas condições fisiológica e física e, notadamente, a incidência de danos mecânicos (POWELL, 1986).

Com o aumento do grau de deterioração, diminui-se a capacidade de reorganização das membranas celulares, resultando no decréscimo da porcentagem de germinação e vigor das sementes (LIN, 1990). A velocidade de reorganização do sistema de membranas reflete o vigor da semente. A lixiviação eletrolítica dos constituintes celulares está inversamente associada ao vigor, com base em três fatores: reflete a perda da integridade das membranas, representa a conseqüente perda de compartimentalização dos constituintes celulares e constitui excelente substrato para o desenvolvimento de microrganismos, acelerando o processo de deterioração da semente (WOODSTOCK, 1988).

Andrade et al. (1999), estudando o efeito de danos mecânicos em sementes de feijão, por meio do teste de condutividade elétrica, concluíram que o método foi satisfatório para diferenciar os tratamentos com distintos níveis de danificação mecânica. Afonso Júnior et al. (2003) encontraram resultados semelhantes ao analisarem o efeito do impacto mecânico induzido na qualidade de grãos de café. Couto et al. (1998), trabalhando com soja e variando a intensidade do dano e o tempo de embebição das sementes, concluíram que o teste de condutividade elétrica também foi capaz de distinguir lotes com diferentes níveis de danificação.

Os resultados da condutividade elétrica podem ser influenciados por vários fatores, como: teor de água inicial das sementes (ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS, 1983; LOEFFLER et al., 1988), período de embebição (MARCOS FILHO et al., 1990; DIAS e MARCOS FILHO, 1996) e temperatura de embebição (LOEFFLER et al., 1988).

A duração do período de embebição das sementes possui efeito direto nos resultados do teste de condutividade elétrica. De acordo com Dias e Marcos Filho (1996), trabalhando com soja, períodos mais curtos (4 e 8 h) podem ser utilizados para a identificação de diferenças mais acentuadas de vigor entre os lotes, enquanto valores de condutividade elétrica obtidos depois de períodos a partir de 16 h são mais sensíveis a menores variações de vigor entre os lotes de sementes.

Assim, tradicionalmente o teste de condutividade elétrica tem sido realizado com 24 h de condicionamento, de acordo com as recomendações da Ista (MATTHEWS e POWELL, 1981) e da Association of Official Seed Analysts (1983), por se tratar de um período adequado para a rotina normal dos laboratórios de análise de sementes. No entanto, a rapidez na obtenção das informações tem sido preconizada como fator fundamental para a dinamização dos programas de controle de qualidade interna exercidos pelas entidades produtoras de sementes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade de Produtos Agrícolas do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem – CENTREINAR, e no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia, ambos da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Foram utilizadas sementes de milho-pipoca cultivar UFVM2 provenientes da Estação Experimental de Coimbra, MG, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da UFV.

A fim de evitar a influência de outros tipos de danos mecânicos nos resultados, as sementes foram colhidas e debulhadas à mão e secadas à sombra até o teor de umidade de aproximadamente 13% b.u. As determinações de teor de umidade das sementes foram realizadas empregando-se o método da estufa, a 105 ± 3 °C, por um período de 24 horas, conforme as recomendações das Regras para Análises de Sementes – RAS (BRASIL, 1992).

Depois de secas, as sementes foram submetidas a impactos mecânicos controlados, utilizando como fonte impactadora o equipamento Stein Breakage Tester, modelo CK2-M (Figura 1). Esse aparelho é dotado de um cilindro de aço que gira a 1.800 rpm e que, por meio de uma hélice central, lança as sementes contra as paredes do cilindro, promovendo o impacto. Dividiram-se os tratamentos em função da duração do impacto a que as sementes de milho-pipoca foram submetidas, de acordo com o Quadro 1. Os tempos utilizados para a danificação das sementes de milho-pipoca foram obtidos através de ensaios preliminares.



Figura 1 – Aparelho de simulação dos danos mecânicos.

Quadro 1 – Distribuição dos tratamentos em função do tempo de duração do impacto a que as sementes foram submetidas no equipamento Stein Breakage Tester

Tratamento	Tempo de danificação (min)
1	0,0 (Testemunha)
2	0,5
3	1,0
4	1,5
5	2,0
6	2,5
7	3,0

Depois do tratamento de impacto, com o objetivo de manter as condições normais de comercialização no varejo, 600 g de sementes foram embalados em sacos de polipropileno de baixa densidade, devidamente lacrados com seladora elétrica e

identificados (Figura 2). As sementes foram, então, armazenadas por um período de seis meses em condições não controladas de ambiente, sendo analisadas no início do experimento e a cada mês subsequente.



Figura 2 – Lotes de sementes de milho-pipoca identificados por tratamento de impacto.

4.1. Avaliação da qualidade tecnológica

A avaliação da qualidade tecnológica das sementes de milho-pipoca foi realizada por meio do teste de capacidade de expansão, utilizando-se o equipamento da Cretors, modelo MWVT (Figura 3). Foram utilizadas três repetições por tratamento de 250 g de sementes, sendo os resultados expressos em mL/g.

4.2. Avaliação do efeito da danificação mecânica pela condutividade elétrica

O efeito do impacto mecânico na danificação das sementes foi avaliado utilizando-se o teste de condutividade elétrica, de acordo com a metodologia descrita por Vieira e Krzyzanowski (1999). Foram pesadas quatro subamostras de 50 sementes de cada tratamento. As sementes foram colocadas em copos de plástico com 75 mL de água deionizada e mantidas em uma câmara do tipo BOD com temperatura constante de 25 °C, durante 24 h. Depois desse período, procedeu-se à leitura de condutividade



Figura 3 – Pipocador-padrão de amostras Cretors, modelo MWVT.

elétrica da solução de embebição por meio de condutímetro portátil da marca Digimed, modelo DM3, sendo os resultados expressos em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de sementes. Esses resultados foram também utilizados como avaliadores da qualidade fisiológica das sementes (vigor).

Com a finalidade de avaliar a condutividade elétrica como um índice alternativo da qualidade tecnológica do milho-pipoca, ajustou-se um modelo matemático que pudesse apresentar alta correlação entre esta variável e a capacidade de expansão, índice tradicional de avaliação.

4.2.1. Análise do tempo de embebição

A fim de testar a possibilidade de redução do período para o teste de condutividade elétrica, realizou-se um experimento paralelo, em que foram realizadas leituras, de hora em hora, ao longo das 24 h de condução do teste, nas mesmas condições descritas no item 4.2, utilizando-se três subamostras em cada tratamento.

4.3. Avaliação da qualidade fisiológica das sementes

Além do teste de condutividade elétrica descrito no item 4.2, a qualidade fisiológica das sementes de milho-pipoca foi avaliada também, por meio de mais quatro testes, da forma descrita nos tópicos subseqüentes.

4.3.1. Teste de germinação

Foram utilizadas quatro subamostras de 50 sementes em cada repetição. O substrato usado foi o papel germitest umedecido com água destilada, utilizando-se volume equivalente a 2,5 vezes o peso do papel. Os rolos foram colocados em germinador com temperatura regulada de 25 °C. As avaliações foram realizadas no 4^o e no 7^o dia, depois da montagem do teste, segundo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

4.3.2. Primeira contagem do teste de germinação

Consistiu da porcentagem de plântulas normais, registrada por ocasião da primeira contagem do teste de germinação no 4^o dia a partir do seu início (BRASIL, 1992).

4.3.3. Teste de envelhecimento acelerado

Foi realizado conforme a metodologia descrita por Marcos Filho (1999a), com quatro subamostras de 50 sementes em cada repetição, distribuídas sobre tela acoplada em caixas de plástico do tipo gerbox, contendo ao fundo 40 mL de água destilada, não ficando as sementes em contato com a água. Em seguida, as caixas foram tampadas de modo a obter umidade relativa com valor próximo a 100% em seu interior. As caixas foram mantidas em câmara do tipo BOD durante 96 horas, com temperatura de 42 °C, aproximadamente. Depois desse período, foi montado o teste de germinação, segundo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992), sendo a avaliação da porcentagem de plântulas normais realizada no 4^o dia depois da semeadura.

4.3.4. Teste de frio modificado

Este teste foi realizado segundo a metodologia descrita por Barros et al. (1999), com quatro subamostras de 50 sementes, distribuídas em rolos de papel umedecido com água destilada (2,5 vezes o peso do papel). Depois da montagem, os rolos foram colocados em sacos de plástico fechados com atilhos de borracha e mantidos em uma câmara do tipo BOD com temperatura controlada de 10 °C, durante sete dias. Depois desse período, os rolos foram retirados dos sacos de plástico e transferidos para um germinador com temperatura controlada de 25 °C, sendo a avaliação da porcentagem de plântulas normais registrada no 4^o dia.

4.4. Análise estatística

O experimento foi montado em parcelas subdivididas 7 x 7, com sete níveis de duração do impacto nas parcelas e sete épocas distintas de armazenamento nas subparcelas, em um delineamento inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos à análise de regressão, a fim de se estabelecerem equações que representem as interações entre as variáveis analisadas. Os modelos foram escolhidos com base na significância da equação, pelo teste F, e dos coeficientes de regressão (β 's), utilizando-se o teste "t", a fim de se estabelecer o efeito da danificação mecânica induzida sobre as qualidades tecnológica e fisiológica das sementes de milho-pipoca durante o armazenamento.

A fim de atender às pressuposições da análise de variância, ou seja, a distribuição normal dos dados observados, os resultados dos testes de germinação, de primeira contagem do teste de germinação, de envelhecimento acelerado e de frio modificado das sementes de milho-pipoca foram transformados em arco-seno $(X\%/100)^{0,5}$, em que X% representa a porcentagem de plântulas normais obtida pelos testes mencionados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 4 são apresentados os valores médios diários de temperatura e umidade relativa do ar do ambiente de armazenagem das sementes de milho-pipoca. Observa-se, nessa figura, que a temperatura e a umidade relativa do ar no ambiente durante o período de armazenagem variaram entre os valores aproximados de 15 a 30 °C e 67 a 100%, respectivamente, apresentando temperatura média de 22,2 °C e umidade relativa do ar média de 87,9%.

No Quadro 2 são apresentados os valores do teor de umidade (% b.u.) das sementes de milho-pipoca submetidas a diferentes tempos de impacto e armazenadas durante o período de seis meses.

Os resultados apresentados no Quadro 2 indicaram, de modo geral, que as sementes apresentaram uma pequena diminuição nos valores do teor de umidade ao longo do período de armazenamento, em relação ao teor de umidade do produto no início da estocagem. Essas oscilações observadas são próprias da natureza biológica do material, sem maiores conseqüências que possam interferir na interpretação dos resultados dos testes de qualidade tecnológica realizados.

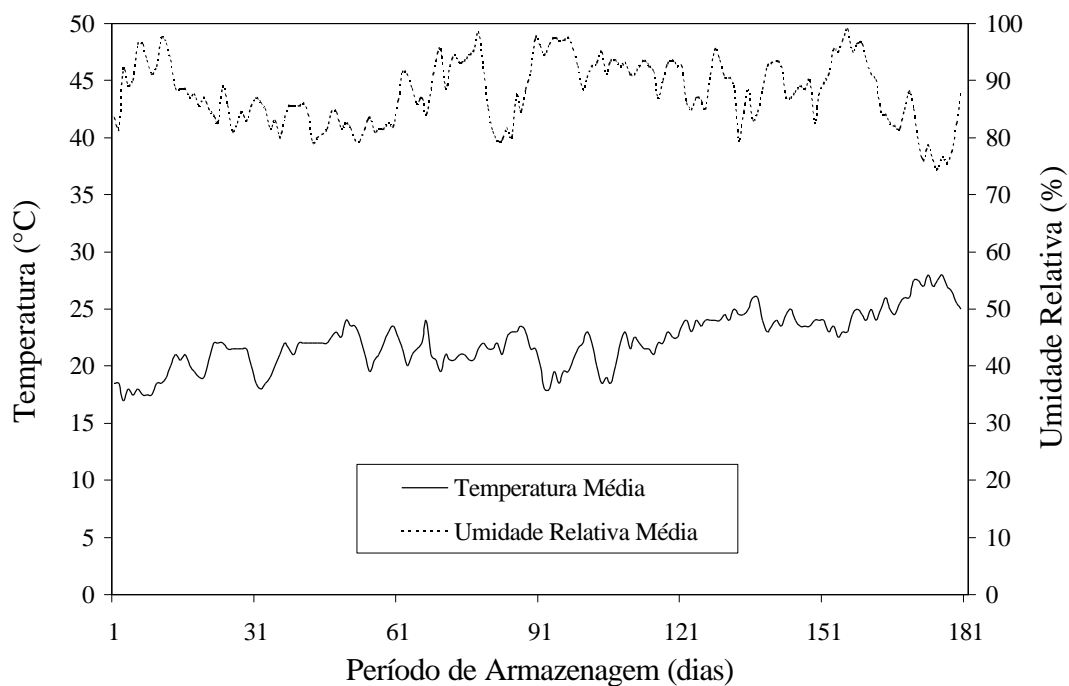


Figura 4 – Médias diárias de temperatura e umidade relativa do ar, durante o armazenamento das sementes de milho-pipoca em ambiente não controlado.

Quadro 2 – Valores médios do teor de umidade (% b.u.) em função do tempo de armazenamento e da duração do impacto

Duração do impacto (min)	Tempo de Armazenamento (dia)						
	0	30	60	90	120	150	180
0,0	13,2	13,2	13,1	12,9	13,0	12,4	12,7
0,5	13,1	13,1	13,0	12,8	12,8	12,5	12,8
1,0	13,1	13,0	13,0	12,8	12,7	12,5	12,8
1,5	13,1	13,0	13,0	12,7	12,7	12,4	12,7
2,0	13,1	12,9	12,8	12,5	12,7	12,4	12,6
2,5	13,2	12,9	12,8	12,6	12,6	12,5	12,5
3,0	13,1	13,0	12,8	12,7	12,8	12,5	12,6

5.1. Modelagem

De acordo com os valores encontrados nos testes de qualidades tecnológica e fisiológica das sementes de milho-pipoca, procurou-se uma equação que pudesse ser modelada aos resultados de todos os testes realizados. O modelo que melhor se ajustou aos valores observados pelos testes de capacidade de expansão (CEP), condutividade elétrica (CEL), germinação (TG), primeira contagem do teste de germinação (PC), envelhecimento acelerado (EA) e teste de frio modificado (TF), representando mais adequadamente a interação entre a duração do impacto e o tempo de armazenamento a que as sementes de milho-pipoca foram submetidas, foi (equação 1):

$$Z = e^{\beta_1 + \beta_2 \cdot TA + \beta_3 \cdot TI^{0,5} + \beta_4 \cdot TA \cdot TI} \quad \text{Equação (1)}$$

em que:

Z = variável analisada (CEP, CEL, TG, PC, EA e TF);

TA = tempo de armazenamento (dias);

TI = duração do impacto (min); e

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ e β_4 = parâmetros do modelo.

5.2. Avaliação da qualidade tecnológica

No Quadro 3, encontra-se o resumo da análise de variância dos resultados obtidos no teste de capacidade de expansão do milho-pipoca submetido à danificação mecânica e armazenados durante seis meses. Observa-se que existem diferenças significativas entre todos os fatores analisados: duração do impacto, tempo de armazenamento e interação entre esses dois fatores.

No Quadro 4, encontram-se as estimativas dos parâmetros ($\hat{\beta}$'s) e o coeficiente de determinação (R^2) do modelo ajustado (equação 1) aos valores de capacidade de expansão (mL/g) em função da duração do impacto (minuto) e do tempo de armazenamento (dia). O modelo ajustado mostrou-se adequado para estimar a capacidade de expansão do milho-pipoca, apresentando significância satisfatória dos parâmetros e alto valor do coeficiente de determinação (R^2).

Quadro 3 – Resumo da análise de variância dos valores obtidos para a capacidade de expansão dos grãos de milho-pipoca submetidos a diferentes durações de impacto e a diferentes tempos de armazenamento

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio
Tempo de armazenamento (TA)	6	5,01**
Resíduo (a)	14	0,16
Duração do impacto (TI)	6	1155,59**
TA x TI	36	0,35**
Resíduo (b)	84	0,15
Total	146	
C.V. 1 (%)		2,02
C.V. 2 (%)		1,93

** Significativo a 1% de significância, pelo teste F.

Quadro 4 – Estimativa dos parâmetros β_1 , β_2 , β_3 e β_4 da equação estimada para os valores de capacidade de expansão em função da duração do impacto e do tempo de armazenamento, com o respectivo coeficiente de determinação (R^2)

$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	R^2
3,4931	0,0005**	-0,5050**	-0,0002*	97,67 ⁺⁺

⁺⁺ Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Na Figura 5 é apresentada a superfície de resposta, estimada de acordo com a equação (1), contendo os valores observados e estimados da capacidade de expansão do milho-pipoca em função da duração do impacto e do tempo de armazenamento. Nessa figura, é possível observar que os valores da capacidade de expansão são inversamente proporcionais à danificação mecânica, ocorrendo diminuição de seus valores à medida que aumentou a duração de impacto em todas épocas de armazenamento. A menor expansão dos grãos ocorreu, provavelmente, devido à maior danificação do pericarpo, em decorrência do aumento da duração do impacto a que os grãos foram submetidos, uma vez que a expansão ocorre devido à resistência do pericarpo ao aumento da pressão

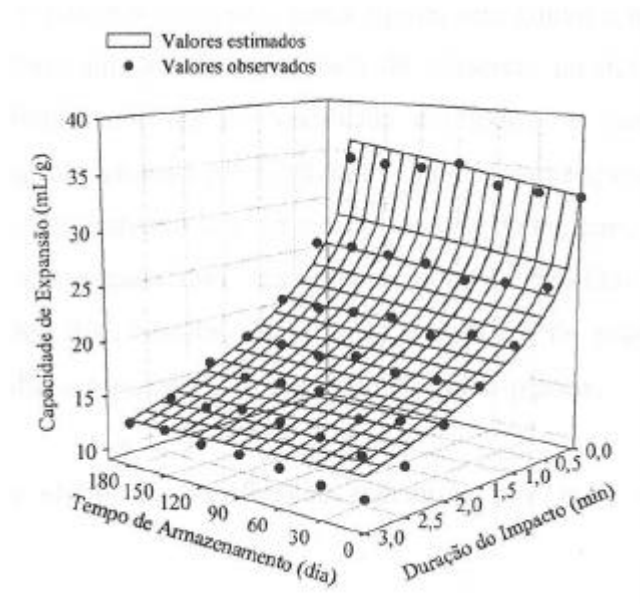


Figura 5 – Valores observados e estimados da capacidade de expansão (mL/g) do milho-pipoca, em função da duração do impacto e do tempo de armazenamento.

interna. Com relação ao tempo de armazenamento, observou-se um ligeiro aumento de seus valores ao longo desse período. Esses resultados concordam com os encontrados por Ruffato et al. (2000), ao avaliarem os efeitos dos métodos de colheita e debulha de grãos e do tempo de armazenamento sobre a capacidade de expansão do milho-pipoca.

Na Figura 5, é possível verificar ainda que somente a testemunha manteve valores de capacidade de expansão acima de 32 mL/g, limite que indica a boa qualidade do produto (SAWAZAKI, 2001). Quanto aos demais tratamentos, à medida que aumentou a duração do impacto, reduziram-se os valores da capacidade de expansão, ressaltando-se que os grãos submetidos a 2,5 e 3,0 minutos de impactos apresentaram valores abaixo de 15 mL/g. De acordo com Zinsly e Machado (1987), esses grãos não poderiam ser comercializados, haja vista que, para a comercialização, os valores de capacidade de expansão devem ser superiores a 15 mL/g.

A tendência apresentada de redução dos valores de capacidade de expansão à medida que se aumentou a quantidade de danos nas sementes também foi observada por Pacheco et al. (1996), que, avaliando o efeito de três níveis de danificação mecânica, durante a debulha, sobre a qualidade fisiológica e capacidade de expansão de sementes de milho-pipoca, encontraram que sementes danificadas têm a sua germinação, seu vigor e sua capacidade de expansão significativamente reduzidos.

Também é possível observar, nessa figura, que houve a tendência de ligeiro acréscimo aos valores iniciais da capacidade de expansão no decorrer do tempo de armazenamento. Essa tendência foi verificada em todos os tratamentos, inclusive naqueles que foram submetidos a 2,5 e 3,0 min de impacto, que apresentaram valores de capacidade de expansão abaixo dos 15 mL/g, recomendados para a comercialização. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Ruffato et al. (2000), ao avaliarem os efeitos dos métodos de colheita e debulha de grãos e do tempo de armazenamento sobre a capacidade de expansão do milho-pipoca.

5.3. Avaliação do efeito da danificação mecânica por meio da condutividade elétrica

No Quadro 5, encontra-se o resumo da análise de variância dos resultados obtidos no teste de condutividade elétrica da solução de embebição contendo as sementes de milho-pipoca. Observa-se, nesse quadro, que existem diferenças significativas entre todos os fatores analisados: duração do impacto, tempo de armazenamento e interação entre esses dois fatores.

Quadro 5 – Resumo da análise de variância dos dados obtidos da condutividade elétrica das sementes de milho-pipoca submetidas a diferentes tempos de impacto e a diferentes tempos de armazenamento

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio
Tempo de armazenamento (TA)	6	4944,03**
Resíduo (a)	21	7,73
Duração do impacto (TI)	6	4432,98**
TA x TI	36	166,86**
Resíduo (b)	126	6,33
Total	195	
C.V. 1 (%)		8,75
C.V. 2 (%)		7,92

** Significativo a 1% de significância, pelo teste F.

No Quadro 6, encontram-se as estimativas dos parâmetros ($\hat{\beta}$'s) do modelo ajustado (equação 1) e o coeficiente de determinação (R^2) dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$), em função da duração do impacto (minuto) e do tempo de armazenamento (dia). A equação obtida mostrou-se adequada para estimar a condutividade elétrica da solução contendo as sementes de milho-pipoca, apresentando significância satisfatória dos parâmetros e alto valor do coeficiente de determinação (R^2).

Quadro 6 – Estimativa dos parâmetros β_1 , β_2 , β_3 e β_4 da equação estimada em função da duração do impacto e do tempo de armazenamento dos valores de condutividade elétrica, com o respectivo coeficiente de determinação (R^2)

$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	R^2
1,6448	0,0077**	0,9431**	-0,0006***	95,80 ⁺⁺

⁺⁺ Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

*** Significativo a 10% de probabilidade, pelo teste t.

Na Figura 6 é apresentada a superfície de resposta, ajustada de acordo com a equação (1), contendo os valores observados e estimados de condutividade elétrica da solução em função da duração do impacto e do tempo de armazenamento a que as sementes foram submetidas. Nessa figura é possível observar que os valores de condutividade elétrica aumentam à medida que também aumentaram a duração do impacto e o tempo de armazenamento. Verifica-se ainda que o aumento na duração do impacto provoca redução na integridade do pericarpo das sementes, acarretando aumento de lixiviados na solução de embebição e, conseqüentemente, maiores valores de condutividade elétrica. Esses resultados concordam com os encontrados por Carneiro et al. (2003), estudando o efeito da debulha e da classificação sobre a qualidade fisiológica de sementes de milho-pipoca durante o armazenamento.

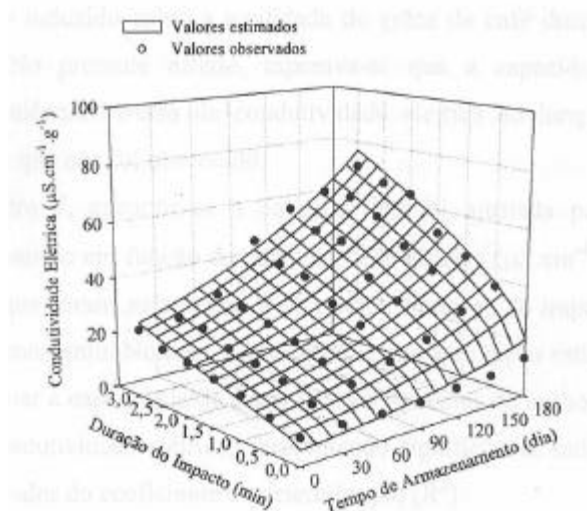


Figura 6 – Valores observados e estimados da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) das sementes de milho-pipoca em função do tempo de armazenamento e do tempo de duração do impacto.

Conclusão semelhante foi encontrada por Couto et al. (1998), trabalhando na elaboração de um método quantitativo de avaliação de danos mecânicos em sementes de soja, por meio da condutividade elétrica, variando a intensidade do dano e o tempo de embebição das sementes. Resultados semelhantes também foram encontrados por Andrade et al. (1999), que, trabalhando com sementes de feijão, obtiveram maiores valores de condutividade elétrica à medida que aumentou a velocidade de impacto a que as sementes foram submetidas.

Na Figura 6, observa-se, de modo geral, que os valores de condutividade elétrica tendem a aumentar significativamente ao longo do tempo de armazenagem, o que está de acordo com alguns trabalhos encontrados na literatura especializada, que, avaliando o efeito da danificação mecânica sobre a qualidade de diversos grãos durante o armazenamento, constataram que a integridade das membranas celulares decresce com o aumento do tempo de armazenagem do produto danificado (COUTINHO, 1984; ANDRADE et al., 1998; ARAÚJO et al., 2002). Além disso, pode-se verificar que os valores de condutividade elétrica são mais elevados, ao longo do período de armazenagem, nas sementes submetidas a durações de impacto maiores. Esses resultados concordam com os de Afonso Júnior et al. (2003), ao estudarem o efeito do

impacto mecânico induzido sobre a qualidade de grãos de café durante o período de armazenamento. No presente estudo, esperava-se que a capacidade de expansão acompanhasse tendência inversa da condutividade elétrica ao longo do período de armazenamento, o que não foi observado.

No Quadro 7, encontra-se a equação que foi ajustada para os dados de capacidade de expansão em função da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de sementes de milho-pipoca que foram submetidas a diferentes durações de impacto no início do período de armazenamento. Nota-se, nesse quadro, que a equação estimada se mostrou adequada em estimar a capacidade de expansão das sementes de milho-pipoca por meio dos valores de condutividade elétrica, apresentando significância satisfatória dos seus parâmetros e alto valor do coeficiente de determinação (R^2).

Quadro 7 – Equação ajustada aos dados de capacidade de expansão (mL/g) em função da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de sementes de milho-pipoca submetidas a diferentes durações de impacto

Equação Ajustada	R^2
$CEP = 63,4145 \cdot e^{(-0,0734^{***} \cdot CEL)}$	98,77 ⁺⁺ (2)

⁺⁺ Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

^{***} Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

Na Figura 7, encontra-se a relação entre os valores médios da capacidade de expansão e dos valores médios da condutividade elétrica das sementes de milho-pipoca, em cada tempo de duração do impacto a que as sementes foram submetidas. Nota-se, nessa figura, que existe uma relação inversa entre esses valores, ou seja, à medida que aumenta a duração do impacto, reduzem-se os valores de capacidade de expansão e aumentam-se os de condutividade elétrica, o que evidencia o efeito imediato da danificação mecânica sobre a integridade do pericarpo das sementes de milho-pipoca. Os resultados evidenciam a potencialidade de utilização do teste de condutividade elétrica como avaliador da integridade do pericarpo e da qualidade tecnológica das sementes de milho-pipoca, podendo ser correlacionado com a capacidade de expansão dos grãos de milho-pipoca, conforme a equação do Quadro 7.

Em programas de melhoramento de milho-pipoca, em que grandes quantidades de tratamentos têm sua capacidade de expansão avaliada, com a finalidade de obter e testar novas variedades, a equação proposta para obtenção da capacidade de expansão por meio dos valores da condutividade elétrica das sementes torna-se uma ferramenta extremamente importante, haja vista que para a realização do teste de capacidade de expansão, por meio do equipamento-padrão de avaliação, são necessárias quantidades apreciadas de material (250 g por repetição), enquanto no teste de condutividade elétrica se necessitam apenas de quatro repetições de 50 sementes por tratamento.

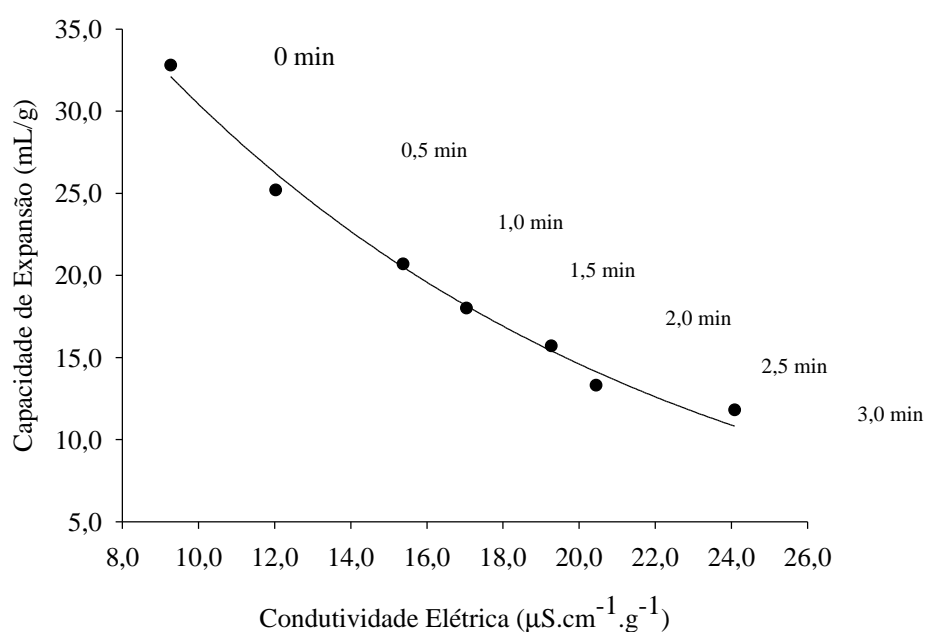


Figura 7 – Relação entre os valores de capacidade de expansão e os da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) das sementes de milho-pipoca no tempo zero de armazenamento.

5.3.1. Análise do tempo de embebição

No Quadro 8, encontra-se o resumo da análise de variância dos resultados obtidos no teste de condutividade elétrica nos diversos tratamentos de impacto e diferentes tempos de embebição. Foram observadas diferenças significativas nos fatores: duração do impacto, tempo de embebição e interação entre esses fatores.

Quadro 8 – Resumo da análise de variância dos dados de condutividade elétrica das sementes de milho-pipoca submetidas a diferentes durações de impacto e a diferentes períodos de embebição

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio
Duração do impacto (TI)	6	1113,72**
Resíduo (a)	14	50,07
Período de embebição (H)	23	991,04**
TI x H	138	15,49**
Resíduo (b)	322	0,49
Total	503	
C.V. 1 (%)		48,94
C.V. 2 (%)		4,85

** Significativo a 1% de significância, pelo teste F.

No Quadro 9 são apresentadas as equações de regressão ajustadas dos dados de condutividade elétrica em função do tempo de embebição das sementes em cada tempo de duração de impacto. O modelo linear foi o que melhor se ajustou aos resultados, apresentando elevada significância das estimativas de seus parâmetros e dos coeficientes de determinação (R^2). Pela análise das equações ajustadas, verifica-se que, à medida que aumenta a duração do impacto, aumenta também o valor das estimativas dos parâmetros das equações, ocorrendo distinção entre os tratamentos.

Na Figura 8 são apresentadas as retas ajustadas dos dados de condutividade elétrica em função do tempo de embebição das sementes de milho-pipoca. Observam-se nessa figura, como esperado, maiores valores de condutividade nos tratamentos de maior tempo de duração do impacto. Evidencia-se, dessa forma, que o aumento na duração do impacto promoveu maior ocorrência de danos, gerando perda da integridade das membranas, o que acarretou maior lixiviação eletrolítica do conteúdo celular e, conseqüentemente, maior valor de condutividade elétrica, assim como discutido no item 4.2.

Verifica-se também, nessa figura, que à medida que aumenta o tempo de embebição das sementes, eleva-se a sensibilidade do teste de condutividade elétrica em diferenciar os tratamentos, o que pode ser notado pelo desagrupamento das médias ao longo desse tempo. Resultados semelhantes foram encontrados por Marcos Filho et al.

Quadro 9 – Equações de regressão ajustadas dos valores de condutividade elétrica (CEL) em função do período de embebição (H) de cada tempo de duração do impacto

Duração do impacto (minutos)	Equações de regressão	R ²
0,0	CEL = 2,980 + 0,425**.H	99,65 ⁺⁺
0,5	CEL = 2,256 + 0,726**.H	98,11 ⁺⁺
1,0	CEL = 1,859 + 0,905**.H	98,44 ⁺⁺
1,5	CEL = 2,148 + 0,986**.H	99,13 ⁺⁺
2,0	CEL = 1,977 + 1,165**.H	99,40 ⁺⁺
2,5	CEL = 2,428 + 1,204**.H	99,55 ⁺⁺
3,0	CEL = 2,832 + 1,368**.H	99,58 ⁺⁺

⁺⁺ Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

**Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

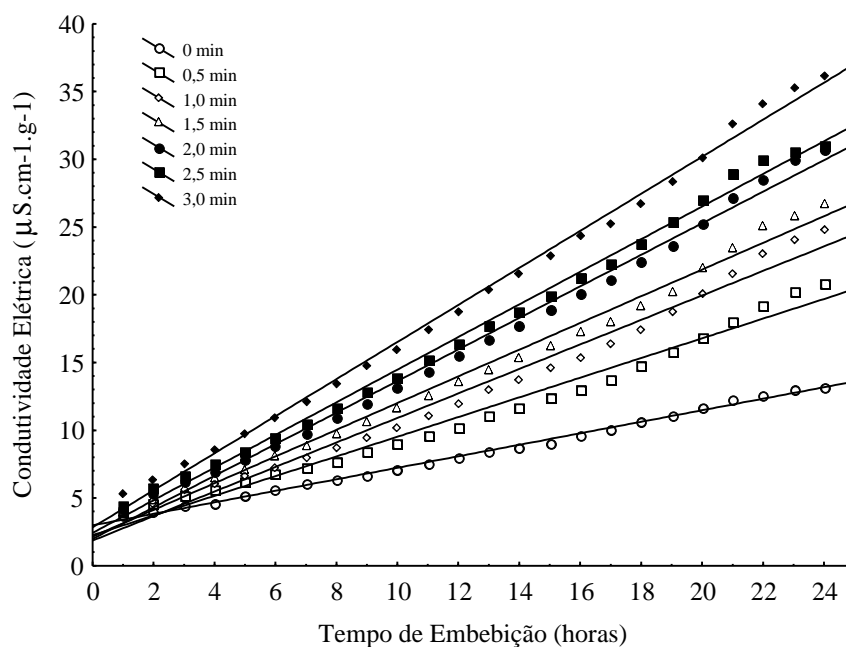


Figura 8 – Valores obtidos e estimados da condutividade elétrica das sementes de milho-pipoca em função do período de embebição das sementes, em cada tempo de duração do impacto.

(1990), trabalhando com três cultivares de soja. Ainda de acordo com a Figura 8, percebe-se que, a partir de 16 h de embebição, todos os tratamentos foram diferenciados pelo teste, evidenciando a possibilidade de redução do teste de condutividade elétrica das 24 h tradicionais na avaliação da danificação mecânica em sementes de milho-pipoca. Esses resultados assemelham-se aos encontrados por Dias e Marcos Filho (1996), trabalhando com sementes de soja.

Além disso, na referida figura, observa-se que ao longo do período de embebição as sementes que não foram submetidas ao impacto e aquelas submetidas a 3 min foram claramente separadas pelo teste de condutividade elétrica a partir de 4 h de embebição, o que indica que para maiores diferenças de vigor existe a possibilidade de redução do período de condução do teste. Loeffler et al. (1988), trabalhando com 10 lotes de sementes de soja, encontraram que, após 6 h de embebição das sementes, os lotes com diferenças extremas de vigor também puderam ser separados. Esses autores relataram que a redução do período de embebição do teste de condutividade elétrica possa ser aplicada quando são necessários resultados no mesmo dia em programas de controle de qualidade.

No Quadro 10 são apresentadas as equações de regressão ajustadas dos dados de condutividade elétrica em função do tempo de duração do impacto, em cada tempo de embebição em solução. O modelo linear também foi o que melhor se ajustou a esses resultados, apresentando elevada significância das estimativas dos parâmetros e dos coeficientes de determinação (R^2). Esses dados também concordam com os encontrados por Couto et al. (1998).

Na Figura 9, apresentam-se os valores observados e calculados pelas equações ajustadas dos dados de condutividade elétrica em função da duração do impacto a que as sementes foram submetidas, levando-se em conta o tempo de embebição para o teste. Nessa figura foram utilizadas as equações referentes à primeira, quinta, décima, décima quinta, vigésima e vigésima quarta hora de realização do teste, como forma de facilitar a visualização dos resultados. Pela análise da Figura 9, nota-se que, à medida que aumenta o tempo de embebição, também aumenta a diferença entre os valores de condutividade elétrica, em cada tratamento, fato também constatado por Loeffler et al. (1988) e Marcos Filho et al. (1990), ambos trabalhando com sementes de soja. Percebe-se, nessa figura, que em cada tempo de embebição esse incremento nos valores de condutividade elétrica é maior nas sementes que foram submetidas a maiores tempos de impacto, fato discutido anteriormente.

Quadro 10 – Equações de regressão ajustadas dos valores de condutividade elétrica (CE) em função do tempo de duração do impacto (D), em minutos, em cada período de embebição

Período de embebição (h)	Equações de regressão	R ²
1,0	CEL = 3,519 + 0,443**.D	72,81 ⁺⁺
2,0	CEL = 4,000 + 0,719**.D	95,73 ⁺⁺
3,0	CEL = 4,506 + 0,919**.D	96,74 ⁺⁺
4,0	CEL = 4,739 + 1,184**.D	96,74 ⁺⁺
5,0	CEL = 5,264 + 1,354**.D	96,80 ⁺⁺
6,0	CEL = 5,635 + 1,661**.D	98,14 ⁺⁺
7,0	CEL = 6,056 + 1,907**.D	98,65 ⁺⁺
8,0	CEL = 6,424 + 2,247**.D	99,28 ⁺⁺
9,0	CEL = 6,883 + 2,536**.D	99,34 ⁺⁺
10,0	CEL = 7,331 + 2,803**.D	99,12 ⁺⁺
11,0	CEL = 7,793 + 3,163**.D	99,23 ⁺⁺
12,0	CEL = 8,285 + 3,466**.D	99,18 ⁺⁺
13,0	CEL = 8,822 + 3,806**.D	98,96 ⁺⁺
14,0	CEL = 9,265 + 4,069**.D	98,76 ⁺⁺
15,0	CEL = 9,770 + 4,338**.D	98,66 ⁺⁺
16,0	CEL = 10,245 + 4,666**.D	98,81 ⁺⁺
17,0	CEL = 10,900 + 4,822**.D	98,47 ⁺⁺
18,0	CEL = 11,630 + 5,091**.D	98,27 ⁺⁺
19,0	CEL = 12,375 + 5,396**.D	97,92 ⁺⁺
20,0	CEL = 13,179 + 5,772**.D	97,46 ⁺⁺
21,0	CEL = 13,975 + 6,311**.D	97,05 ⁺⁺
22,0	CEL = 14,855 + 6,526**.D	95,77 ⁺⁺
23,0	CEL = 15,516 + 6,709**.D	94,13 ⁺⁺
24,0	CEL = 15,960 + 6,811**.D	93,22 ⁺⁺

⁺⁺ Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

**Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

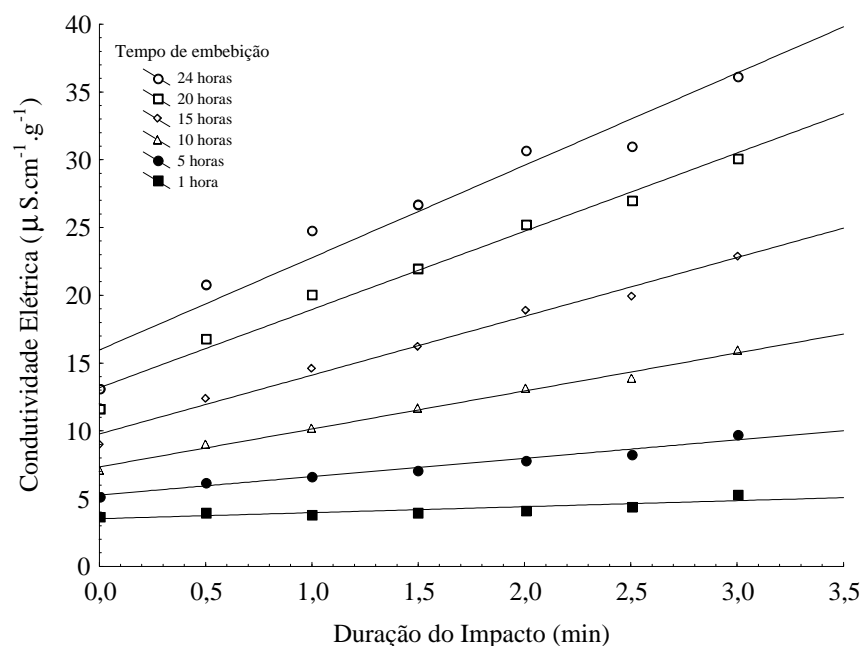


Figura 9 – Valores obtidos e estimados da condutividade elétrica das sementes de milho-pipoca em função do tempo de duração do impacto (min), em alguns tempos de embebição (hora).

5.4. Avaliação da qualidade fisiológica

No Quadro 11, encontra-se o resumo da análise de variância dos resultados obtidos por meio dos seguintes testes: de germinação (TG), primeira contagem do teste de germinação (PC), envelhecimento acelerado (EA) e frio modificado (TF) das sementes de milho-pipoca submetidas à danificação mecânica e armazenadas durante seis meses. Observa-se, nesse quadro, que existem diferenças significativas entre todos os fatores analisados: duração do impacto, tempo de armazenamento e interação entre esses dois fatores.

No Quadro 12, encontram-se as estimativas dos parâmetros ($\hat{\beta}$'s) e os coeficientes de determinação (R^2) do modelo ajustado (equação 1) aos dados transformados em arco-seno $(X\%/100)^{0,5}$ para germinação (TG), primeira contagem do teste de germinação (PC), envelhecimento acelerado (EA) e frio modificado (TF) das sementes de milho-pipoca em função da duração do impacto (minutos) e do tempo de armazenamento (dias). As equações ajustadas mostraram-se adequadas em estimar a porcentagem de plântulas normais dos testes mencionados, apresentando significância satisfatória dos parâmetros e alto valor dos coeficientes de determinação (R^2).

Quadro 11 – Resumo da análise de variância dos valores obtidos no teste de germinação (G), primeira contagem do teste de germinação (PC), envelhecimento acelerado (EA) e teste de frio modificado (TF) das sementes de milho-pipoca submetidas a diferentes durações de impacto e a diferentes tempos de armazenamento

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios			
		G ‡	PC ‡	EA ‡	TF ‡
Tempo de armazenamento (TA)	6	3,60**	3,08**	2,01**	3,41**
Resíduo (a)	21	0,005	0,006	0,002	0,003
Duração do impacto (TI)	6	1,18**	0,95**	1,08**	0,59**
TA x TI	36	0,03**	0,03**	0,06**	0,02**
Resíduo (b)	126	0,006	0,005	0,003	0,003
Total	195	-	-	-	-
C.V. 1 (%)	-	13,20	15,93	13,82	12,09
C.V. 2 (%)	-	15,60	15,68	15,28	12,37

‡ Dados transformados em arco-seno $(x\%/100)^{0,5}$.

** Significativo a 1% de significância, pelo teste F.

Quadro 12 – Estimativa dos parâmetros β_1 , β_2 , β_3 e β_4 das equações estimadas, em função da duração do impacto e do tempo de armazenamento, dos valores do teste de germinação (TG), primeira contagem do teste de germinação (PC), envelhecimento acelerado (EA) e teste de frio modificado (TF), com os respectivos coeficientes de determinação (R^2)

Teste	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	R^2
TG	0,3149	-0,0053**	-0,2482**	-0,0035**	85,97 ⁺⁺
PC	0,2220	-0,0053**	-0,2323**	-0,0036**	85,86 ⁺⁺
EA	0,1960	-0,0066**	-0,4931**	-0,0039*	78,72 ⁺⁺
TF	0,2712	-0,0071**	-0,2904**	-0,0015****	80,01 ⁺⁺

⁺⁺ Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t.

**** Significativo a 15% de probabilidade, pelo teste t.

Nas Figuras 10, 11, 12 e 13, de acordo com a equação (1), são apresentados os dados observados e as superfícies de resposta, contendo os valores transformados em arco-seno $(X\%/100)^{0,5}$, respectivamente, nos testes de germinação (TG), primeira contagem do teste de germinação (PC), envelhecimento acelerado (EA) e frio modificado (TF) das sementes de milho-pipoca em função da duração do impacto e do tempo de armazenamento. Observa-se, nessas figuras, que tanto no teste de germinação quanto nos testes indicativos de vigor, à medida que aumentaram a duração do impacto e o período de armazenamento, houve decréscimo na porcentagem de plântulas normais, obtidas por meio desses testes. Evidenciam-se, dessa forma, os efeitos imediato e latente da danificação mecânica na redução da qualidade fisiológica das sementes de milho-pipoca. Esses resultados assemelham-se aos encontrados por Araújo et al. (2002), que, estudando o efeito da debulha e do teor de umidade sobre a qualidade fisiológica de sementes de milho-doce durante o armazenamento, concluíram que a debulha provoca danos às sementes, os quais diminuem sua qualidade fisiológica durante o armazenamento. Andrade et al. (1998), trabalhando com sementes danificadas de feijão, concluíram que o nível de danos nas sementes aumentou à medida que também aumentou a velocidade de impacto a que elas foram submetidas, reduzindo a germinação e o vigor. Esses autores constataram que o armazenamento também contribui para a queda da qualidade fisiológica das sementes.

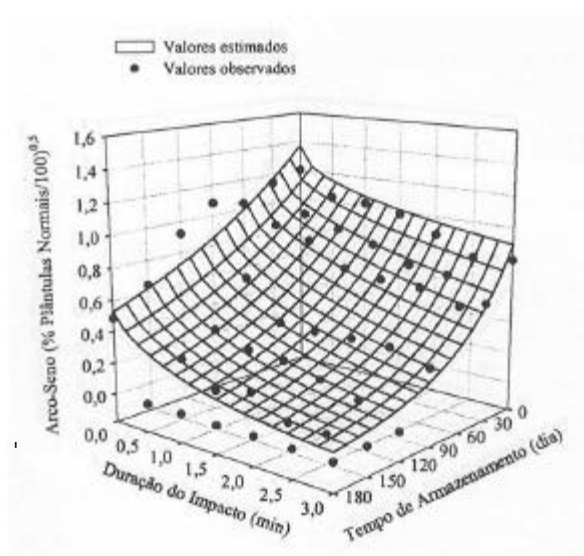


Figura 10 – Valores observados e estimados transformados do teste de germinação das sementes de milho-pipoca em função da duração do impacto e do tempo de armazenamento.

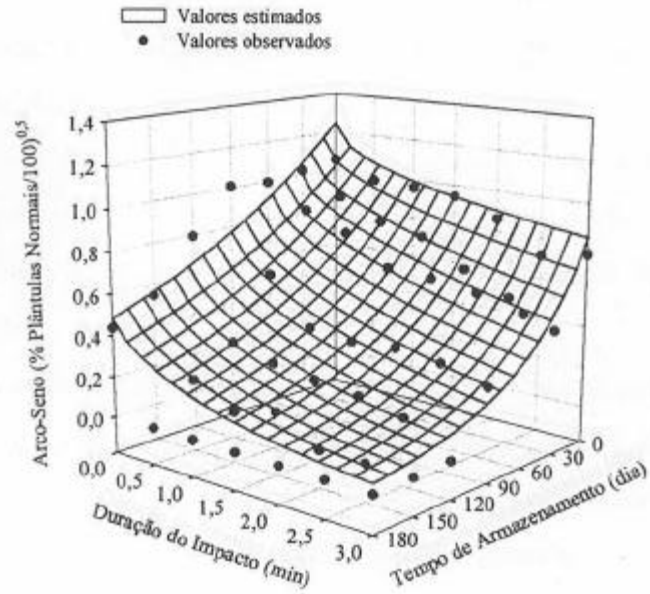


Figura 11 – Valores observados e estimados transformados da primeira contagem do teste de germinação das sementes de milho-pipoca em função da duração do impacto e do tempo de armazenamento.

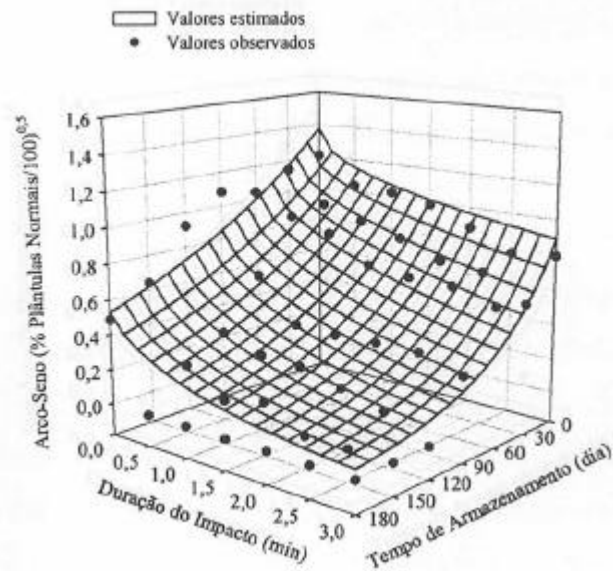


Figura 12 – Valores observados e estimados transformados do teste de envelhecimento acelerado das sementes de milho-pipoca em função da duração do impacto e do tempo de armazenamento.

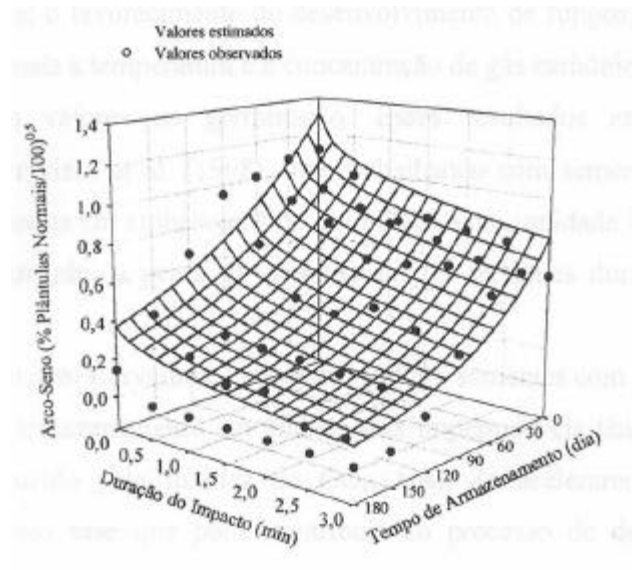


Figura 13 – Valores observados e estimados transformados do teste de frio das sementes de milho-pipoca em função da duração do impacto e do tempo de armazenamento.

Na Figura 10, encontram-se os valores observados e estimados do teste de germinação das sementes de milho-pipoca, submetidas a diferentes durações do impacto e a diferentes períodos de armazenamento. Observa-se, nessa figura, que, mesmo nas sementes que não foram submetidas ao impacto mecânico, depois de transcorridos 120 dias de armazenamento houve rápida redução nos valores de germinação, obtendo-se valores abaixo do esperado. Nos demais tratamentos, submetidos a diferentes durações do impacto, depois desse período de 120 dias, praticamente todas as sementes já se encontravam mortas. A queda do poder germinativo, com a elevação da quantidade de danos a que as sementes foram submetidas, também foi observada por Andrade et al. (1999), trabalhando com sementes de feijão, por Martins Netto et al. (1999), com sementes de sorgo, por Araújo et al. (2002), com sementes de milho-doce e por Carneiro et al. (2003) com sementes de milho-pipoca. Porém, não se esperava que a viabilidade das sementes não danificadas se reduzisse tão rapidamente, com apenas 120 dias de armazenamento. Essa redução, possivelmente, deveu-se ao fato de as sementes terem sido armazenadas em embalagens impermeáveis de polipropileno de baixa densidade e com um teor de umidade de 13% (b.u.), dando origem a uma atmosfera modificada com alto teor de CO₂ e baixo teor de O₂, pelo processo respiratório. Como consequência do aumento da temperatura, em virtude da liberação de energia na forma

de calor, é provável o favorecimento do desenvolvimento de fungos, que contribuíram para elevar ainda mais a temperatura e a concentração de gás carbônico, o que provocou maior queda nos valores de germinação. Esses resultados assemelham-se aos encontrados por Previero et al. (1998), que, trabalhando com sementes de *Brachiaria brizantha* armazenadas em embalagens de polietileno com umidade inicial de 13-14%, também observaram rápida perda de germinação das sementes durante o período de armazenamento.

De acordo com Carvalho e Nakagawa (2000), sementes com teores de umidade inadequados para armazenamento em embalagens impermeáveis têm seu potencial de armazenagem reduzido pela toxidez do CO₂, além de acelerarem a atividade de microrganismos, fato esse que pode contribuir no processo de deterioração dessas sementes.

Nas Figuras 11, 12 e 13, encontram-se os valores observados e estimados nos testes de primeira contagem do teste de germinação, envelhecimento acelerado e frio modificado das sementes de milho-pipoca submetidas a diferentes durações do impacto e a diferentes períodos de armazenamento. Assim como foi observado nos valores de germinação, notou-se também, nessas figuras, que em todos os testes indicativos de vigor houve efeito imediato e latente da danificação mecânica sobre a qualidade fisiológica das sementes de milho-pipoca. Esses resultados concordam com os encontrados por Araújo et al. (2002), estudando o efeito da debulha mecânica e do teor de umidade sobre a qualidade fisiológica de sementes de milho-doce ao longo do armazenamento.

Além disso, nas referidas figuras, percebe-se que essa redução no vigor e germinação das sementes estava associada ao aumento dos valores da condutividade elétrica da solução contendo as sementes de milho-pipoca, como observado na Figura 6, item 5.3, que também é um avaliador do vigor das sementes. Esses resultados se assemelham aos encontrados por Carneiro et al. (2003), que também verificaram redução no vigor das sementes danificadas de milho-pipoca ao longo do período de armazenamento. Andrade et al. (1998), trabalhando com sementes danificadas de feijão, também constataram que o armazenamento potencializou a perda da qualidade fisiológica das sementes depois que estas foram danificadas.

6. CONCLUSÕES

Com relação à variedade de milho-pipoca estudada e às condições sob as quais o presente trabalho foi realizado, concluiu-se que:

- O aumento na danificação mecânica provocou redução na qualidade tecnológica do milho-pipoca, avaliada pela sua capacidade de expansão.
- Houve influência do período de armazenamento sobre os valores de capacidade de expansão das sementes de milho-pipoca.
- O teste de condutividade elétrica pode ser usado como avaliador da qualidade tecnológica do milho-pipoca.
- O período de realização do teste de condutividade elétrica para a separação ou identificação de sementes com maiores níveis de danificação mecânica poderá ser reduzido para 4 h de embebição.
- O período de 24 h de embebição pode ser reduzido para 16 h, como forma de avaliar lotes de sementes de milho-pipoca.
- O aumento da duração do impacto e do tempo de armazenamento a que as sementes de milho-pipoca foram submetidas provocou redução da germinação e vigor das sementes de milho-pipoca.
- O armazenamento acentuou a perda de qualidade fisiológica de sementes danificadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C.; ANDRADE, E.T. Efeito do impacto mecânico induzido sobre a integridade dos grãos e a qualidade do café. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa (v. especial-café), n. 6, p. 10-18, 2003.

ANDRADE, E.T.; CORRÊA, P.C.; ALVARENGA, E.M.; MARTINS, J.H. Efeitos de danos mecânicos sobre a qualidade fisiológica de sementes de feijão durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 41-51, 1998.

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**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 54-60, 1999.

ARAÚJO, E.F.; MIRANDA, G.V.; GALVÃO, J.C.C.; ARAÚJO, R.F. Qualidade fisiológica de sementes de milho-doce submetidas à debulha, com diferentes graus de umidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 2, p. 101-110, 2002.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed vigor testing handbook**. East Lansing: AOSA, 1983. 88 p. (Contribution, 32).

BARROS, A.S.R.; DIAS, M.C.L.L.; CÍCERO, S.M.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de frio. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, Comitê de Vigor de Sementes. Londrina, PR: ABRATES, 1999. Cap. 5, 1999.

BARTSH, J.A.; HAUGH, C.G.; ATHOW, K.L.; PEART, R.M. Impact damage to soybean seed. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 27, n. 2, p. 582-586, 1984.

BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds physiology of development and germination**. 3. ed. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.

BORBA, C.S.; ANDRADE, R.V.; AZEVEDO, J.T.; OLIVEIRA, A.C. Qualidade de sementes de milho debulhadas com diferentes teores de umidade e fluxos de alimentação. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 17, n. 1, p. 9-12, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regra para análise de sementes**. Brasília: DNDV/CLAV, 1992. 365 p.

BRUGGINK, H.; URARK, H.L.; DIJKEMA, M.H.G.F.; BEKENDAM, J. Some factors influencing electrolyte from maize (*Zea mays* L.) kernels. **Seed Science Research**, Zurich, v. 1, n. 1, p. 15-20, 1991.

CARNEIRO, V.; ARAÚJO, E.F.; MIRANDA, G.V.; GALVÃO, J.C.C.; REIS, M.S.; DAVID, A.M.S.S. Efeito da debulha e da classificação sobre o tamanho e a qualidade de sementes de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 1, p. 97-105, 2003.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2000. 588 p.

CHAVES, M.A. **Efeitos de impactos na germinação de três cultivares de sementes de soja**. Viçosa, MG: UFV/DEA, 1990. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CHAVES, M.A.; MOREIRA, S.M.C.; ALVARENGA, L.C.; OLIVEIRA, L.M. Efeito de múltiplos impactos na germinação de três cultivares de sementes de soja. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 17, n. 1/2, p. 2-9, 1992.

CHEN, T; BURRIS, J.S. Desiccation tolerance in maturing maize seed: membrane phospholipid composition and thermal properties. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 3, p. 766-770, 1991.

CORRÊA, P.C.; MACHADO, P.F.; ANDRADE, E.T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 134-142, 2001.

COUTINHO, A.C. **Efeitos da velocidade e região de impacto e do tempo de armazenamento da semente de soja (cultivar UFV – 5)**. Viçosa, MG: UFV/DEA, 1984. 43 f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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

DALBELLO, O.; PREVIERO, C.A.; ALVES, D.G.; BIAGI, J.D. Capacidade de expansão do milho-pipoca (*Zea mays* L.) em função de parâmetros de secagem, umidade e armazenamento do produto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV/DEA, 1995. p. 415.

DELOUCHE, J.C.; BASKIN, C.C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 1, n. 2, p. 427-452, 1973.

DIAS, D.C.F.S.; MARCOS FILHO, J. Testes de condutividade elétrica para a avaliação do vigor de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 1, p. 31-42, 1996.

EVANS, M.D.; HOLMES, R.G.; MCDONALD, M.B. Impact damage to soybean seed as affected by surface hardness and seed orientation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 33, n. 1, p. 234-240, 1990.

GUNASEKARAN, S.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Breakage susceptibility of corn of different stress-crack categories. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 36, n. 5, p. 1445-1446, 1993.

HAMPTON, J.G. Conductivity test. In: SEED VIGOUR TESTING SEMINAR. Vigour Test Committee. **Proceedings...** Copenhagen: International Seed Testing Association, 1995. p. 10-28.

HOKI, M.; PICKETT, L.K. Factors affecting mechanical damage of navy beans. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 16, n. 6, p. 1554-1557, 1973.

HOSENEY, R.C.; ZELEZNAK, K.; ABDELRAHMAN, A. Mechanism of popcorn popping. **Journal of Cereal Science**, v. 1, p. 43-52, 1983.

KELLER, D.L.; CONVERSE, H.H.; HODGES, T.O.; CHUNG, D.S. Corn kernel damage due to high velocity impact. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 15, n. 2, p. 330-332, 1972.

LIN, S.S. Alterações na lixiviação eletrolítica, germinação e vigor da semente de feijão envelhecida sob alta umidade relativa do ar e alta temperatura. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 2, n. 2, p. 1-6, 1990.

LOEFFLER, T.M.; TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. The bulk conductivity test as an indicator of soybean seed quality. **Journal of Seed Technology**, Lincoln, v. 12, n. 1, p. 37-53, 1988.

MACHADO, P.F. **Efeito das condições de colheita e secagem sobre a capacidade de expansão de milho-pipoca**. Viçosa, MG: UFV/DEA, 1997. 41 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MARCOS FILHO, J.; SILVA, W.R.; NOVEMBRE, A.D.C.; CHAMMA, H.M.C.P. Estudo comparativo de métodos para a avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja, com ênfase ao teste de condutividade elétrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 12, p. 1805-1815, 1990.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, Comitê de Vigor de Sementes. Londrina, PR: ABRATES, 1999a. cap. 3.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, Comitê de Vigor de Sementes. Londrina, PR: ABRATES, 1999b. cap. 1.

MARINCEK, A. **Qualidade de sementes de milho produzidas sob diferentes sistemas de manejo no campo e em pós-colheita**. Lavras, MG: UFLA, 2000. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MARTINS NETTO, D.; BORBA, C.S.; OLIVEIRA, A.C.; AZEVEDO, J.T.; ANDRADE, R.V. Efeito de diferentes graus de danos mecânicos na qualidade fisiológica de sementes de sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p.1475-1480, 1999.

MATHEW, R.; HYDE, G.M. Potato impact damage thresholds. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 40, n. 3, p. 705-709, 1997.

MATTHEWS, S.; POWELL, A.A. Electrical conductivity test. In: PERRY, D.A. (Ed.). **Handbook of vigor test methods**. Zürich: ISTA, 1981. p. 37-42.

MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plants and animal materials**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986. 730 p.

MORAES, M.L.B. **Efeitos da velocidade e da posição do impacto na germinação e vigor de sementes de soja (cultivar UFV – 2) com diferentes teores de umidade**. Viçosa, MG: UFV/DEA, 1980. 38 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PACHECO, C.A.P.; CASTOLDI, F.L.; ALVARENGA, E.M. Efeito do dano mecânico na qualidade fisiológica e na capacidade de expansão de sementes de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 18, n. 2, p. 267-270, 1996.

PAULSEN, M.R.; NAVE, W.R.; GRAY, L.E. Soybean seed quality as affected by impact damage. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 6, p. 1577-1582, 1981.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1985. 285 p.

POWELL, A.A. Cell membranes and seed leachate conductivity in relation to the quality of seed for sowing. **Journal of Seed Technology**, East Lansing, v. 10, n. 2, p. 81-100, 1986.

PREVIERO, C.A.; RAZERA, L.F.; GROTH, D. Influência do grau de umidade e tipo de embalagem na conservação de sementes de *Brachiaria brizantha*. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 191-197, 1998.

RUFFATO, S.; CORRÊA, P.C.; MARTINS, J.H.; MANTOVANI, B.H.M.; SILVA, J.N. Efeito das condições de colheita, pré-processamento e armazenamento na qualidade do milho-pipoca. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 591-597, 2000.

SAWAZAK, E. A cultura do milho-pipoca no Brasil. **O Agrônomo**, Campinas, v. 53, n. 2, p. 3, 2001.

SONG, A.; ECKHOFF, S.R. Optimum popping moisture content for popcorn kernels of different sizes. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 5, p. 458-460, 1994.

SILVA, J.W.; VIDAL, B.C.; MARTINS, M.E.Q. What makes popcorn pop. **Nature**, London, v. 362, p. 417, 1993.

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina, PR: ABRATES, 1999. cap. 4, p. 1-26.

WOODSTOCK, L.W. Seed imbibition: a critical period for successful germination. **Journal of Seed Technology**, East Lansing, v. 12, n. 1, p. 1-15, 1988.

ZAPP, H.R.; EHLERT, G.K.B.; ARMSTRONG, P.; SOBER, S. Advanced instrumented sphere (IS) for impact measurements. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 33, n. 3, p. 955-960, 1990.

ZINSLY, J.R.; MACHADO, J.A. Milho-pipoca. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (Coords.). **Melhoramento e produção de milho**. Piracicaba, SP: Fundação Cargill, 1987. p. 411-450.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Quadro 1A – Valores da capacidade de expansão (mL/g) em função do tempo de armazenamento e do tempo de duração do impacto

Duração do impacto (min)	Tempo de Armazenamento (dias)						
	0	30	60	90	120	150	180
0,0	32,5	32,5	32,0	34,5	33,0	34,5	33,5
0,0	34,0	33,0	33,5	35,0	34,5	33,5	34,5
0,0	32,0	33,0	33,5	34,5	34,5	34,0	35,0
0,5	25,5	25,5	24,5	25,5	25,5	26,5	26,5
0,5	25,0	25,0	25,0	25,5	26,0	26,0	26,0
0,5	25,0	24,5	24,5	26,0	26,5	26,5	26,0
1,0	21,0	21,0	20,0	21,5	21,5	21,0	21,0
1,0	20,5	21,0	20,5	21,5	21,0	21,0	21,0
1,0	20,5	21,0	20,0	21,0	21,0	21,0	21,5
1,5	17,5	18,0	17,5	18,0	18,0	18,5	18,0
1,5	18,5	18,0	18,0	18,5	17,5	18,0	18,0
1,5	18,0	17,5	17,5	19,0	18,0	18,0	19,0
2,0	15,5	15,0	14,5	16,5	16,5	16,0	17,0
2,0	15,5	15,0	14,5	16,5	16,0	16,0	16,5
2,0	16,0	15,5	14,5	16,0	16,0	16,0	16,5
2,5	13,5	13,0	14,0	15,0	14,5	14,5	14,5
2,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	14,0	14,0
2,5	13,5	13,5	14,0	14,0	15,0	14,0	14,5
3,0	12,0	12,0	12,5	13,0	12,5	13,0	13,0
3,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,0	13,0	13,0
3,0	12,0	12,0	12,5	12,5	13,0	13,5	13,0

Quadro 2A – Valores da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) em função do tempo de armazenamento e do tempo de duração do impacto

Duração do impacto (min)	Tempo de Armazenamento (dias)						
	0	30	60	90	120	150	180
0,0	8,91	10,63	9,00	9,20	11,84	10,15	12,19
0,0	8,48	9,14	10,24	8,19	9,01	10,56	14,38
0,0	8,83	9,99	8,84	8,82	10,01	10,81	15,44
0,0	10,85	8,48	8,43	10,54	10,70	12,65	13,32
0,5	12,17	12,59	16,17	19,00	25,25	32,52	34,26
0,5	12,82	11,71	16,04	21,10	25,54	29,35	38,90
0,5	11,16	13,84	14,79	21,51	22,55	32,48	38,43
0,5	11,96	10,87	14,04	16,83	23,21	29,45	36,97
1,0	14,33	16,40	16,54	30,00	34,41	37,61	42,06
1,0	16,42	15,16	20,42	30,96	33,56	44,87	43,55
1,0	15,52	19,66	23,64	26,20	34,79	39,89	47,45
1,0	15,25	14,54	16,90	28,50	35,71	49,22	48,51
1,5	16,72	20,14	24,37	33,11	40,00	53,12	45,69
1,5	15,78	18,07	22,00	36,13	41,29	46,53	56,71
1,5	17,04	19,49	24,30	29,62	42,84	43,53	50,48
1,5	18,62	17,67	21,18	35,07	36,67	52,73	52,92
2,0	17,26	20,56	25,66	40,68	54,37	57,50	63,83
2,0	18,88	22,55	27,84	40,71	44,93	57,79	62,25
2,0	21,41	18,72	26,05	40,85	56,90	61,83	64,69
2,0	19,54	21,46	25,19	38,70	46,84	53,19	64,51
2,5	20,37	25,54	28,09	37,57	51,19	59,55	64,40
2,5	20,34	22,23	31,65	44,31	57,68	63,15	63,78
2,5	19,95	25,50	27,81	38,89	50,29	62,40	70,43
2,5	21,14	25,10	29,17	48,03	49,86	65,68	66,15
3,0	23,31	28,48	30,88	40,39	55,56	64,27	73,17
3,0	24,78	23,72	33,23	51,29	60,71	62,32	69,15
3,0	23,37	23,33	29,29	49,29	56,67	61,52	73,18
3,0	24,91	25,98	30,74	53,00	60,58	63,32	67,14

Quadro 3A – Valores da condutividade elétrica em função do tempo de embebibimento e do tempo de duração do impacto

Tempo de embebibimento (horas)	Duração do Impacto (min)						
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,0	3,50	3,74	3,62	3,65	4,52	4,62	5,39
1,0	3,75	3,63	4,03	4,39	3,71	4,33	5,65
1,0	3,69	4,48	3,88	3,86	4,12	4,48	4,77
2,0	3,90	4,16	4,13	4,33	6,06	5,96	6,52
2,0	4,15	4,06	5,35	5,67	4,40	5,55	6,79
2,0	4,02	5,46	4,42	4,83	5,35	5,83	5,72
3,0	4,29	4,69	5,02	5,42	6,99	6,81	7,72
3,0	4,56	4,56	6,23	6,49	5,50	6,32	8,07
3,0	4,38	6,09	5,40	5,52	6,16	6,67	6,67
4,0	4,43	5,34	5,37	6,03	7,98	7,71	8,79
4,0	4,75	5,26	6,83	7,25	6,05	7,18	9,24
4,0	4,51	6,31	5,79	6,06	6,80	7,53	7,59
5,0	5,11	5,84	6,01	6,64	8,97	8,61	10,00
5,0	5,41	5,79	7,75	8,10	6,73	8,10	10,50
5,0	5,20	6,86	6,21	6,65	7,76	8,31	8,67
6,0	5,41	6,41	6,50	7,58	10,12	9,79	11,29
6,0	5,76	6,33	8,54	9,15	7,76	9,26	11,83
6,0	5,50	7,43	6,83	7,43	8,61	9,40	9,76
7,0	5,92	6,78	7,05	8,29	11,20	10,81	12,47
7,0	6,25	6,71	9,47	10,08	8,64	10,21	13,08
7,0	5,91	8,05	7,45	8,08	9,54	10,42	10,85
8,0	6,17	7,29	7,79	9,15	12,44	12,09	13,57
8,0	6,54	7,22	10,32	11,14	9,71	11,47	14,56
8,0	6,28	8,66	8,04	8,91	10,57	11,61	12,13
9,0	6,54	7,87	8,48	10,04	13,62	13,29	15,05
9,0	6,93	7,87	11,32	12,19	10,65	12,59	15,88
9,0	6,65	9,37	8,66	9,77	11,67	12,76	13,21
10,0	6,81	8,48	9,12	11,05	14,79	14,31	16,16
10,0	7,35	8,39	12,15	13,27	11,73	13,52	17,29
10,0	7,10	10,03	9,31	10,51	12,76	13,79	14,35

Continua...

Quadro 3A – Cont.

Tempo de embebimento (horas)	Duração do Impacto (min)						
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
11,0	7,06	9,06	9,92	11,86	16,17	15,75	17,57
11,0	7,80	9,23	13,23	14,34	12,90	14,91	18,94
11,0	7,59	10,69	10,04	11,41	13,98	15,12	15,71
12,0	7,55	9,42	10,72	12,99	17,37	16,97	19,02
12,0	8,14	9,85	14,40	15,40	14,02	16,00	20,19
12,0	8,03	11,43	10,81	12,30	15,10	16,38	17,11
13,0	8,02	10,31	11,56	13,84	18,64	18,32	20,54
13,0	8,61	10,64	15,62	16,59	15,25	17,30	22,03
13,0	8,41	12,29	11,58	13,11	16,31	17,66	18,59
14,0	8,27	10,98	12,29	14,58	19,68	19,39	21,83
14,0	8,91	11,27	16,56	17,53	16,24	18,38	23,32
14,0	8,82	12,94	12,16	14,01	17,37	18,61	19,63
15,0	8,57	11,55	13,13	15,33	20,90	20,63	22,87
15,0	9,36	11,92	17,66	18,55	17,28	19,56	24,61
15,0	9,28	13,67	13,02	14,77	18,40	19,79	20,97
16,0	9,06	12,19	13,94	16,19	22,16	21,91	24,24
16,0	9,85	12,47	18,52	19,66	18,18	20,68	26,26
16,0	9,77	14,29	13,79	15,73	19,69	21,12	22,40
17,0	9,56	12,68	14,91	16,98	23,52	23,00	25,19
17,0	10,34	13,33	19,66	20,75	19,48	21,83	27,38
17,0	10,24	15,25	14,55	16,45	20,33	22,05	23,27
18,0	10,17	13,71	16,04	17,99	24,64	24,47	26,54
18,0	10,93	14,30	20,76	22,03	20,69	23,12	28,82
18,0	10,79	16,24	15,41	17,54	22,02	23,55	24,84
19,0	10,65	14,80	17,27	19,09	25,97	26,16	27,99
19,0	11,42	15,39	22,47	23,17	21,84	24,56	30,39
19,0	11,35	17,24	16,53	18,55	23,02	25,35	26,64
20,0	11,17	15,96	18,30	20,30	28,18	27,87	29,50
20,0	11,95	16,39	24,22	25,25	23,08	26,23	32,38
20,0	11,81	18,29	17,67	20,27	24,43	26,93	28,40
21,0	11,58	17,05	19,58	21,71	30,13	29,80	31,77
21,0	12,70	17,87	26,28	26,95	24,95	27,76	34,81

Continua...

Quadro 3A – Cont.

Tempo de embebimento (horas)	Duração do Impacto (min)						
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
21,0	12,33	19,31	18,97	21,95	26,56	29,13	30,53
22,0	12,00	17,97	21,14	23,39	31,17	30,94	33,33
22,0	13,15	19,17	27,56	28,35	26,45	28,69	36,95
22,0	12,70	20,60	20,17	23,55	27,99	30,37	31,87
23,0	12,49	18,82	22,09	24,45	32,64	31,15	34,75
23,0	13,31	20,13	28,62	29,06	27,79	29,61	38,37
23,0	12,96	21,90	21,40	23,91	29,67	31,07	32,93
24,0	12,71	18,97	22,80	25,44	32,94	31,72	35,32
24,0	13,55	20,89	29,12	30,32	28,61	29,88	39,37
24,0	13,06	22,54	22,45	24,42	30,36	31,62	33,60

Quadro 4A – Valores observados da porcentagem de plântulas normais obtidos pelo teste de germinação em função do tempo de armazenamento e do tempo de duração do impacto

Duração do impacto (min)	Tempo de Armazenamento (dias)						
	0	30	60	90	120	150	180
0,0	86	80	88	90	58	28	20
0,0	88	84	66	66	66	44	16
0,0	88	84	70	88	60	36	30
0,0	86	84	74	68	70	36	22
0,5	68	54	64	34	14	12	0
0,5	76	68	68	42	10	0	0
0,5	80	70	66	34	12	4	0
0,5	72	76	58	24	8	2	0
1,0	76	60	72	8	4	0	0
1,0	72	54	40	6	8	0	0
1,0	72	56	58	18	6	2	0
1,0	72	72	60	22	8	0	0
1,5	64	52	36	12	8	0	0
1,5	74	50	46	16	2	4	0
1,5	70	56	54	10	8	2	0
1,5	70	58	36	14	6	0	0
2,0	64	58	40	12	4	0	0
2,0	50	46	34	14	4	0	0
2,0	62	50	50	4	4	0	0
2,0	62	24	38	24	2	0	0
2,5	44	34	38	20	0	0	0
2,5	54	38	52	16	4	0	0
2,5	50	54	38	4	2	0	0
2,5	46	44	32	14	0	0	0
3,0	62	22	42	12	0	0	0
3,0	54	22	22	6	0	0	0
3,0	46	34	30	4	0	0	0
3,0	42	40	40	14	0	0	0

Quadro 5A – Valores observados da porcentagem de plântulas normais obtidos por meio da primeira contagem do teste de germinação em função do tempo de armazenamento e do tempo de duração do impacto

Duração do impacto (min)	Tempo de Armazenamento (dias)						
	0	30	60	90	120	150	180
0,0	82	72	84	82	50	16	16
0,0	66	74	62	60	52	36	12
0,0	80	74	68	82	46	28	22
0,0	74	72	68	62	56	28	22
0,5	66	50	56	34	12	6	0
0,5	70	60	62	38	8	0	0
0,5	70	70	60	30	8	4	0
0,5	66	72	60	24	8	2	0
1,0	70	50	68	8	4	0	0
1,0	66	50	36	6	8	0	0
1,0	68	48	54	18	4	2	0
1,0	64	66	48	20	8	0	0
1,5	62	50	34	10	2	0	0
1,5	68	44	44	14	6	4	0
1,5	66	52	44	8	2	2	0
1,5	66	50	28	14	8	0	0
2,0	60	48	34	12	2	0	0
2,0	50	38	32	12	4	0	0
2,0	62	40	48	2	4	0	0
2,0	58	20	32	24	4	0	0
2,5	38	20	30	18	2	0	0
2,5	48	22	42	12	0	0	0
2,5	46	42	34	4	4	0	0
2,5	40	24	28	10	2	0	0
3,0	56	12	36	10	0	0	0
3,0	50	14	20	4	0	0	0
3,0	42	26	26	4	0	0	0
3,0	40	18	32	12	0	0	0

Quadro 6A – Valores observados da porcentagem de plântulas normais obtidas pelo teste de envelhecimento acelerado em função do tempo de armazenamento e do tempo de duração do impacto

Duração do impacto (min)	Tempo de Armazenamento (dias)						
	0	30	60	90	120	150	180
0,0	88	78	68	58	14	16	10
0,0	74	76	68	76	14	22	6
0,0	70	70	72	64	18	30	6
0,0	80	70	58	64	16	22	4
0,5	62	20	58	22	4	2	0
0,5	62	10	42	20	2	0	0
0,5	80	10	60	20	6	0	0
0,5	64	12	58	24	4	0	0
1,0	26	10	38	14	0	0	0
1,0	34	6	38	16	0	0	0
1,0	34	10	24	24	0	0	0
1,0	40	12	50	18	0	0	0
1,5	36	34	10	10	0	0	0
1,5	28	34	12	8	0	0	0
1,5	30	32	16	4	0	0	0
1,5	34	36	16	10	0	0	0
2,0	26	28	14	4	0	0	0
2,0	22	26	10	8	0	0	0
2,0	16	26	8	4	0	0	0
2,0	22	28	18	2	0	0	0
2,5	26	20	26	8	0	0	0
2,5	30	16	12	6	0	0	0
2,5	40	14	18	4	0	0	0
2,5	24	10	14	6	0	0	0
3,0	32	0	18	0	0	0	0
3,0	28	0	14	0	0	0	0
3,0	32	2	16	0	0	0	0
3,0	28	0	20	0	0	0	0

Quadro 7A – Valores observados da porcentagem de plântulas normais obtidas pelo teste de frio modificado em função do tempo de armazenamento e do tempo de duração do impacto

Duração do impacto (min)	Tempo de Armazenamento (dias)						
	0	30	60	90	120	150	180
0,0	82	76	78	56	46	16	0
0,0	76	76	72	66	34	10	4
0,0	84	80	76	74	40	12	0
0,0	78	80	62	68	32	18	4
0,5	72	66	64	42	8	8	0
0,5	68	66	52	34	6	2	0
0,5	68	60	72	42	6	2	0
0,5	70	70	62	52	6	4	0
1,0	44	56	48	14	4	0	0
1,0	58	56	50	16	6	2	0
1,0	40	54	56	24	6	2	0
1,0	40	66	60	24	6	0	0
1,5	52	44	42	14	6	2	0
1,5	56	54	36	18	6	4	0
1,5	50	60	40	14	6	0	0
1,5	48	58	32	18	2	0	0
2,0	56	48	38	30	4	0	0
2,0	46	54	50	16	4	0	0
2,0	46	42	34	22	2	0	0
2,0	44	44	32	20	6	0	0
2,5	46	34	38	22	2	0	0
2,5	40	46	44	14	6	0	0
2,5	46	44	46	8	2	0	0
2,5	46	36	38	22	4	0	0
3,0	34	36	26	8	0	0	0
3,0	38	32	24	12	2	0	0
3,0	32	42	36	16	2	0	0
3,0	20	40	38	10	0	0	0