



**TANISMARE TATIANA DE ALMEIDA SILVA**

**QUALIDADE DE SEMENTES DE SORGO  
(*Sorghum bicolor* L.) DURANTE A MATURAÇÃO,  
SECAGEM E ARMAZENAMENTO**

**LAVRAS - MG**

**2010**

**TANISMARE TATIANA DE ALMEIDA SILVA**

**QUALIDADE DE SEMENTES DE SORGO (*Sorghum bicolor* L.)  
DURANTE A MATURAÇÃO, SECAGEM E ARMAZENAMENTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Sementes, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Prof. Dr. João Almir Oliveira

**LAVRAS - MG**

**2010**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Silva, Tanismare Tatiana de Almeida.

Qualidade de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) durante a  
maturação, secagem e armazenamento / Tanismare Tatiana de  
Almeida Silva. – Lavras : UFLA, 2010.

125 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: João Almir Oliveira.

Bibliografia.

1. Sementes. 2. Umidade. 3. Temperatura de secagem. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.521

**TANISMARE TATIANA DE ALMEIDA SILVA**

**QUALIDADE DE SEMENTES DE SORGO (*Sorghum bicolor* L.)  
DURANTE A MATURAÇÃO, SECAGEM E ARMAZENAMENTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Sementes, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 25 de junho de 2010

Dra. Édila Vilela de Resende Von Pinho	UFLA
Dra Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa	EMBRAPA
Dr. Renato Mendes Guimarães	UFLA
Dr. Antônio Rodrigues Vieira	EPAMIG

Dr. João Almir Oliveira  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2010**

A todas as pessoas que contribuíram de alguma maneira para a conclusão deste trabalho e àquelas que participaram em toda a minha trajetória de vida, contribuindo para que eu pudesse concretizar o meu maior sonho.

Aos meus pais Vicente (*in memoriam*) e Aimar (*in memoriam*), eterna saudade.

Aos meus professores, os quais sempre serão lembrados com grande gratidão.

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura (DAG).

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia.

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

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

À empresa Biomatrix, pela doação do material para a condução do experimento.

Aos professores, colegas e amigos do Setor de Sementes.

## RESUMO

Estudos relacionados à maturação de sementes são importantes para a determinação do momento adequado para a colheita e para a avaliação da tolerância à dessecação por essas sementes. Neste trabalho foram desenvolvidos três experimentos, com o objetivo de estudar as alterações nas sementes de sorgo durante o desenvolvimento, bem como o efeito da temperatura de secagem e da concentração de tanino na indução de dormência durante o armazenamento e a qualidade das sementes colhidas com diferentes umidades. No primeiro, sementes da cultivar BR 305, com 2,28g tanino/100g e BR 310, com 0,52 g tanino/100g, foram colhidas em 7 estádios de desenvolvimento (100, 103, 107, 113, 119, 121, 127 dias), com base no teor de água das sementes. Em cada época, dividiram-se as sementes em dois lotes, sendo um submetido à secagem a 35°C até o teor de água de 12% e o outro sem secagem. Concluiu-se que o efeito da secagem na germinação é mais benéfico quando as sementes são colhidas com maiores teores de água. No segundo ensaio, as sementes da cultivar BR 305 e BR 310 colhidas com teor de água de 18-20% foram secas em secadores, sob temperaturas de 35°C, 45°C e 35°/45°C e sob secagem natural até teor de água de 12%. Após secagem, as sementes foram armazenadas em câmara fria, durante 0, 3 e 6 meses. Concluiu-se que não há relação entre a concentração de tanino e a dormência em semente de sorgo. No último ensaio, sementes da cultivar BR 310, colhidas com 19% e 27% de umidade, foram submetidas à secagem sob temperaturas de 35°C, 45°C e 35°/45°C e armazenadas em ambiente convencional e câmara fria durante o período de 9 meses. A germinabilidade das sementes aumentou com o armazenamento, quando foram secas a 35°/45°C, sendo a melhor temperatura para as sementes colhidas com 19% de umidade. Houve queda na porcentagem de sementes dormentes aos 3 meses de armazenamento.

Palavras-chave: Temperatura de secagem. Tanino. Umidade. Sementes.

## ABSTRACT

Studies related to seed maturation are important for the determination of the moment suitable for collection and for evaluation of the tolerance to dissection of those seeds. In this work were developed three experiments with the objective of studying the alterations in sorghum seeds during development as well as the effect of drying temperature and of tannin concentration in dormancy induction during storage and quality of the seeds collected with varying moisture. In the first one, seeds of cultivar BR 305 with 2.28g tannin/100g and BR 310 with 0.52 g tannin/100g were collected at 7 times after planting (100, 103, 107, 113, 119, 121, 127 days) based on the water content of the seeds. In each time, the seeds were divided into two batches, one submitted to drying at 35°C till the water content of 12% and the other without drying. It follows that the effect of drying on germination is beneficial when seeds are collected with higher water contents. In the second assay, the seeds of cultivar BR 305 and BR 310 collected with water content of 18-20% were dried in dryers at temperatures of 35°C, 45°C and 35/45°C and under natural drying till water content of 12%. After drying, the seeds were stored in cold room for 0, 3 and 6 months. It is concluded that there is no relationship between tannin concentration and dormancy in sorghum seeds. In the last assay, seeds of cultivar BR 310, collected with 19% and 27% of moisture, submitted to drying at temperatures of 35°C, 45°C and 35/45°C and stored in conventional environment and cold room during the 9-month period. Germinability of seeds increased with storage when dried at 35/45°C, their being the best temperature for the seeds collected with 19%. There was a fall in the percentage of dormant seeds at 3 months of storage.

Key words: Drying temperature. Tannin. Moisture. Seeds.

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO..... 09</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO..... 11</b>
<b>2.1</b>	<b>A cultura do sorgo..... 11</b>
<b>2.2</b>	<b>Composição química das sementes..... 12</b>
<b>2.3</b>	<b>Maturação das sementes..... 18</b>
<b>2.4</b>	<b>Secagem e tolerância a dessecação..... 20</b>
<b>2.5</b>	<b>Dormência em sementes..... 22</b>
<b>2.6</b>	<b>Armazenamento e deterioração..... 24</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS..... 27</b>
	<b>REFERÊNCIAS..... 28</b>
<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS</b>	
	<b>ARTIGO 1 - ASPECTOS BIOQUÍMICOS, FÍSICOS E 35</b> <b>FISIOLÓGICOS DO DESENVOLVIMENTO</b> <b>DE SEMENTES DE SORGO COM</b> <b>DIFERENTES TEORES DE TANINO.</b>
	<b>ARTIGO 2 - SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE 63</b> <b>SEMENTES DE SORGO COM ALTO E</b> <b>BAIXO TEOR DE TANINO.</b>
	<b>ARTIGO 3 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE 97</b> <b>SECAGEM NA QUALIDADE DE SEMENTES</b> <b>DE SORGO COLHIDAS COM DIFERENTES</b> <b>UMIDADES.</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O sorgo é a base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas, em mais de 30 países. Somente arroz, trigo, milho e batata o superam em termos de quantidade de alimento consumido. Entretanto, a cultura do sorgo produz muito menos do que seu potencial oferece (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2007).

Sua reconhecida versatilidade se estende desde o uso de seus grãos como alimento humano e animal, e como matéria-prima para a produção de álcool anidro, bebidas alcoólicas, colas e tintas e suas panículas, para a produção de vassouras, até a extração de açúcar de seus colmos e as inúmeras aplicações de sua forragem na nutrição de ruminantes. O sorgo pode substituir parcialmente o milho nas rações para aves e suínos e totalmente para ruminantes, com vantagem comparativa de menor custo de produção. Além disso, a cultura possui bom desempenho para a produção de massa, sendo muito utilizada como cobertura morta, proporcionando maior proteção do solo contra a erosão.

Agronomicamente, os sorgos são classificados em quatro grupos: granífero, forrageiro para silagem e ou sacarino, forrageiro para pastejo/corte verde/fenação/cobertura morta e vassoura. Dos quatro grupos, o sorgo granífero é o que tem maior expressão econômica e está entre os cinco cereais mais cultivados em todo o mundo.

A produção mundial de grãos de sorgo foi cerca de 61 milhões de toneladas, na safra 2009. A área total cultivada é de cerca de 40 milhões de hectares e entre os maiores produtores do mundo estão a Nigéria, os Estados Unidos e a Índia. Na América do Sul, a Argentina é o maior produtor, seguido pelo Brasil, que está entre os dez maiores produtores do mundo, com área plantada de 830 mil hectares e produção de 2 milhões de toneladas (AGRIANUAL, 2009).

A cultura do sorgo teve um avanço significativo no Brasil a partir da década de 1970. Atualmente, Goiás, Mato Grosso e Triângulo Mineiro concentram aproximadamente 85% de toda a produção de sorgo granífero no país, principalmente em plantios de sucessão às culturas de verão. Existem projeções sobre o potencial de expansão da cultura no Brasil com aumento de até seis vezes da área plantada, ainda nesta década, sem risco de excesso de oferta. O século XX foi o século do trigo, do arroz e do milho; o século XXI poderá ser o século do sorgo (EMBRAPA, 2007).

Com a perspectiva de crescimento da cultura do sorgo, aumentará significativamente a demanda por sementes com alta qualidade. Nesse cenário há a necessidade do aprimoramento de técnicas de produção, colheita e secagem, para garantir a sustentabilidade do sistema.

No entanto, as sementes de sorgo ainda são pouco estudadas em relação à dormência e à qualidade fisiológica. Sabe-se que essas possuem dormência, atribuída por alguns autores ao tegumento e, para outros, aos compostos fenólicos e, ainda, pela interação entre hormônios. Entretanto, não havia interesse dos pesquisadores em estudar o gênero *Sorghum* e, por essa razão, não há uma extensa literatura sobre a dormência dessas sementes. Entretanto, está claro que essa dormência existe e é agronomicamente significativa em *Sorghum bicolor* (SIMPSON, 1990).

Dessa maneira, objetivou-se, com a realização desta pesquisa, estudar as alterações nas sementes de sorgo durante o desenvolvimento, o efeito da temperatura de secagem e a concentração de tanino na indução de dormência durante o armazenamento, a qualidade das sementes colhidas com diferentes umidades e as variações da qualidade durante o armazenamento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura do sorgo

O *Sorghum bicolor* (L.) Moench é, provavelmente, originário da África subtropical ou tropical, embora algumas evidências indiquem que possa ter havido duas regiões de dispersão independentes: a África e a Índia. A domesticação do sorgo, segundo registros arqueológicos, deve ter acontecido por volta de 3000 a.C. Quando e como o sorgo se dispersou para fora da África é matéria de grande controvérsia. O sorgo não é nativo do hemisfério ocidental e, nas Américas, é de introdução bem mais recente (EMBRAPA, 2007).

A partir da década de 1940, com o surgimento dos chamados "combine types" ou sorgos graníferos, é que a cultura tomou um significativo incremento em várias regiões dos EUA. Nos anos 1960, o sorgo híbrido tornou-se um incontestável sucesso e a nova tecnologia rompeu fronteiras, tornando-se, rapidamente, uma cultura muito popular em diversos países. Entre o final dos anos 1960 e início dos anos 1970, o setor privado entrou no agronegócio do sorgo com o sistema de produção e distribuição de sementes melhoradas. Nesse momento, os híbridos de sorgo granífero de porte baixo recém-lançados na Argentina chegaram ao Brasil por meio da fronteira gaúcha (EMBRAPA, 2007).

O ciclo vegetativo da cultura é de aproximadamente 100 dias, sendo considerada planta de dia curto, de clima temperado e tropical. Varderlip e Reeves (1972) dividiram as fases de desenvolvimento do sorgo em 9 estádios. No estádio 3, aproximadamente 30 dias após semeadura, tem início da formação da panícula. O florescimento da panícula (estádio 6) se dá de cima para baixo e, em 4 a 9 dias após o início do florescimento, já se tem meia floração; nessa fase 50% do peso seco da planta já foi atingida. No estádio 7, após 70 dias, o grão é

considerado leitoso e já atingiu metade do peso seco. No estágio 8,  $\frac{3}{4}$  do peso seco do grão já foram acumulados, sendo considerado pastoso. No estágio 9 ocorre o ponto de maturidade fisiológica, caracterizada pelo máximo acúmulo de massa seca e com a grau de umidade dos grãos variando entre 25% a 35%.

A partir da maturidade fisiológica, o acúmulo de massa seca cessa e o de massa fresca diminui. As plantas são mantidas no campo até as sementes atingirem um teor de água em torno de 18%, valor ideal para uma colheita que provoque menos danos (SILVA et al., 2001). Porém, essas plantas, no campo, estão expostas a intempéries e a pragas e a doenças, prejudicando a qualidade das sementes.

A determinação do ponto de colheita, bem como o monitoramento dos estágios finais de maturação, permite conhecer o comportamento dessas sementes sem prejuízos para a qualidade fisiológica, além de ser importante para a sensibilidade delas à temperatura de secagem.

## **2.2 Composição química das sementes**

A composição química das sementes varia com a espécie, a época de colheita, os fatores genéticos e as cultivares, sendo influenciada por fatores ambientais, como disponibilidade de água, temperatura, fertilidade do solo e práticas culturais (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Conhecer a constituição das sementes é fundamental para que se possam estabelecer padrões, visando à utilização como fonte básica de alimento para o homem ou animais, ou para a sua utilização na indústria. Muitas substâncias presentes nas sementes atuam como protetoras contra ataque de pássaros, pragas e doenças, podendo também influenciar na germinação, na longevidade das sementes e no vigor das plântulas (MAGALHÃES; DURÃES, 2003).

As principais substâncias de reserva nas sementes são carboidratos, óleos e proteínas. No caso do sorgo, essa composição é de 11% de proteína, 3,3% de lipídios e 74% de carboidratos (WATT; MERRIL, 1963). No entanto, outros compostos podem também estar presentes, a exemplo dos alcaloides, fenóis e fito-hormônios.

Basicamente, as reservas das sementes têm como função a manutenção e o desenvolvimento do embrião até a formação de uma plântula com a capacidade de manter-se de forma autotrófica (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

Os carboidratos, ou hidratos de carbono, formam aproximadamente 83% da matéria seca total das sementes dos cereais. Os mais importantes desse grupo são o amido, que é predominante, a celulose, a hemicelulose, as pentosonas, as dextrinas e os açúcares (KENT, 1971). Os carboidratos classificados como monossacarídeos são substâncias simples, existentes em maior quantidade na natureza na forma de glicose; oligossacarídeos são polímeros compostos de monossacarídeos unidos por ligações glicosídicas, em número que varia de duas, até, aproximadamente, dez unidades, entre os quais se destaca a sacarose e, por último, os polissacarídeos, substâncias de alto peso molecular, na sua maioria solúveis em água, e os insolúveis, geralmente encontrados nas paredes celulares, com a função de reforçar a estrutura dos vegetais (BOBBIO; BOBBIO, 2003).

Os açúcares totalizam uma pequena porcentagem entre os carboidratos presentes na semente. Esses monossacarídeos são armazenados no endosperma, com decréscimo no teor de amido (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Além do amido, os açúcares não redutores são importantes durante o desenvolvimento das sementes, sendo considerados os principais responsáveis pela aquisição da tolerância à dessecação (HOTTIGER et al., 1994). Esses açúcares são eficientes em estabilizar macromoléculas e a estrutura de membranas durante a dessecação. Por outro lado, a alta concentração de

açúcares redutores, como glicose, frutose, galactose e maltose, nas sementes está associada à sua deterioração (KOSTER; LEOPOLD, 1988).

Em sementes ortodoxas, o período de enchimento dos grãos é sucedido por um período característico de secagem. A sacarose pode ser acumulada ao final desse processo, sendo degradada logo no início da germinação. Em sementes ortodoxas, atribui-se, como sendo a principal função da sacarose, a propriedade de estabilizarem membranas e, com isso, poderem permanecer secas por um longo período (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

Koster e Leopold (1988) estudaram o armazenamento de sementes de milho e verificaram o desaparecimento de açúcares, como sacarose e rafinose e o aumento de outros, como glicose e frutose, quando essas sementes perderam a viabilidade.

Os lipídios, outra substância de reserva em sementes, são considerados fontes de energia mais eficientes que os carboidratos (MARCOS FILHO, 2005), abrangendo um número muito vasto de substâncias, razão pela qual não é possível defini-los exatamente. São considerados, de maneira geral, como compostos geralmente insolúveis em água, mas solúveis em solventes orgânicos. Existem, no entanto, exceções, embora raras, quanto à solubilidade desses compostos (BOBBIO; BOBBIO, 2003).

Por serem insolúveis, os lipídios são fundamentais para estabelecer uma interface entre o meio intracelular e o extracelular. São armazenados em organelas específicas, conhecidas como corpos lipídicos, sob a forma de triglicerídeos (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

Esses triglicerídeos são formados por três moléculas de ácidos graxos e uma molécula de glicerol e as alterações químicas nos ácidos graxos insaturados, resultantes da peroxidação dos lipídios, afetam as propriedades estruturais e funcionais das membranas, aumentando a sua permeabilidade e contribuindo para que as sementes percam nutrientes importantes durante a embebição.

Embora a peroxidação de lipídios seja indicada como uma das principais causas da deterioração de sementes, alguns autores não associaram essa reação com a deterioração em sementes de soja (PRIESTLEY; LEOPOLD, 1983), e de milho (LINN; PEARCE, 1990).

As proteínas são componentes essenciais para as células vivas, sendo encontradas em todos os tecidos das sementes, com maior concentração no embrião e na camada de aleurona. A síntese de proteína começa após a completa hidratação das células. No entanto, o tempo de embebição das sementes varia de acordo com a espécie, podendo ocorrer dentro de poucos minutos ou demorar várias horas (KENT, 1971).

O principal sistema de classificação de proteínas vegetais, com base na solubilidade, foi desenvolvido por Osborne (1924). Tal sistema classifica quatro grandes grupos de proteínas: albuminas, globulinas, prolaminas e as gluteninas. As glutelinas e as prolaminas representam de 80% a 90% do total de proteínas para a maioria dos cereais, como trigo, milho, cevada, centeio e sorgo (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Contudo, existem classificações que se baseiam na função dessas proteínas, a exemplo das proteínas de reserva, estruturais e de proteção, além dos critérios baseados em relações bioquímicas e moleculares, representadas pelas enzimas e nucleoproteínas (BEWLEY, 1979). Em sementes de sorgo, a composição média dessas proteínas é de 6% de albuminas, 10% de globulinas, 46% de prolaminas e 38% de glutelinas (BEWLEY; BLACK, 1985).

A redução na quantidade de proteínas durante a deterioração das sementes pode ser o principal responsável pelo seu declínio metabólico, seja por um extensivo dano no sistema de síntese de proteínas (ESPÍNDOLA et al., 1994) ou devido à síntese ou ativação de grande quantidade de enzimas proteolíticas (BEWLEY; BLACK, 1982).

Além desses constituintes, as sementes possuem, em sua composição, outras substâncias não menos importantes, porém, em menor quantidade.

Os recentes avanços na química, por meio de métodos modernos de extração, têm contribuído para um conhecimento mais acurado de inúmeros compostos secundários. Muitos desses compostos são potencialmente aleloquímicos, variando em concentração, composição e localização nas plantas (TAIZ; ZEIGNER, 2004). Os compostos mais comuns pertencem aos grupos dos ácidos fenólicos, cumarinas, terpenoides, flavonoides, alcaloides, glicosídeos, cianogênicos, derivados do ácido benzoico, taninos e quinonas complexas (MEDEIROS, 1990).

Os taninos, embora encontrados em outras partes da planta, estão presentes nas sementes, particularmente na estrutura do tegumento. São compostos de alto peso molecular, contendo fenólicos, hidroxilas ou outros grupos macromoleculares. Formam, com água, soluções coloidais de sabor adstringente e têm a propriedade de precipitar proteínas e vários alcaloides em solução (BOBBIO; BOBBIO, 2003).

Quimicamente, os taninos são classificados em dois grupos principais denominados taninos hidrolisáveis (TH) e os taninos condensados (TC) ou proantocianidinas (LEWIS; YAMAMOTO, 1989; SALUNKHE; CHAVAN; KADAM, 1990).

No campo, esses compostos fenólicos e seus derivados podem servir como defesa química contra pássaros, como no caso de sorgo, em que a planta não tem nenhuma proteção para as sementes (MAGALHÃES; DURÃES, 2003) e maior resistência ao desenvolvimento de fungos causadores de podridão no grão antes da colheita (HARRIS; BURNS, 1973).

Outros compostos, como os fito-hormônios, funcionam como substâncias mediadoras dos processos fisiológicos que interferem diretamente na germinação das sementes. Transformam sinais ambientais específicos em

respostas bioquímicas, produzindo modificações no estado fisiológico da semente, seja por meio da transcrição diferencial, da repressão gênica, da ativação do RNA mensageiro ou, ainda, por alteração da permeabilidade da membrana. As modificações nas propriedades físicas das membranas afetam diretamente a taxa de hidratação, a liberação de enzimas, o transporte iônico, o pH e o conteúdo de inibidores (DAVIES; ALBRIGO, 1994).

As auxinas, por exemplo, durante o processo de germinação, estão envolvidas na permeabilidade das membranas e alongação celular. Esse hormônio tem relação direta com crescimento vegetal (CASTRO; GONÇALVES; DEMÉTRIO, 1985; CASTRO; VIEIRA, 2001; ROSS, 1992). Por outro lado, as giberelinas estão envolvidas tanto na superação da dormência como no controle de hidrólise das reservas, pela indução da síntese de novo da  $\alpha$ -amilase, enzima responsável pela hidrólise do amido (LEVITT, 1974).

Outra classe de fito-hormônio bastante conhecida é a citocinina, que tem grande capacidade de promover divisão celular e participa do processo de alongamento e diferenciação. Auxilia na germinação das sementes, uma vez que podem estar envolvidas no controle genético, no controle da tradução e na regulação de funções proteicas, na permeabilidade de membranas e nos níveis de giberelinas (VIEIRA; CASTRO, 2000).

O etileno, fito-hormônio na forma gasosa ( $C_2H_4$ ), é um potente regulador de crescimento que afeta vários processos do desenvolvimento das plantas, como crescimento, diferenciação e senescência (SMALLE; STRAETEN, 1997). O principal local de produção do etileno nas sementes é o embrião e inicia-se imediatamente após o início da embebição de água, aumentando com o tempo, sendo o padrão de produção na germinação bastante variável (ESASHI; KATOH, 1975).

O fito-hormônio etileno pode ainda estimular a germinação e superar a dormência em várias espécies (ABELES; MORGAN; SALTVEIT JUNIOR,

1992). Apesar de o efeito do etileno ter sido reportado há mais de setenta anos, muitas questões permanecem sem resposta e, embora seja aceito o seu efeito na germinação de sementes, seu mecanismo de ação é ainda pouco compreendido (ESASHI, 1991).

Em muitas espécies, ao final do processo de maturação, são acumuladas quantidades significativas de ácido abscísico (ABA) nas sementes, coincidindo com a queda nos níveis de giberelinas e de auxinas. O ABA induz e bloqueia a expressão de diversos genes (NICOLÁS; RODRIGUES, 1997) e proteínas diversas, a exemplo das Lea's (BARDUCHE et al., 1999). Embora se desconheça a identidade dos transcriptos, acredita-se que eles estejam envolvidos na dormência e que a inibição da síntese e ou a remoção ativa dos mesmos sejam necessárias para a progressão da germinação (NICOLÁS; RODRIGUES, 1997). O ABA também inibe a expressão de genes que codificam enzimas envolvidas na degradação de reservas, como amilases e proteinases, cuja síntese é promovida pelo ácido giberélico (BARDUCHE et al., 1999).

As proteínas resistentes ao calor são de fundamental importância nas sementes ortodoxas, por possuírem importante papel na proteção das estruturas citoplasmáticas das sementes, durante a desidratação. A detecção e o acúmulo nas fases finais do desenvolvimento têm sido correlacionados com a aquisição de tolerância à dessecação em várias espécies (KERMONDE, 1997), ocorrendo mudanças no padrão dessas proteínas durante a maturação (BEWLEY; BLACK, 1994).

### **2.3 Maturação das sementes**

O momento ideal para a colheita baseia-se no acompanhamento do desenvolvimento das sementes com base em modificações como tamanho, teor de água, conteúdo de matéria seca, germinação e vigor. Em vários trabalhos,

realizados com maturação de sementes de diversas espécies, o conteúdo de matéria seca tem sido considerado o melhor e mais seguro indicativo de que as sementes atingiram a maturidade fisiológica (DIAS, 2001). Para sementes de sorgo, o máximo acúmulo de matéria seca ocorre quando o teor de água está em torno de 23% a 30% (KERSTING; STICKLER; PAULI, 1961).

A maturidade fisiológica não é uniforme, variando dentro da mesma planta. Tillmann et al. (1985) observaram estreita relação entre a perda de grau de umidade e o acréscimo de matéria seca nas sementes, para as três porções da panícula, em sorgo BRS 501, durante o processo de maturação. Verificaram, ainda, que a maior germinação e o máximo acúmulo de matéria seca ocorreram aos 47 dias após a antese, considerando a porção apical e em torno de 54 dias após a antese, para a porção média e basal. A germinação das sementes tem início de 6 a 10 dias após a antese (DELOUCHE, 1971) e atinge o máximo no período de 15 a 20 dias a partir do início do florescimento.

Andrade e Oliveira (1988), estudando a maturação fisiológica da semente de sorgo sacarino, verificaram que os maiores índices de germinação e vigor foram obtidos quando as sementes estavam com a umidade em torno de 30%, correspondendo ao intervalo de 35 a 44 dias após a floração.

Ao avaliarem o efeito da colheita em diferentes estádios de maturação sobre a qualidade fisiológica das sementes de cinco cultivares de sorgo granífero, Costa et al. (2001) concluíram que a melhor época de colheita está em torno de 30 dias após a floração, para as cultivares IPA 86002502, IPA 73001011, IPA 8602527 e IPA 8602528 e, aos 44 dias, para a cultivar IPA 7300201.

Sales (1978), no entanto, observou o máximo de germinação para as sementes de sorgo NK 233 colhidas aos 29 dias após a floração. O máximo de vigor foi obtido para as sementes colhidas aos 45 dias e o maior valor de peso seco das sementes foi atingido aos 41 dias após a floração. Considerando-se

peso seco, volume, germinação e vigor, o ponto de maturação fisiológica das sementes ocorreu aproximadamente aos 45 dias após a floração e, nesse ponto, as sementes continham teor de água em torno de 30%.

De acordo com Borba et al. (1993), o máximo de germinação e vigor encontrado para as sementes de sorgo das cultivares BR 007 A e BR 007 B foi aos 33 dias, correspondendo a um grau de umidade em torno de 42% e 43%. O máximo de matéria seca foi encontrado aos 52 dias após a floração.

São muitas as variações encontradas na literatura, provavelmente devido aos diferentes locais, épocas de semeadura e, principalmente, ao tipo de cultivar utilizada em cada experimento. Mesmo com tais divergências, é essencial ter parâmetros e conhecimento da cultura para aproximar o máximo do ponto de colheita. Para Carvalho e Nakagawa (2000), o momento adequado para a colheita de sementes de sorgo é com o teor de água entre 16% a 18%.

No momento da colheita, além do estágio de maturação, o conteúdo de água nas sementes é importante para a sensibilidade delas à temperatura de secagem, garantindo a sua qualidade ao longo do armazenamento.

#### **2.4 Secagem e tolerância à dessecação**

Em várias espécies vegetais de importância econômica, as sementes podem ter seu grau de umidade reduzido, mantendo a viabilidade e o vigor durante longos períodos de armazenamento a baixas temperaturas. Essas sementes são denominadas ortodoxas e toleram a dessecação pós-colheita com grau de umidade em torno de 4% (HONG; ELLIS, 1996; ROBERTS, 1973).

Sabe-se que sementes ortodoxas, como as de sorgo, passam por uma redução natural do teor de água no processo de desenvolvimento, ficando em um estado seco e quiescente, o que possibilita seu armazenamento e sobrevivência nas várias condições ambientais. Essa dessecação tem papel importante em

terminar o desenvolvimento e preparar a semente para eventos germinativos após a reidratação. Essas sementes não germinam e também não apresentam síntese de enzimas essenciais à germinação, se não passarem pela secagem natural que ocorre na pós-maturação ou se não forem submetidas à secagem artificial em determinado estágio do seu desenvolvimento (BEWLEY, 1979; KERMODE; BEWLEY, 1989).

Durante o processo de secagem, ocorrem diversas mudanças bioquímicas nas células das sementes. Dentre essas mudanças, está a síntese de determinadas proteínas na fase final de maturação, conhecidas como LEA (*late embryogenesis abundant*) proteínas (BEWLEY; BLACK, 1994), cuja detecção e acúmulo, nas fases finais do desenvolvimento das sementes, têm sido correlacionados com a aquisição de tolerância à dessecação, em várias espécies (KERMONDE, 1997).

Faria et al. (2004) verificaram alterações no perfil das proteínas resistentes ao calor nas sementes de milho, em diferentes estágios de maturação. Menor intensidade de bandas foi observada quando as sementes não foram submetidas à secagem e maior intensidade, quando as sementes foram secas, demonstrando o acúmulo dessa proteína durante a secagem. Para esses autores, ficou evidenciado também o fato de a secagem induzir o aparecimento de bandas dessa proteína em sementes de milho colhidas com alto teor de água.

As LEAs proteínas acumulam-se em embriões de sementes de milho e cevada, durante os estágios mais tardios do desenvolvimento, em fase correspondente à aquisição de tolerância à dessecação (LEPRINCE; HENDRY; MCKERSIE, 1993) e durante a secagem lenta (ROSA et al., 2004), e a sua expressão cessa rapidamente após a germinação (BLACKMAN et al., 1992). Essas proteínas são de fundamental importância nas sementes ortodoxas, por possuírem importante papel na proteção das estruturas citoplasmáticas das sementes durante a desidratação. No final da maturação, a secagem favorece o acúmulo de açúcares solúveis (sacarose, estaquiose e rafinose) que também

exercem proteção contra efeitos negativos da desidratação e contribuem para a estabilidade do sistema de membrana, ao favorecer a preservação das relações hidrofílicas associadas a atividades de proteínas durante a desidratação (MARCOS FILHO, 2005).

Dessa maneira, o processo de secagem artificial das sementes deve ser conduzido cuidadosamente, em função dos teores de água que cada espécie exige e da temperatura que cause menos danos durante esse processo. Uma secagem incorreta pode causar injúrias ao sistema de membrana, o que ocasiona redução no potencial de armazenabilidade dessas sementes, além da possível indução da dormência em sementes de sorgo, provocada por altas temperaturas.

## **2.5 Dormência em sementes**

Com a maturidade fisiológica, as sementes se desligam da planta-mãe aptas a germinar. Durante o desenvolvimento, o conteúdo de água reduz o que diminui gradualmente o metabolismo do embrião, mantendo-o com um metabolismo mínimo. E, quando todos os fatores ambientais são favoráveis à germinação e, mesmo assim, a mesma não ocorre, essas sementes são consideradas dormentes.

A dormência é uma característica determinada por fatores genéticos, mas a sua indução ocorre devido à influência do ambiente durante a maturação. Como é atribuída a várias causas, pode-se esperar que um mesmo fator do ambiente possa apresentar efeitos variáveis, de acordo com a espécie considerada, dependendo do mecanismo endógeno envolvido (MARCOS FILHO, 2005).

Hartmann et al. (1997) consideram como possíveis causas da dormência em sementes a impermeabilidade do tegumento à entrada de água e gases, à resistência mecânica a expansão do embrião ou a presença de substâncias inibidoras da germinação. Há, ainda, a dormência morfológica, que pode ocorrer

quando o embrião é considerado rudimentar ou imaturo e a dormência interna, a qual pode ser dividida em dormência fisiológica, que tende a desaparecer com o armazenamento; dormência interna intermediária, induzida pelos envoltórios ou tecidos de armazenamento das sementes e a dormência do embrião, o qual, mesmo separado da semente, tem difícil germinação.

Em sementes de sorgo (*Sorghum vulgare*), a dormência secundária pode ser induzida, secando-as à temperatura de 46°C-48°C e reduzindo sua umidade para cerca de 7% (NUTILE; WOODSTOCK, 1967). Segundo Marcos Filho (2005), a inibição da germinação pode ser provocada por substâncias presentes na cobertura ou na parte interna das sementes, que bloqueiam o metabolismo preparatório para a germinação ou impedem o livre acesso do oxigênio ao embrião ou a liberação de gás carbônico. São conhecidos vários tipos de inibidores da germinação. Dentre eles, destacam-se taninos, ácidos fenólicos, aldeídos e alcaloides.

Os taninos são metabólitos secundários e não participam de vias metabólicas responsáveis pelo crescimento e reprodução (TAIZ; ZEIGNER, 2004). A quantidade desse metabólito varia nas cultivares de sorgo, conferindo uma ação antinutricional, principalmente para os animais monogástricos. A presença do tanino no grão de sorgo depende da constituição genética do material. No passado, era comum encontrar classificação de sorgo dos grupos I, II e III, representando teores baixos, médios e altos de tanino. Hoje, sabe-se que o tanino está presente ou ausente no grão (MAGALHÃES; DURÃES, 2003).

O tanino no sorgo tem causado bastante controvérsia. Apesar de algumas vantagens agronômicas, como a resistência a pássaros e doenças do grão, ele causa problemas na digestão dos animais, pelo fato de formar complexos com proteínas. Queiroz (1979) observou que o teor de tanino foi altamente correlacionado com a germinação das sementes e que, de modo geral, a dormência não perdura por mais de três meses. As sementes de sorgo tendem a

perder a dormência com o armazenamento, não se sabe realmente se devido a uma exposição a baixas temperaturas ou à redução de compostos fenólicos no tegumento.

## **2.6 Armazenamento e deterioração**

O armazenamento não melhora a qualidade de um lote de sementes. Essa qualidade é adquirida durante o processo de desenvolvimento e pode ser perdida por processos deteriorativos, que podem se iniciar nessa fase. Quando as sementes se deterioram, elas perdem vigor progressivamente, apresentando redução na velocidade e na uniformidade de emergência, menor resistência a condições adversas, decréscimo na proporção de plântulas normais e, finalmente, perdem a viabilidade ou a capacidade de germinar (HALMER; BEWLEY, 1984).

Dentre as principais alterações envolvidas na deterioração, destacam-se o esgotamento das reservas; a alteração da composição química, como a oxidação dos lipídios, das enzimas envolvidas na deterioração de sementes e a quebra parcial das proteínas; a redução da integridade e o aumento da permeabilidade, e a desorganização das membranas celulares. Embora a deterioração progrida com a elevação do grau de umidade das sementes, os mecanismos celulares funcionais de reparo são mantidos pelo metabolismo durante a respiração aeróbica (IBRAHIM; ROBERTS, 1983).

A perda da viabilidade das sementes, no processo de deterioração, é precedida por redução na capacidade de sintetizar proteínas, devido ao declínio de componentes como ribossomos, RNA mensageiro e alterações na transcrição e na tradução. Com o envelhecimento das sementes (VIEIRA, 2002) ocorre a degradação de macromoléculas e, conseqüentemente, a diminuição de atividades bioquímicas das sementes (COOLBEAR, 1995).

O mecanismo de degradação de membranas e macromoléculas durante o envelhecimento tem sido objeto de pesquisas nas últimas décadas. Uma variedade de oxidações enzimáticas e espontâneas pode ocorrer para gerar radicais livres, que podem causar a destruição de grandes polímeros, incluindo os lipídios de membranas. Os radicais livres são grupo de átomos com um elétron não pareado, o que os torna altamente reativos e instáveis. Os mais importantes nesse contexto são os radicais hidroxila ( $\text{OH}^\cdot$ ), superóxido ( $\text{O}_2^\cdot$ ) e o peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Uma vez presente na célula, esses radicais livres podem iniciar reações oxidativas em cadeia, altamente danosas, especialmente com ácidos graxos poli-insaturados, formando hidroperóxidos de lipídios (COOLBEAR, 1995; DESAI; KOTECHA; SALUNKHE, 1997).

As superóxidos dismutase (SOD) são um grupo de enzimas encontradas no citoplasma celular e na matriz mitocondrial que catalizam a reação de dismutação de radicais superóxidos livres ( $\text{O}_2^\cdot$ ) para oxigênio molecular ( $\text{O}_2$ ) e peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), um composto menos reativo (SCANDÁLIOS, 1993). É considerada chave na regulação de concentrações intracelulares de radicais superóxidos e peróxidos (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 1989).

No entanto, o acúmulo de peróxido de hidrogênio na célula também é tóxico, podendo levá-la à morte, principalmente na presença de ferro. Para reduzir esse efeito fitotóxico, as enzimas catalase e peroxidase transformam esse produto em oxigênio molecular e água, sem a produção de radicais livres (MCDONALD, 1999).

Com a deterioração das sementes, outras enzimas podem estar relacionadas com a perda da viabilidade das sementes, a exemplo da esterase, a qual está envolvida em reações de hidrólise de ésteres. Este grupo de enzimas hidrolíticas libera ácido graxo dos lipídios, os quais são usados na  $\beta$ -oxidação, como fonte de energia para os eventos germinativos. Enquanto muitos desses

lipídios são provenientes de lipossomos, alguns são constituintes de membranas, cuja degradação aumenta com a deterioração. Santos, Menezes e Vilela (2005) observaram aumento na atividade de esterase durante o armazenamento de sementes de feijão, sendo mais expressivo na cultivar de menor qualidade fisiológica.

Aung e McDonald (1995), ao avaliarem a atividade da esterase durante a deterioração de sementes de amendoim, observaram um decréscimo na atividade total com o aumento de deterioração, tanto em sementes embebidas como não embebidas.

A enzima malato desidrogenase (MDH) exibe poucas mudanças qualitativas durante o desenvolvimento de um organismo. Essas enzimas são encontradas em associação a uma grande quantidade de organelas subcelulares, apresentando diferenças na regulação da atividade em vários sítios (SCANDALIOS, 1974). Por se tratar de uma enzima importante na respiração, o aumento do número e ou da intensidade de coloração de bandas em sementes submetidas a períodos longos de armazenamento pode ser atribuído ao aumento da respiração que ocorre em sementes que se encontram em processo de deterioração avançado, uma vez que enzimas envolvidas na respiração podem ser ativadas em sementes de qualidade reduzida (SHATTERS et al., 1994).

Quando a via anaeróbica da respiração é ativada, produtos tóxicos às células, como acetaldeído e etanol, são acumulados, contribuindo para a deterioração das sementes. No metabolismo anaeróbico, o piruvato, primariamente produzido na glicólise, é convertido para acetaldeído pela ação da enzima piruvato descarboxilase e o acetaldeído é, então, reduzido para etanol pela álcool desidrogenase (ADH).

A ADH está envolvida no processo de conversão de acetaldeído a etanol e o acúmulo de acetaldeído tem sido relacionado com a deterioração das sementes. Zhang et al. (1994) relatam que, quando a atividade da enzima álcool

desidrogenase diminui, a semente fica mais susceptível à ação deletéria do acetaldeído, o que pode ser um importante fator que acelera a deterioração das sementes durante o armazenamento.

### **3 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Com a perspectiva de crescimento da cultura do sorgo e o consequente aumento na demanda por sementes, o aprimoramento de técnicas de produção, colheita e secagem torna-se necessário. O conhecimento prévio da qualidade de um lote de sementes e do potencial de armazenamento desse lote é importante para a indústria sementeira.

Dentre as várias etapas pelas quais as sementes passam após a colheita, o armazenamento assume importante papel, o que torna necessário os estudos relativos ao processo de deterioração das sementes. A redução no potencial de armazenamento está diretamente relacionada ao processo complexo e inevitável da deterioração, porém, passível de ser minimizado com técnicas adequadas de secagem e conservação.

Dessa maneira, estudar o comportamento das sementes durante o desenvolvimento e o armazenamento, bem como as mudanças bioquímicas e as concentrações de compostos, torna-se necessário para a manutenção da qualidade dessas sementes por períodos mais longos.

## REFERÊNCIAS

- ABELES, F. B.; MORGAN, P. W.; SALTVEIT JUNIOR, M. E. Fruit ripening abscission and post harvest disorders. In: \_\_\_\_\_. **Ethylene in plant biology**. 2. ed. Sacramento: Academic, 1992. chap. 6, p. 182-221.
- AGRIFANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP, 2009. 516 p.
- ANDRADE, R. V.; OLIVEIRA, A. C. Maturação fisiológica do colmo e da semente de sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 10, n. 3, p. 19-31, mar. 1988.
- AUNG, U. T.; MCDONALD, M. B. Changes in esterase activity associated with peanut (*Arachis hypogaea* L.) seed deterioration. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 23, n. 1, p. 101-111, Jan. 1995.
- BARDUICHE, D. et al. Effect of ABA and GA in protein mobilization in embryos and cotyledons of angico (*Anadenanthera peregrina* L.): sprenge seeds during germination. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 135-144, 1999.
- BEWLEY, J. D. Physiological aspects of desiccation tolerance. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 30, p. 195-238, 1979.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum, 1985. 376 p.
- \_\_\_\_\_. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum, 1994. 455 p.
- \_\_\_\_\_. Viability and longevity. In: \_\_\_\_\_. **Physiology and biochemistry of seeds**. Berlin: Springer Verlag, 1982. v. 2, 47 p.
- BLACKMAN, S. A. et al. Maturation proteins and sugars in desiccation tolerance of developing seeds. **Plant Physiology**, Rockville, v. 100, n. 1, p. 225-230, Sept. 1992.
- BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. São Paulo: Varela, 2003. 223 p.

BORBA, C. S. et al. Maturação fisiológica das sementes das cultivares BR 007 A e BR 007 B de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 15, n. 1, p. 105-108, jan. 1993.

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

CASTRO, P. R. C.; GONÇALVES, M. B.; DEMÉTRIO, C. G. B. Efeito dos reguladores vegetais na germinação de sementes. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p. 449-468, 1985.

CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 132 p.

COOLBEAR, P. Mechanisms of seed deterioration. In: BASRA, A. S. **Seed quality: basic mechanisms and agricultural implications**. New York: Food Products, 1995. p. 223-275.

COSTA, L. F. et al. Efeito da colheita em diferentes estádios de maturação sobre a qualidade fisiológica das sementes de cinco cultivares de sorgo granífero. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 18., 2001, Vitória. **Resumos...** Vitória: Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária, 1990. p. 117.

DAVIES, F.; ALBRIGO, L. **Citrus**. Wallingford: CAB International, 1994. 254 p.

DELOUCHE, J. C. Seed maturation. In: \_\_\_\_\_. **Handbook of seed technology**. State College: Mississippi State University, 1971. p. 17-21.

DESAI, B. B.; KOTECHA, P. M.; SALUNKHE, D. K. **Seeds handbook**. New York: M. Dekker, 1997. 627 p.

DIAS, D. C. F. Maturação de sementes. **Seed News**, Pelotas, v. 5, n. 6, p. 22-24, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Gramíneas tropicais**. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicações/sorgo>>. Acesso em: 6 jul. 2007.

ESASHI, Y. Ethylene and seed germination. In: MATTOO, A. K.; SUTTLE, J. C. (Ed.). **The plant hormone ethylene**. Boca Raton: CRC, 1991. p. 133-157.

ESASHI, Y.; KATOH, H. Dormancy and impotency of cocklebur seeds: III., CO<sub>2</sub> - and C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> - dependent growth of the embryonic axis and cotyledon segments. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 16, p. 707-718, 1975.

ESPÍNDOLA, L. S. et al. Cellular and metabolic damage induced by desiccation in recalcitrant *Araucaria angustifolia* embryos. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 4, n. 2, p. 193-201, June 1994.

FARIA, M. A. V. R. et al. Germinabilidade e tolerância à dessecação em sementes de milho colhidas em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 2, p. 276-289, 2004.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Org.). **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artemd, 2004. 323 p.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. Protection against oxidants in biological systems: the superoxide theory of oxygen toxicity. In: HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. (Ed.). **Free radical in biology and medicine**. Oxford: Clarendon, 1989. p. 86-123.

HALMER, P.; BEWLEY, D. A physiological perspective on seed vigour testing. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 12, n. 2, p. 561-575, Apr. 1984.

HARRIS, D. H.; BURNS, R. E. Relationship between tannin content or sorghum grain and preharvest seed molding. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, n. 6, p. 957-959, Dec. 1973.

HARTMANN, H. T. et al. **Plant propagation: principles and practices**. 6. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997. 770 p.

HONG, T. D.; ELLIS, R. H. **A protocol to determine seed storage behavior**. Rome: IPGRI, 1996. 62 p. (IPGRIU Technical Bulletin, 1).

HOTTIGER, T. et al. The role of trehalose synthesis for the acquisition of thermotolerance in yeast: II., physiological concentrations of trehalose increase the thermal stability of proteins in vitro. **European Journal of Biochemistry**, Berlin, v. 219, n. 1/2, p. 187-193, Jan. 1994.

IBRAHIM, A. E.; ROBERTS, E. H. Viability of lettuce seeds: I., survival in hermetic storage. **Journal of Experimental Botany**, Cambridge, v. 34, n. 142, p. 620-630, May 1983.

KENT, N. L. Composição química dos alimentos. In: \_\_\_\_\_. **Tecnologia de los cereales**. Zaragoza: Acribia, 1971. p. 36-62.

KERMONDE, A. R. Approaches to elucidate the basis of desiccation-tolerance in seeds. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 7, n. 2, p. 75-95, June 1997.

KERMONDE, A. R.; BEWLEY, J. D. Development seeds of *Ricinus communis* L. when detached and maintained in a atmosphere of high relative humidity, switch to a germinative mode without the requirement for complete desiccation. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 90, n. 3, p. 702-707, June 1989.

KERSTING, J. F.; STICKLER, F. C.; PAULI, A. W. Grain sorghum caryopsis development: I., changes in dry weight, moisture percentage and viability. **Agronomy Journal**, Madison, v. 53, n. 1, p. 36-38, 1961.

KOSTER, K.; LEOPOLD, A. C. Sugar and desiccation tolerance in seeds. **Plant Physiology**, Rockville, v. 88, n. 4, p. 829-832, Dec. 1988.

LEPRINCE, O.; HENDRY, G. A. F.; MCKERSIE, B. D. The mechanisms of dessication tolerance in developing seeds. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 3, n. 3, p. 231-246, Sept. 1993.

LEVITT, J. **Introduction to plant physiology**. 2. ed. Saint Louis: C. V. Mosby, 1974. 447 p.

LEWIS, N. G.; YAMAMOTO, E. Tannins-their place in plant metabolism. In: HEMINGWAY, R. W.; KARCHESY, J. J. (Ed.). **Chemistry and significance of condensed tannins**. New York: Plenum, 1989. p. 23-46.

LINN, S. S.; PEARCE, R. S. Changes in lipids en bean seeds (*Phaseolus vulgaris*) and corn caryopses (*Zea mays*) aged in contrasting environments. **Annals of Botany**, London, v. 65, n. 4, p. 452-456, Oct. 1990.

NUTILE, G. E.; WOODSTOCK, L. W. The influence of dormancy-inducing desiccation treatments on the respiration and germination of sorghum. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 20, p. 554-561, 1967.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Tanino no grão de sorgo**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2003. 2 p. (Comunicado Técnico, 88).

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

MCDONALD, M. B. Seed deterioration: physiology, repair and assessments. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 27, n. 1, p. 177-237, Mar. 1999.

MEDEIROS, A. R. M. Alelopatia: importância e suas aplicações. **Horti Sul**, Pelotas, v. 1, n. 3, p. 27-32, 1990.

NICOLÁS, C.; RODRÍGUES, D. The expression of an abscisic acid responsive glycine-rich protein coincides with the level of seed dormancy in *Fagus sylvaca*. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 38, n. 12, p. 1303-1310, Dec. 1997.

OSBORNE, T. B. **The vegetable proteins**: monographs on biochemistry. London: Longmans, 1924. 154 p.

PRIESTLEY, D. A.; LEOPOLD, A. C. Lipid changes during natural ageing of soybean seeds. **Plant Physiology**, Washington, v. 63, n. 4, p. 726-729, 1983.

QUEIROZ, G. M. **Germinação, vigor e capacidade de armazenamento de semente de sorgo granífero, *Sorghum bicolor* (L.) Moench**. 1979. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1979.

ROBERTS, E. H. Predicting the storage life of seeds. **Seeds Science and Technology**, Zurich, v. 1, n. 3, p. 499-514, 1973.

ROSA, S. D. V. F. et al. Indução de tolerância à alta temperatura de secagem em sementes de milho por meio de pré-condicionamento à baixa temperatura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 2, p. 290-318, 2004.

ROSS, C. W. Hormones and growth regulators: auxins and gibberellins. In: SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. (Ed.). **Plant physiology**. 4. ed. Belmont: Wadsworth, 1992. p. 357-377.

SALES, I. C. **Maturação de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**. 1978. 94 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1978.

SALUNKHE, D. K.; CHAVAN, J. K.; KADAM, S. S. **Dietary tannins**: consequences and remedies. Boca Raton: CRC, 1990. 200 p.

SANTOS, C. M. R.; MENEZES, N. L.; VILELA, F. A. Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 27, n. 1, p. 104-114, jan./fev. 2005.

SCANDALIOS, J. G. Isozymes in development and differentiation. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 25, n. 1, p. 225-258, 1974.

\_\_\_\_\_. Oxygen stress and superoxide dismutase. **Plant Physiology**, Rockville, v. 101, n. 1, p. 7-12, Jan. 1993.

SHATTERS, R. G. et al. Soybean seed deterioration and response to osmotic priming: changes in specific enzyme activities in extracts from dry and germination seeds. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 4, n. 1, p. 33-41, Mar. 1994.

SILVA, J. N. et al. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo coletadas em diferentes pontos de um secador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 487-491, 2001.

SIMPSON, G. M. **Seeds dormancy in grasses**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 297 p.

SMALLE, J.; STRAETEN, D. van der. Ethylene and vegetative development. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 100, n. 3, p. 593-605, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGNER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 720 p.

TILLMANN, M. A. et al. Maturação e qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino provenientes de diferentes localizações na panícula. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 7, n. 2, p. 101-112, jan./mar. 1985.

VANDERLIP, R. L.; REEVES, H. E. Growth stages of sorghum (*Sorghum bicolor*, L. Moench.). **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, n. 1, p. 13-16, 1972.

VIEIRA, E. L.; CASTRO, P. R. C. **Ação de Stimulate na germinação de sementes, vigor de plântulas e crescimento radicular de plantas de milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2000. 15 p.

VIEIRA, M. G. G. C. **Técnicas moleculares em sementes**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 86 p.

WATT, B. K.; MERRIL, A. L. **Composition of foods, raw, processed, prepared**. Washington: United States Department of Agriculture, 1963. 190 p.

ZHANG, M. et al. Mechanism of seed deterioration in relation to the compounds involved by dry seeds themselves. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 4, n. 1, p. 49-56, Mar. 1994.

**ARTIGO 1 - ASPECTOS BIOQUÍMICOS, FÍSICOS E FISIOLÓGICOS  
DO DESENVOLVIMENTO DE SEMENTES DE SORGO COM  
DIFERENTES TEORES DE TANINO**

Preparado de acordo com as normas da revista Interciência – Versão preliminar

**RESUMO** - O momento ideal para a colheita é baseado no acompanhamento do desenvolvimento das sementes considerando modificações como tamanho, teor de água, conteúdo de matéria seca, germinação e vigor. Dessa maneira, objetivou-se, com a realização desta pesquisa, avaliar as alterações bioquímicas, física e fisiológica ocorridas durante o desenvolvimento das sementes de sorgo com diferentes concentrações de tanino. Foram utilizadas sementes das cultivares BR 305 e BR 310, colhidas em sete estádios de desenvolvimento (100, 103, 107, 113, 119, 121, 127 dias após a semeadura), baseado-se no teor de água. As sementes colhidas em cada época foram divididas em dois lotes, sendo um submetido à secagem em estufa de circulação de ar a 35°C, até que atingissem a umidade de 12% e o outro lote não foi submetido à secagem. A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada por meio dos testes de germinação, viabilidade pelo teste de tetrazólio, condutividade elétrica e perfis enzimáticos. Foi determinada, ainda, a concentração de tanino nas sementes em cada estádio de desenvolvimento. Pelos resultados, pode-se observar efeito benéfico da secagem na germinação, quando as sementes têm maiores teores de água. Nas sementes sem secagem, a porcentagem de dormência é maior quando comparada à das sementes secadas. Para a cultivar BR 305, a secagem favoreceu a concentração de tanino em sementes colhidas em diferentes estádios de desenvolvimento. O mesmo ocorreu para a cultivar BR 310, em sementes colhidas aos 100, 103 e 119 dias após semeadura. Para os perfis enzimáticos, foram observadas maiores atividades das enzimas álcool desidrogenase, malato

desidrogenase, catalase,  $\alpha$ -amilase e esterase, em sementes da cultivar com baixo teor de tanino BR 310 e após a secagem.

**Palavras-chave:** germinação, colheita, maturação, *Sorghum bicolor*

**BIOCHEMICAL, PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF  
THE DEVELOPMENT OF SORGHUM SEEDS WITH DIFFERENT  
TANNIN CONTENTS**

**ABSTRACT** – The ideal moment for collection is based upon the monitoring of the development of seeds on the basis of modifications such as size, water content, dry matter content, germination and vigor. In that manner, it was aimed in this research work to evaluate the biochemical, physical and physiological alterations occurred during the development of sorghum seeds with different tannin concentrations. Seeds of cultivars BR 305 and BR 310 collected at seven developmental stages (100, 103, 107, 113, 119, 121, 127 days after sowing) based upon water content were utilized. The seeds collected at each time were divided into two batches, one submitted to drying in air circulation oven at 35°C till they reached the moisture of 12% and the other was not submitted to drying. The physiological quality of seeds was evaluated by means of germination test, viability by the tetrazolium test, electric conductivity and enzyme profiles. Further, the tannin concentration in the seeds in each developmental stage was determined. From the results, effect beneficial from drying on germination can be observed when the seeds have increased water content. In the seeds without drying, the percentage of dormancy is higher when compared with the ones of the dried seeds. For cultivar BR 305, drying supported tannin concentration in seeds collected at different developmental stages. The same occurred for cultivar BR 310 in seeds collected at 100, 103 and 119 days after sowing. From the enzyme profiles were found increased activities of alcohol dehydrogenase, malate dehydrogenase, catalase,  $\alpha$ -amylase and esterase in seeds of the low tannin cultivar, BR 310 and after drying.

Key words: germination, collection, maturation, *Sorghum bicolor*

O acompanhamento das sementes durante o desenvolvimento é feito por meio de modificações, como tamanho, teor de água, conteúdo de matéria seca, germinação e vigor. Em vários trabalhos, realizados com maturação de sementes de diversas espécies, o conteúdo de matéria seca tem sido considerado como o melhor e mais seguro indicativo de que as sementes atingiram a maturidade fisiológica (Dias, 2001).

Varderlip e Reeves (1972) relatam que, após 70 dias a partir da floração, no estágio 7, o grão de sorgo é considerado leitoso e já atingiu metade do peso seco. No estágio 8,  $\frac{3}{4}$  do peso seco da semente já foram acumulados, sendo considerado pastoso. O estágio 9 marca o ponto de maturidade fisiológica, caracterizado pelo máximo acúmulo de massa seca e com o teor de água variando entre 25% a 35%. Para Kersting *et al.* (1961), esses valores variam de 23% a 30% do teor de água.

A maturidade fisiológica não é uniforme, variando dentro da mesma planta. Tillmann *et al.* (1985) observaram estreita relação entre a perda de grau de umidade e o acréscimo de matéria seca nas sementes, para as três porções da panícula em sorgo BRS 501, durante o processo de maturação. Verificaram, ainda, que a maior germinação e o máximo acúmulo de matéria seca ocorreram aos 47 dias após a antese, considerando a porção apical e em torno de 54 dias após a antese, para a porção média e basal. A germinação das sementes tem início de 6 a 10 dias após a antese (Delouche, 1971) e atinge o máximo no período de 15 a 20 dias a partir do início do florescimento.

Sales (1978) avaliou a maturação de sementes de sorgo NK 233, observando maiores valores de germinação aos 29 dias após a floração. O máximo de vigor foi obtido para as sementes colhidas aos 45 dias e o peso seco e o volume das sementes foram atingidos aos 41 dias. Considerando-se peso seco, volume, germinação e vigor, o ponto de maturação fisiológica das

sementes ocorreu, aproximadamente, 45 dias após a floração e, nesse ponto, as sementes continham teor de água em torno de 30%.

De acordo com Borba *et al.* (1993), o máximo de germinação e vigor encontrado para as cultivares BR007A e BR007B foi aos 33 dias, correspondendo a um grau de umidade em torno de 42% e 43%. O máximo de matéria seca foi encontrado aos 52 dias após a floração.

Em várias espécies vegetais de importância econômica, as sementes podem ter seu grau de umidade reduzido, mantendo a viabilidade e o vigor durante longos períodos de armazenamento a baixas temperaturas (Hong e Ellis, 1996). Essa dessecação tem papel importante em terminar o desenvolvimento e preparar a semente para eventos germinativos após a reidratação. Essas sementes não germinam e também não apresentam síntese de enzimas essenciais à germinação se não passarem pela secagem natural ou se não forem submetidas à secagem artificial em determinado estágio do seu desenvolvimento (Bewley, 1979; Kermode e Bewley, 1989).

Durante o processo de secagem, ocorrem diversas mudanças bioquímicas nas células das sementes. Dentre essas mudanças está a síntese de determinadas proteínas na fase final de maturação, conhecida como LEA (*late embryogenesis abundant*) proteínas (Bewley e Black, 1994), cuja detecção e acúmulo nas fases finais do desenvolvimento de sementes têm sido correlacionados com a aquisição de tolerância à dessecação em várias espécies (Kermonde, 1997).

No entanto, a secagem pode causar injúrias no sistema de membrana, desencadeando mecanismos enzimáticos, com alterações nos constituintes celulares. O comprometimento da estrutura celular facilita o contato da enzima polifenoloxidase, exclusiva de plastídeos, com compostos fenólicos, armazenados preferencialmente nos vacúolos, tornando inevitável a oxidação de fenóis que, convertidos a quinonas, podem reagir com proteínas, inclusive a

própria polifenoloxidase, explicando sua menor atividade (Amorim e Josephson, 1975).

Uma variedade de oxidações enzimáticas e espontâneas também pode ocorrer, gerando radicais livres. Os mais importantes nesse contexto são os radicais hidroxila ( $\text{OH}^\cdot$ ), superóxido ( $\text{O}_2^\cdot$ ) e o peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) (Coolbear, 1995; Desai *et al.*, 1997).

O acúmulo dessas substâncias na célula é tóxico, podendo levá-la à morte, principalmente na presença de ferro e, para reduzir esse efeito fitotóxico, as enzimas catalase e peroxidase transformam esse produtos em oxigênio molecular e água, sem a produção de radicais livres (McDonald, 1999).

Outras enzimas podem ser relacionadas com a perda da viabilidade das sementes, a exemplo da esterase. Esse grupo de enzimas hidrolíticas libera ácido graxo dos lipídios, os quais são utilizados na  $\beta$ -oxidação, como fonte de energia para os eventos germinativos.

A enzima malato desidrogenase (MDH) exibe poucas mudanças qualitativas durante o desenvolvimento de um organismo. Essas enzimas são encontradas em associação a uma grande quantidade de organelas subcelulares, apresentando diferenças na regulação da atividade em vários sítios (Scandalios, 1974).

Quando a via anaeróbica da respiração é ativada, produtos tóxicos às células, como acetaldeído e etanol, são acumulados, contribuindo para a deterioração das sementes. No metabolismo anaeróbico, o piruvato, primariamente produzido na glicólise, é convertido para acetaldeído pela ação da enzima piruvato descarboxilase e o acetaldeído é, então, reduzido para etanol pela álcool desidrogenase (ADH).

Além das alterações enzimáticas durante o desenvolvimento, a redução do conteúdo de água mantém o embrião com metabolismo mínimo, sendo ativado com a reidratação. Nesse caso, quando todos os fatores ambientais são

favoráveis à germinação e mesmo assim ela não ocorre, essas sementes são consideradas dormentes.

Em sementes de sorgo (*Sorghum vulgare*), a dormência secundária pode ser induzida, com o avanço da secagem sob temperatura de 46°C-48°C, reduzindo sua umidade para cerca de 7%. Segundo Marcos Filho (2005), a inibição da germinação pode ser provocada por substâncias presentes na cobertura ou na parte interna das sementes, que bloqueiam o metabolismo preparatório para a geminação ou impedem o livre acesso do oxigênio ao embrião ou a liberação de gás carbônico. São conhecidos vários tipos de inibidores da germinação, como taninos, ácidos fenólicos, aldeídos e alcaloides.

A presença do tanino no grão de sorgo depende da constituição genética do material. No passado, era comum encontrar classificação de sorgo dos grupos I, II e III, representando teores baixos, médios e altos de tanino. Hoje, sabe-se que o tanino está presente ou ausente no grão (Magalhães e Durães, 2003).

Queiroz (1979) observou que o teor de tanino foi altamente correlacionado com a germinação das sementes e que, de modo geral, a dormência não perdura por mais de três meses. E, como as sementes de sorgo tendem a perder a dormência com o armazenamento, não se sabe realmente se isso é devido a uma estratificação a baixas temperaturas ou à redução de compostos fenólicos no tegumento.

Na ausência de informações precisas, as alternativas disponíveis para determinar a época ou o ponto mais favorável para a colheita consistem na avaliação do grau de umidade e utilização de características morfológicas de partes da planta. Dessa maneira, objetivou-se, com a realização desta pesquisa, avaliar as alterações bioquímicas, física e fisiológica ocorridas durante o desenvolvimento das sementes de sorgo com diferentes concentrações de tanino.

## MATERIAL E MÉTODOS

As análises foram conduzidas no Laboratório Central de Análise de Sementes e Laboratório de Ciência dos Alimentos, da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A semeadura foi realizada, em dezembro de 2007, na área experimental do Departamento de Agricultura (UFLA), onde predomina o solo do tipo Latossolo Vermelho Escuro. As correções de fertilidade e pH do solo seguiram as recomendações da 5ª aproximação (Ribeiro *et al.*, 1999).

O solo foi preparado de maneira convencional, de acordo com recomendações para a cultura. Cada tratamento foi constituído de 4 parcelas, compostas de 6 linhas de 5 m, com espaçamento de 0,5 m entre linhas e 12 plantas por metro linear, totalizando 30 m<sup>2</sup>. A área útil de cada parcela foi constituída pelas 4 linhas centrais. Para a adubação de plantio, utilizaram-se 400 kg/ha da formulação 8-20-10 e, para adubação de cobertura, foi utilizado o sulfato de amônio, na dosagem de 350 kg/há, parcelado em duas aplicações, sendo a primeira aos 30 dias após o plantio e a segunda, aos 45 dias. O controle de invasoras, assim como o controle de pragas e doenças, foi realizado sempre que necessário.

A colheita das sementes foi realizada em diferentes épocas. A primeira colheita foi realizada quando as sementes atingiram o estágio 7, conforme descrito por Varderlip e Reeves (1972), caracterizado pelo grão leitoso, com umidade aproximada de 48%. As demais colheitas foram realizadas quando estas atingiram aproximadamente 43%, 40%, 35%, 30%, 25% e 20% de grau de umidade, o que correspondeu a 100, 103, 107, 113, 119, 121 e 127 dias após a semeadura. As panículas foram colhidas e as sementes debulhadas manualmente. Parte dessas sementes foi seca em estufa de circulação de ar, com temperatura de 35°C, até atingir 12% de grau de umidade e a outra parte não foi submetida à secagem.

A qualidade das sementes foi avaliada pelos testes de umidade, germinação, tetrazólio, condutividade elétrica de massa, análise enzimática e quantificação de tanino. A determinação do grau de umidade foi realizada pelo método da estufa, a 105°C, durante 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). No teste de germinação, o substrato para semeadura foi o papel do tipo “Germitest”, umedecido com água destilada, em quantidade de 2,5 vezes o peso seco do papel. As sementes foram colocadas em germinador regulado, à temperatura de 25°C e a avaliação realizada aos 4 e aos 10 dias após a semeadura. Foram consideradas como plântulas normais aquelas que possuíam, no mínimo, duas raízes seminais e raiz principal maior que 5 cm. As sementes remanescentes de cada tratamento do teste de germinação foram cortadas longitudinalmente, com uso de um bisturi. A metade de cada semente foi colocada em recipiente de plástico escuro, imersa em solução de sal de tetrazólio a 0,5%, durante 2 horas, em temperatura constante de 30°C. Após a coloração, as partes da semente foram avaliadas com o auxílio do microscópio estereoscópico para a determinação da viabilidade.

Na realização do teste de condutividade elétrica de massa, as sementes foram pesadas e colocadas em copos plásticos, contendo 75 ml de água deionizada. Após 24 horas de embebição, a 25°C, foi realizada a leitura, com auxílio de um condutivímetro de massa e os resultados expressos em  $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ , de acordo com metodologia descrita por Krzyzanowski *et al.* (1999).

Para a quantificação de tanino, as sementes foram trituradas e pesaram-se 5g, colocando-se em tubos de ensaio e acrescentando 30 ml de metanol 80%. Essa mistura foi fervida por um período de 20 minutos, em refluxo, na chapa elétrica para tubo 150°C. A quantificação foi realizada pelo método químico-colorimétrico de Folin-Dennis e as leituras realizadas em espectrofotômetro, a 760 nm.

Na realização da análise enzimática, em cada estágio de desenvolvimento das sementes foram retiradas duas amostras de 100 sementes e armazenadas à temperatura de -86 °C. Para a extração da enzima  $\alpha$ -amilase, as sementes foram embebidas em papel tipo 'Germitest', a 25°C, por um período de 96 horas. Decorrido esse período, o eixo embrionário foi descartado e trituradas somente as sementes na presença de PVP e nitrogênio líquido. Para as demais enzimas, as sementes foram maceradas sem embebição. Para a extração das enzimas foi utilizado o tampão Tris HCl 0,2 M pH 8,0 + (0,1% de  $\beta$  mercaptoetanol), na proporção de 250  $\mu$ L por 100 mg de amostra. O material foi homogeneizado em vórtex e mantido *overnight*, em geladeira, seguido de centrifugação a 16.000 xg, por 30 minutos, a 4°C. A corrida eletroforética foi realizada em sistema de géis de poliacrilamida a 7,5% (gel separador) e 4,5% (gel concentrador) e, para  $\alpha$ -amilase, foi acrescentado 0,5% de amido. O sistema gel/eletrodo utilizado foi o Tris-glicina pH 8,9. Foram aplicados 50  $\mu$ L do sobrenadante da amostra e a corrida efetuada a 120 V, por 6 horas. A revelação foi realizada conforme Alfenas *et al.* (1991), para catalase (CAT), esterase (EST), malato desidrogenase (MDH), álcool desidrogenase (ADH) e  $\alpha$ -amilase. Para análise eletroforética de proteínas resistentes ao calor e a determinação da atividade da polifenoloxidase, as sementes foram embebidas nas mesmas condições citadas, mas por período de 5 horas.

Para a extração das proteínas resistentes ao calor, as sementes foram maceradas na presença de solução tampão (50 mM tris-HCl 7,5; 500 mM NaCl; 5 mM  $MgCl_2$  ; 1 mM PMSF), na proporção de 1:10 (peso material: volume tampão de extração) e transferidas para microtubos. O material foi homogeneizado em vórtex e centrifugado, a 16.000 xg, por 30 minutos, a 4°C. O sobrenadante foi colocado em banho-maria, a 85°C, por 15 minutos e novamente centrifugado. Posteriormente, 70 $\mu$ L do sobrenadante foram misturados a 40  $\mu$ L de solução tampão (2,5 ml de glicerol, 0,46 g de SDS e 20 mg de azul de

Bromofenol) e colocados em banho-maria, com água em ebulição, por cinco minutos. Foram aplicados 50 µL no gel de poliacrilamida SDS-PAGE a 12,5% (gel separador) e 6% (gel concentrador). A corrida eletroforética foi realizada a 120V, por 6 horas e o gel corado em Coomassie Blue a 0,05% (Alfenas *et al.*, 1991), durante 12 horas e descorado em solução de ácido acético 10%.

A determinação da atividade da enzima polifenoloxidase foi realizada de acordo com o método descrito por Draetta e Lima (1976), em que as sementes de sorgo foram previamente moídas, em moinho refrigerado, a 4°C, adicionando-se nitrogênio líquido. A cada 5 g de amostra, foram adicionados 40 mL da solução tampão de fosfato de potássio 0,1 M pH 6,0 e homogeneizando-se em vórtex, por 5 minutos. Em seguida, as amostras foram filtradas em papel de filtro Whatman n° 1, a vácuo. Na determinação desta enzima, foi utilizado extrato da amostra sem o DOPA (L-3,4-dihydroxyphenylalanina) como branco e realizada a curva padrão. A leitura da atividade da enzima polifenoloxidase foi realizada em espectrofotômetro Schumaz e os resultados expressos em U/min/g.

O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, no esquema fatorial de 7x2, sendo sete estádios de desenvolvimento, com e sem secagem. Realizou-se análise de regressão para as variáveis quantitativas. Foram utilizadas 4 repetições de 50 sementes em cada tratamento.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Dados sobre variação da temperatura média do ar, pluviometria e umidade relativa, de dezembro de 2007 a maio de 2008, podem ser observados na Figura 1. A colheita das sementes ocorreu no período de 26 de março a 21 de abril de 2008. Os teores de água em que foram colhidas as sementes estão apresentados na Figura 2. Eles variaram de 48,5% a 21,9%, para lote com alto

tanino (BR 305) e de 46,0% a 24,7%, para lote com baixo tanino (BR 310). Observa-se que o grau de umidade das sementes decresceu a partir da primeira colheita, ocorrida aos cem dias após a semeadura.

Foram observadas interações significativas dos fatores secagem e estágio de desenvolvimento para ambos os lotes, para todos os testes realizados.

Pelos resultados dos testes de germinação (Figura 3), em sementes não submetidas à secagem, no lote com alta concentração de tanino (BR 305), observou-se redução nos valores de germinação a partir dos 107 e até 119 dias, com aumento aos 121 dias. A maior porcentagem de sementes úmidas que apresentavam dormência ocorreu quando essas estavam com 35% de umidade, aos 113 dias (Figura 4).

No entanto, para as sementes secas do mesmo lote, observou-se redução na porcentagem de germinação até os 107 dias, sendo mantida até o último estágio de desenvolvimento. Com a secagem, a porcentagem de sementes dormentes foi nula (Figura 4).

Os maiores valores de germinação foram observados quando as sementes foram colhidas com 22% de grau de umidade e não submetidas à secagem. Para alguns autores, esses valores são de 30% de teor de água (Sales, 1978; Andrade e Oliveira, 1988) e de 42% (Borba *et al.*, 1993).

Para as sementes do lote com baixo teor de tanino (BR 310) e não submetidas à secagem (Figura 3), houve comportamento semelhante ao do lote BR 305, em relação à germinação, tendo ocorrido aumento até 113 dias nesse valor, com a máxima germinação coincidindo com a redução no teor de água (Figura 3). A germinação das sementes da cultivar BR 310, independentemente da secagem, foi superior à da cultivar BR 305 (alto teor de tanino), em todos os estágios de desenvolvimento. Para Muscolo *et al.* (2001), os compostos fenólicos inibem as enzimas glicose-6-fosfato de-hidrogenase, glicose fosfato isomerase e aldolase, que estão relacionadas com a síntese de açúcares, levando

à menor germinação das sementes. Esses compostos podem também inibir a atividade da enzima  $\alpha$ -amilase (Figura 8B), em que se observa atividade em todos os estádios de desenvolvimento para as sementes da cultivar BR 310 após secagem.

Em relação à porcentagem de dormência (Figura 4), nas sementes submetidas à secagem, os resultados são semelhantes aos observados em sementes do lote BR 305 e BR 310. Nas sementes sem secagem do lote BR 310, houve um incremento na porcentagem de sementes dormentes até um valor máximo de 12%, aos 107 dias, quando elas apresentavam grau de umidade de 40%. A partir desse estágio, ocorreu queda nesses valores, sendo nula aos 121 e aos 127 dias, quando colhidas com 25% e 20% de teor de água. Para o lote BR 305, o valor máximo de sementes dormentes ocorreu aos 113 dias, quando estas apresentavam 35% do grau de umidade, com posterior queda nesses valores, coincidindo com a redução no teor de água.

Analisando-se os resultados da concentração de tanino (Figura 5), verifica-se que, após a secagem, as sementes apresentaram redução na concentração de tanino até um mínimo de 327,8 mg/100g, aos 119 dias após semeadura, para sementes do lote BR 310, com posterior aumento. No entanto, para as sementes sem secagem, observou-se aumento da concentração de tanino nos estádios de desenvolvimento, atingindo a maior concentração aos 127 dias. Nesse mesmo período e condição, registrou-se redução na porcentagem de dormência das sementes desse lote (Figura 4).

Para Butler (1982), durante a maturação, há uma variação no conteúdo de tanino, com declínio nas sementes maduras, o que é variável em diferentes cultivares. Nas sementes secas da cultivar BR 305, houve redução da concentração de tanino com o avanço do processo de maturação e maiores valores de tanino quando comparados aos das sementes não secas. A concentração de tanino não variou muito com o estágio de desenvolvimento,

sendo registrada a menor concentração de tanino para essas sementes, aos 119 dias após semeadura.

Pode-se verificar, ainda, que, para o lote BR 305, a secagem favoreceu a concentração desse composto em sementes em diferentes estádios de desenvolvimento. No entanto, para o lote BR 310, a secagem não favoreceu a concentração, observando-se maior diferença para a primeira época. Com base no peso seco, o teor de tanino atinge o máximo no início do processo de maturação (Butler, 1982).

Na Figura 6 observa-se que, a partir dos 107 dias, para as sementes sem secagem do lote BR 310, foram registrados os maiores valores de lixiviação medidos pelo teste de condutividade elétrica. Comportamento inverso foi demonstrado pelas sementes secas. Já para o lote BR 305, não houve grandes variações para as sementes que receberam ou não a secagem. De modo geral, verifica-se redução nos valores da condutividade, ao longo do desenvolvimento.

Com o avanço dos estádios de maturação ocorre a organização estrutural das membranas celulares, o que explica a redução nos valores de condutividade elétrica. A secagem natural ou artificial promove a estruturação de membranas, no entanto, para o lote com baixo tanino (BR 310), a secagem artificial parece ser menos danosa para o sistema de membranas do que a natural.

Em relação à enzima polifenoloxidase (Figura 7), a atividade foi maior em sementes do lote com baixa concentração de tanino (BR 310), aos 100 e aos 103 dias após a semeadura, naquelas sementes submetidas à secagem. Logo após o terceiro estágio de maturação, no entanto, observou-se inversão nessa tendência, com maior atividade da enzima nas sementes que não foram submetidas à secagem.

No entanto, para o lote com alta concentração de tanino (BR 305), menor atividade foi observada em sementes submetidas à secagem, independente do estágio de desenvolvimento. Para as sementes sem secagem,

houve aumento na atividade da enzima ao longo do desenvolvimento, sendo mais acentuado a partir dos 107 dias, com o máximo valor de atividade aos 127 dias.

A redução da atividade da enzima polifenoloxidase em sementes secas do lote BR 310 coincide com a redução da concentração de tanino (Figura 5) e menores valores de condutividade elétrica (Figura 6). Isso demonstra que, com a manutenção da estrutura da membrana das sementes, reduz-se a presença dessa enzima, que se mantém compartimentalizada nos plastídeos. Segundo Amorim e Josephson (1975), o comprometimento da estrutura celular facilita o contato da enzima polifenoloxidase com compostos fenólicos, armazenados preferencialmente nos vacúolos, tornando inevitável a oxidação de fenóis que, convertidos a quinonas, reagem com proteínas, inclusive a polifenoloxidase, explicando sua menor atividade.

Existem, na literatura, muitas controvérsias em relação à atividade dessa enzima. Murata *et al.* (1995) observaram decréscimo na atividade específica da PPO durante o amadurecimento de frutos de maçã 'Fuji'. Em outros frutos, têm-se registrado incrementos que, segundo Mowlah e Itoo (1982), podem estar associados à queda no teor de polifenóis. Outra questão para a diferença na atividade dessa enzima pode ser o excesso de produto formado, o que pode reduzir a atividade. Essas diferenças podem, ainda, estar ligadas ao processo de extração e detecção da atividade dessa enzima e, até mesmo, ao processo de determinação dos compostos fenólicos.

Analisando-se os padrões de bandas de proteínas resistentes ao calor, apresentados na Figura 8A, fica evidente a ausência de algumas bandas nas sementes colhidas em estádios menos avançados de maturação e sem secagem, para as duas cultivares. Pode-se observar um padrão de bandas semelhante nas sementes submetidas à secagem do lote BR 310. Ficou evidenciado também o

fato de a secagem induzir o aparecimento de bandas dessa proteína em sementes colhidas com altos teores de água.

Guimarães (2000) constatou a presença de proteínas resistentes ao calor em todos os estádios de desenvolvimento de sementes de café, independente do método de secagem. No entanto, sementes que não foram submetidas ao processo de secagem apresentaram ausência de algumas bandas.

Faria *et al.* (2004) avaliaram sementes de milho em diferentes estádios de maturação e detectaram menor intensidade de banda quando elas não foram submetidas à secagem e maior intensidade quando foram secas, demonstrando o acúmulo dessa proteína durante a secagem e a maturação.

As diferenças no padrão dessa proteína são esperadas e coincidem com as variações fisiológicas observadas nos testes de germinação (Figura 3), principalmente no lote com baixo tanino (BR 310) em que, a partir dos 107 dias e sem secagem, houve o aparecimento de bandas e, quando as sementes foram submetidas à secagem, esse padrão foi uniforme.

Essas proteínas são de fundamental importância nas sementes ortodoxas, por possuírem importante papel na proteção das estruturas citoplasmáticas das sementes, durante a desidratação (Marcos Filho, 2005). Sua baixa pode ser devido à sua complexação com compostos fenólicos (Liu *et al.*, 2009). Para estes autores, um dos entraves na utilização do sorgo é o alto conteúdo de compostos fenólicos, uma vez que as proteínas se ligam fortemente ao tanino e essa interação pode influenciar na análise eletroforética. A interação tanino-proteína pode ter sido responsável pela ausência de bandas nas variedades com alto conteúdo de tanino.

De maneira geral, foram observadas maiores atividades enzimáticas nas sementes do lote BR 310 e submetidas à secagem (Figura 8B, 8C, 8D, 8E, 8F). Isso demonstra que a secagem, para as sementes ortodoxas, é de fundamental

importância, uma vez que ocorrem ajustes na organização do sistema de membrana e da síntese de enzimas.

No entanto, para as sementes do lote BR 305 após a secagem isso não foi observado. Contudo, é evidente a atividade das enzimas em algum estágio de desenvolvimento, com posterior inibição dessa atividade. A secagem próxima ou após o ponto de máximo acúmulo de matéria seca pelas sementes deve alterar o comportamento de alguns compostos, promovendo o desaparecimento ou a inativação de outros (Marcos Filho, 2005).

A menor atividade da catalase em sementes com alta concentração de tanino (Figura 8D) pode ser explicada, uma vez que, de modo geral, os flavonoides protegem as células do estresse oxidativo pela quelação, inativação ou captação de radicais livres produzidos pelo sistema de transporte de elétrons (Harbone, 1994). Para Paiva *et al.* (2002), os taninos têm ação antioxidante, pois eles atuam no processo de estabilização dos radicais livres superóxido e peróxido de hidrogênio.

Durante o desenvolvimento da semente, na fase em que estão acumulando matéria seca, o teor de água é mantido em altos níveis. Por outro lado, à medida que a sementes mantêm alto teor de água e seu conteúdo de matéria seca aumenta, sua intensidade respiratória também aumenta (Carvalho e Nakagawa, 2000). Isso pode ser observado na Figura 8F, na qual a atividade da malato desidrogenase nas sementes sem secagem durante o desenvolvimento é mantida. A baixa atividade da MDH nas sementes da cultivar BR 305 pode ser devido à diminuição da entrada de oxigênio nas mitocôndrias e cloroplastos, devido à presença de compostos fenólicos nas sementes (Moreland e Novitzky, 1988).

A atividade dessa enzima se dá continuamente, uma vez que a energia gerada no ciclo de Krebs é fundamental, tanto para as reações de biossíntese de

produtos quanto da degradação de compostos para o crescimento da plântula (Moreland e Novitzky, 1988).

Na pesquisa realizada por Taiz e Zeigler (2004), não foram observadas diferenças na atividade da MDH em sementes, durante o processo de maturação. No entanto, os autores relatam que os órgãos de reserva em desenvolvimento necessitam de maior suprimento energético e, com isso, a atividade respiratória nesses tecidos vegetais é mais intensa.

De acordo com Butler (1982), maior atividade das enzimas nas sementes secas com alto teor de tanino pode ser devido à imaturidade das sementes, as quais contêm grandes quantidades de flavan 3-O1, monômero ou oligômero que são demasiado curtos para precipitar as proteínas. Ainda, durante a secagem desses materiais, também ocorre a polimerização desses compostos para formar tanino.

Após a secagem, para o lote BR 310, os padrões de atividade da  $\alpha$ -amilase (Figura 8B) foram semelhantes, independente do estágio de desenvolvimento. A secagem proporciona a ativação dessa enzima, favorecendo o processo de germinação. Oishi e Bewley (1990), em pesquisa com milho, relatam que a secagem causa o declínio de ácido abscísico e permite que a camada de aleurona torne-se sensível ao ácido giberélico, produzindo a  $\alpha$ -amilase. Vale ressaltar que a  $\alpha$ -amilase é secretada no endosperma, onde ocorre a degradação do amido e a glicose formada é transportada para os locais onde demandam gastos de energia.

As alterações nos perfis enzimáticos que ocorreram nas sementes do lote BR 305, independente da secagem, podem ser devido a outros fatores além da presença de taninos na semente, uma vez que o comportamento de compostos secundários na semente ainda não está bem elucidado. A presença da cumarina, que é um composto fenólico amplamente aceito como inibidor de germinação e com amplo espectro de ocorrência, é um exemplo. A cumarina possui efeitos na

inibição da germinação, tendo a capacidade de induzir a dormência de sementes sensíveis à luz vermelha (Almeida, 1988). Esse autor refere-se, ainda, à cumarina como inibidora do crescimento, ao verificar que ela inibiu a ação da giberelina nas plantas de ervilha. Na síntese das proteínas, o mesmo autor verificou que as cumarinas impedem a incorporação de carbono nas proteínas das sementes e dos embriões de sementes de rosas.

### CONCLUSÕES

O efeito da secagem na germinação é mais benéfico quando as sementes têm maiores teores de água.

A incidência de dormência é maior nas sementes não submetidas à secagem.

A secagem favorece o aumento da concentração de tanino em sementes colhidas em diferentes estádios de maturação

Houve maiores atividades das enzimas em sementes da cultivar com baixa concentração de tanino e submetidas à secagem

Não há relação entre a concentração de tanino e a dormência, em semente de sorgo.

### REFERÊNCIAS

Alfenas AC, Peters I, Brune W, Passador, GC (1991) *Eletroforese de proteínas e isoenzimas de fungos e essências florestais*. UFV. Viçosa, Brasil. 242 pp.

Almeida FS (1988) *A alelopatia e as plantas*. IAPAR. Londrina, Brasil.

Amorim HV, Josephson RV (1975) Water-soluble protein and non-protein components of brasilian green coffes beans. *Journal of Food Science*. 40: 1179-1185.

Andrade RV, Oliveira AC (1988) Maturação fisiológica do colmo e da semente de sorgo sacarino. *Revista Brasileira de Sementes*. 10: 19-31.

Bewley JD (1979) Physiological aspects of desiccation tolerance. *Annual Review of Plant Physiology*. 30: 195-238.

Bewley JD, Black M (1994) *Seeds: physiology of development and germination*. Plenum. New York, USA. 455 pp.

Borba CS, Andrade RV, Azevedo JT, Oliveira AC (1993) Maturação fisiológica das sementes das cultivares BR 007 a e BR 007 b de sorgo (*sorghum bicolor* (L.) moench). *Revista Brasileira de Sementes*. 15: 105-108.

Brasil. Ministério da Agricultura (2009) *Regras para análise de sementes*. Brasília, Brasil. 369 pp.

Butler LG (1982) Polyphenols and their effects on sorghum quality. In: International Symposium on Sorghum Grain Quality. New Delhi, India. *Proceedings...* pp. 294-311.

Carvalho NM, Nakagawa J (2000) *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. Unesp. Jaboticabal, Brasil. 588 pp.

Coolbear P (1995) Mechanisms of seed deterioration. In: Basra AS (Ed.). *Seed quality: basic mechanisms and agricultural implications*. Food Products. New York, USA, pp. 223-275.

Delouche JC (1971) Seed maturation. In: \_\_\_\_\_. *Handbook of seed technology*. Mississippi State University. Mississippi, USA. pp. 17-21.

Desai BB, Kotecha PM, Salunkhe DK (1997) *Seeds handbook*. Plenum. New York, USA. 627 pp.

Dias DCF (2001) Maturação de sementes. *Seed News*. 5: 22-24.

Draetta IS, Lima DC (1976) Isolamento e caracterização das polifenoloxidasas do café. *Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos*. 7: 13-28.

Faria MAVR, Von Pinho RG, Von Pinho EVR, Guimarães RM, Freitas FEO (2004) Germinabilidade e tolerância à dessecação em sementes de milho colhidas em diferentes estádios de maturação. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 3: 276-289.

Guimarães RM (2000) *Tolerância a dessecação e condicionamento fisiológico em sementes de cafeeiro (Coffea arabica, L.)*. 180 pp. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, Brasil.

Harbone JB (1994) *The flavonoids: advances in research since 1986*. London, England. p. 589-618.

Hong TD, Ellis RH (1996) *A protocol to determine seed storage behavior*. IPGRI. Rome. 62 pp.

Kermonde AR (1997) Approaches to elucidate the basis of desiccation-tolerance in seeds. *Seed Science Research*. 7: 75-95.

Kermonde AR, Bewley JD (1989) Development seeds of *Ricinus communis* L. when detached and maintained in a atmosphere of high relative humidity, switch to a germinative mode without the requirement for complete desiccation. *Plant Physiology*. 90: 702-707.

Kersting JF, Stickler FC, Pauli AW (1961) Grain sorghum caryopsis development changes in dry weight, moisture percentage and viability. *Agronomy Journal*. 53: 36-38.

Krzyzanowski FC, Vieira RD, França Neto JB (1999) *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Abrates. Londrina, Brasil. 219 pp.

Liu M, Xuan WYW, Han JG, Mao PS (2009) The content and distribution of condensed tannins in different species of the genus sorghum (*Sorghum moench*) and their effect on seed protein electrophoresis. *Journal Science Food Agriculture*. 89: 1446-1452.

Magalhães PC, Durães FOM (2003) *Tanino no grão de sorgo*. Embrapa. Brasília, Brasil.

Marcos Filho J (2005) *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Fealq. Piracicaba, Brasil. 495 pp.

Mcdonald MB (1999) Seed deterioration: physiology, repair and assessments. *Seed Science and Technology*. 27: 177-237.

Moreland DE, Novitzky WP (1988) Interference by flavones and flavonols with chloroplast mediated electron transport and phosphorylation. *Phytochemistry*. 27: 3359-3366.

Mowlah G, Ito S (1982) Quantitative changes in guava polyphenols and the polyphenoloxidase (ppo) at different stages of maturation, ripening and storage. *Journal of the Japanese Society of Food Science and Technology*. 29: 413-417.

Murata M, Tsurutani M, Tomita M, Homma S, Kaneko K (1995) Relationship between apple ripening and browning: changes in polyphenol content and polyphenol oxidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43: 1115-1121.

Musco A, Panuccio MR, Sidari M (2001) The ascorbate system during the early stage of germination in pinus laricio seeds treated with extracts from two different sources of humus. *Seed Science and Technology*. 29: 275-279.

Oishi MY, Bewley JD (1990) Distinction between the responses of developing maize kernels to fluridone and desiccation in relation to germinability,  $\alpha$ -amylase activity, and abscisic acid content. *Plant Physiology*. 94: 592-598.

Paiva SR, Heringer AP, Figueiredo MR, Kaplan MAC (2002) Taninos condensados de espécies plumbaginaceae. *Floresta e Ambiente*. 9: 153-157.

Queiroz GM (1979) *Germinação, vigor e capacidade de armazenamento de semente de sorgo granífero, Sorghum bicolor (L.) Moench*. 64 pp. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Brasil.

Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez VVH (1999) *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação*. UFV. Viçosa, Brasil. 359 pp.

Sales IC (1978) *Maturação de sementes de sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench)*. 94 pp. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, Brasil.

Scandalios JG (1974) Isozymes in development and differentiation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 25: 225-258.

Taiz L, Zeigler E (2004) *Fisiologia vegetal*. Artmed. Porto Alegre, Brasil.

Tillmann MA, Peters JA, Mello VDC, Silva JB (1985) Maturação e qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino provenientes de diferentes localizações na panícula. *Revista Brasileira de Sementes*. 7: 101-112.

Vanderlip RL, Reeves HE (1972) Growth stages of sorghum (*sorghum bicolor*, L. Moench.). *Agronomy Journal*. 64: 13-16.

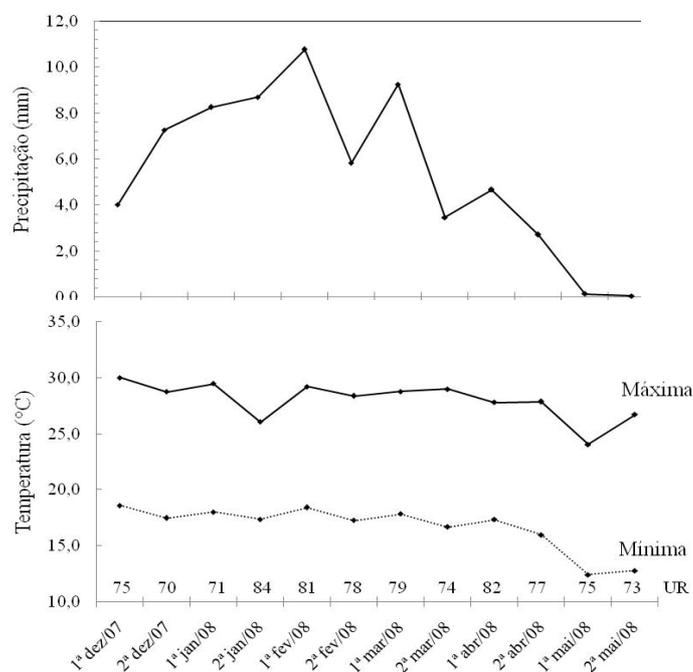


FIGURA 1. Variação quinzenal da temperatura média do ar, pluviometria e umidade relativa, de dezembro de 2007 a maio de 2008. Fonte: Estação limatológica Principal de Lavras – MG.

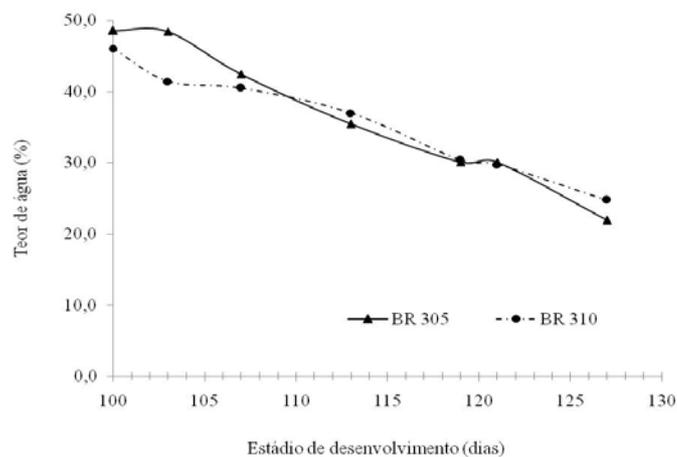


FIGURA 2. Teores de água de sementes de sorgo das cultivares BR 305 e BR 310, colhidas aos 100, 103, 107, 113, 119, 121 e 127 dias após sementeira.

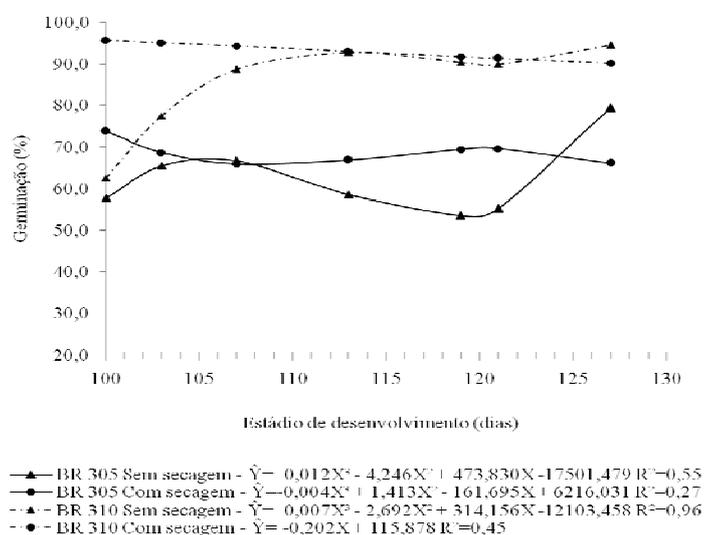


FIGURA 3. Porcentagem de germinação de sementes de sorgo das cultivares BR 305 e BR 310, colhidas aos 100, 103, 107, 113, 119, 121 e 127 dias após semeadura e submetidas ou não à secagem.

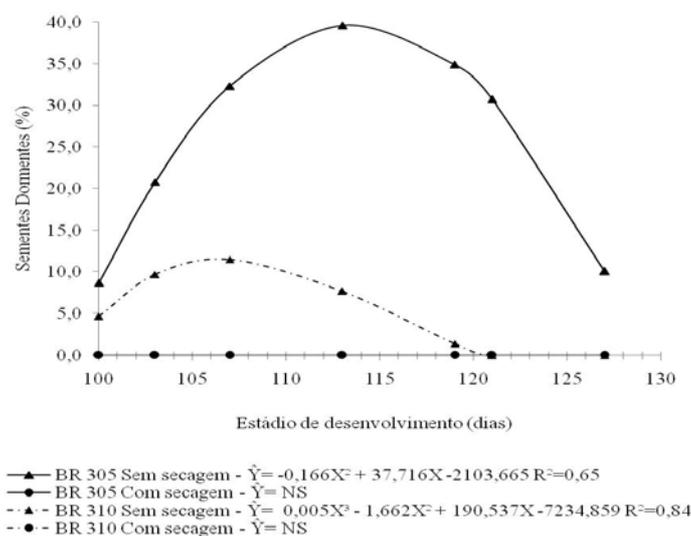


FIGURA 4. Porcentagem de sementes dormentes de sorgo das cultivares BR 305 e BR 310, colhidas aos 100, 103, 107, 113, 119, 121 e 127 dias após semeadura e submetidas ou não à secagem.

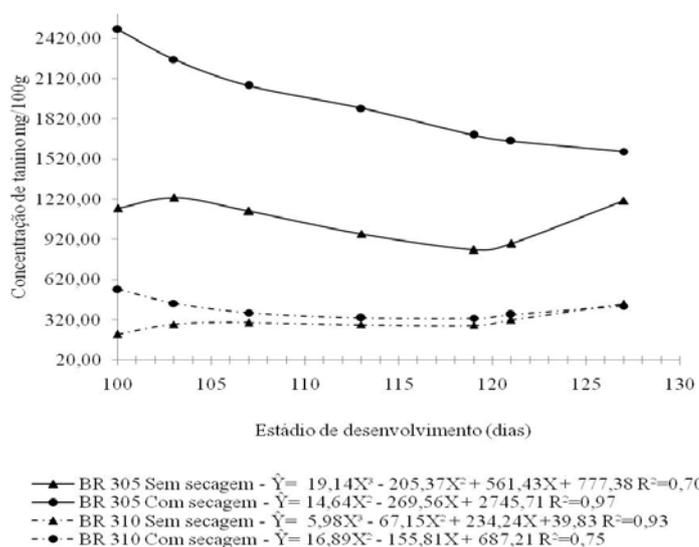


FIGURA 5. Concentração de tanino em sementes de sorgo das cultivares BR 305 e BR 310, colhidas aos 100, 103, 107, 113, 119, 121 e 127 dias após semeadura e submetidas ou não à secagem

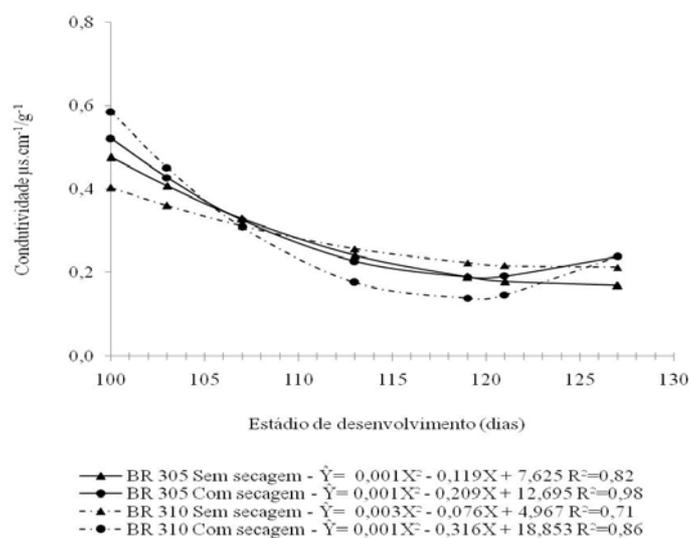


FIGURA 6. Condutividade elétrica de sementes de sorgo das cultivares BR 305 e BR 310, colhidas aos 100, 103, 107, 113, 119, 121 e 127 dias após semeadura e submetidas ou não à secagem

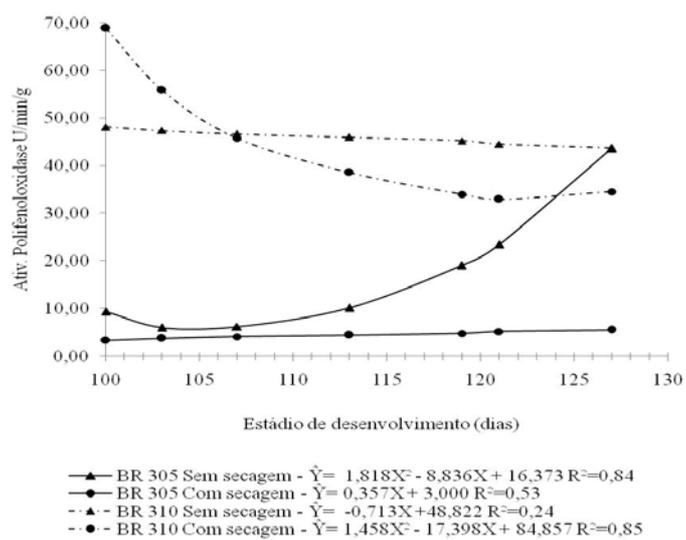


FIGURA 7. Atividade da polifenoloxidase (U/min/g) de sementes de sorgo das cultivares BR 305 e BR 310, colhidas aos 100, 103, 107, 113, 119, 121 e 127 dias após sementeira e submetidas ou não à secagem.

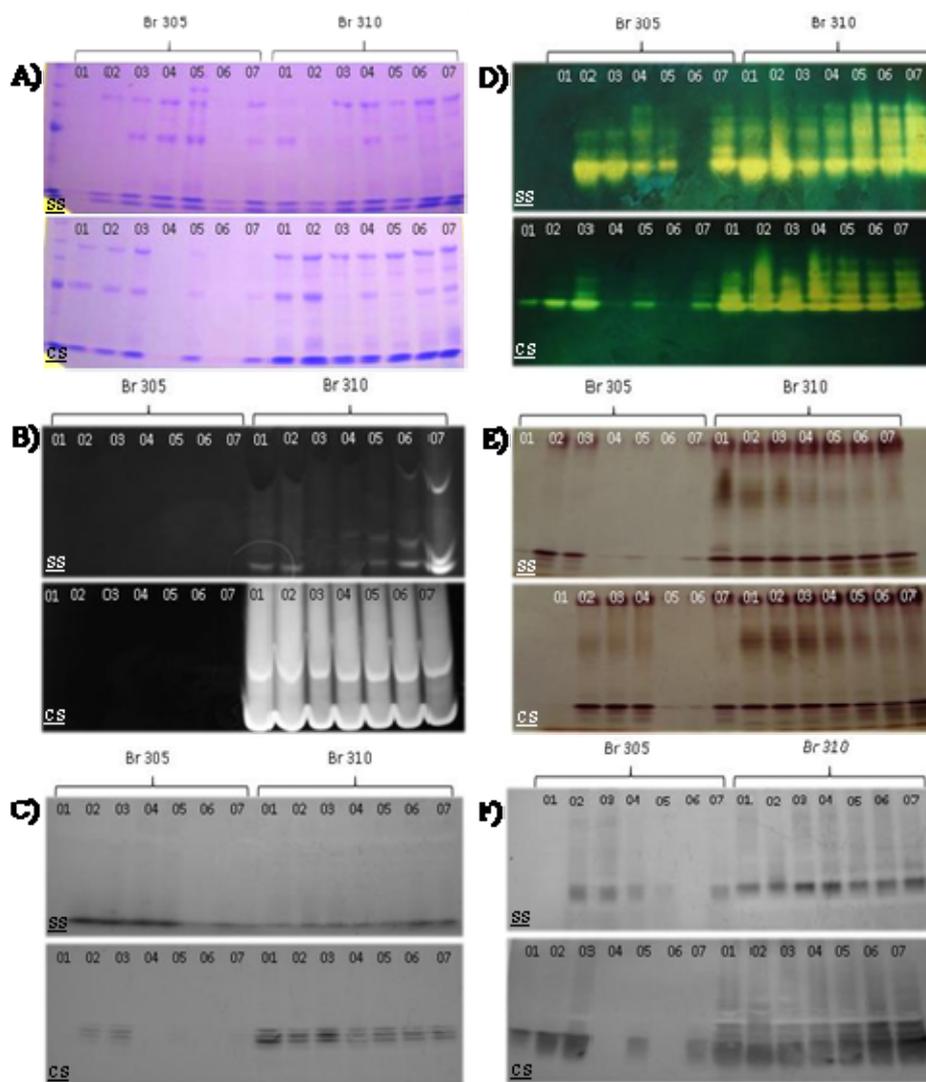


FIGURA 8. Padrões eletroforéticos de proteínas tolerantes ao calor (A) e perfis enzimáticos da  $\alpha$ -amilase (B), álcool desidrogenase (C), catalase (D), esterase (E) e malato desidrogenase (F) de sementes de sorgo das cultivares BR 305 e BR 310, colhidas aos 100(1), 103(2), 107(3), 113(4), 119(5), 121(6) e 127(7) dias após semeadura, sem secagem (SS) e submetidas à secagem (CS).

## **SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE SORGO**

### **ARTIGO 2 - SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE SORGO COM ALTO E BAIXO TEOR DE TANINO**

Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Sementes -  
Versão preliminar

RESUMO - O teor de água em que a semente é colhida, bem como a temperatura utilizada para a secagem, é fundamental para garantir a qualidade fisiológica das sementes, principalmente as de sorgo, que podem apresentar dormência secundária, por secagem em altas temperaturas. Com a realização deste trabalho, objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica das sementes de sorgo, com alto e baixo teor de tanino e armazenadas após secagem, utilizando diferentes temperaturas. Foram utilizadas sementes das cultivares BR 305(2,28 g tanino/100 g) e BR 310 (0,52 g tanino/100 g), colhidas com teor de água 18-20%, secas à sombra e em secadores artificiais, nas temperaturas de 35°C, 45°C e 35°/45°C, até atingirem 12% de teor de água. Após a secagem, essas sementes foram armazenadas em câmara fria e seca, por 0, 3 e 6 meses. Em cada época de armazenamento, as sementes foram avaliadas pelos testes de germinação, tetrazólio, condutividade elétrica, índice de velocidade de emergência, teste de frio, microscopia eletrônica de varredura e perfis enzimáticos. Foi quantificada, ainda, a concentração de

tanino. Foi observado, em sementes com alto tanino, secas à temperatura de 45°C e armazenadas durante 6 meses, 88,5% de germinação. Houve maior porcentagem de dormência em sementes submetidas à secagem a 35°C. Houve aumento na concentração de tanino, aos seis meses de armazenamento, para ambos os lotes.

Termos para indexação: *Sorghum bicolor*, armazenamento, umidade.

## **DRYING AND STORAGE OF HIGH AND LOW TANNIN SORGHUM SEEDS**

ABSTRACT – Water content in which seed is collected as well the temperature used for drying are fundamental to warrant the physiological quality of seeds, chiefly sorghum seeds which may present secondary dormancy by drying at high temperatures. In that work, it was aimed to evaluate the physiological quality of sorghum seeds, both with high and low tannin content and stored after drying by utilizing different temperatures. Seeds of cultivars BR 305(2.28 g tannin/100 g) and BR 310 (0.52 g tannin/100 g), collected with water content of 18-20%, dried in the shade and in artificial dryers with the temperatures of 35 °C, 45 °C and 35/45 °C till they reached 12% of water content. After drying, those seeds were stored in a cold and dry chamber for 0, 3 and 6 months. In each storage time, the seed were evaluated by the tests of germination, tetrazolium, electric conductivity, emergence velocity index, cold test, scanning electron microscopy and enzyme profiles. Tannin concentration was still quantified. 88.5% of germination was found in high tannin seeds, dried at the temperature of 45 °C and stored for 6 months. There was increased percentage of dormancy in seeds submitted to the drying at 35 °C. There was an increase in tannin concentration at six months of storage for both the batches.

Index terms: *Sorghum bicolor*, storage, moisture.

## INTRODUÇÃO

Em sorgo, os compostos fenólicos, a exemplo do tanino, são altamente correlacionados com a germinação das sementes (Queiroz, 1979). Do ponto de vista bioquímico, uma característica importante dos taninos, presentes na testa da semente de sorgo (Magalhães e Durães, 2003), é a capacidade de se ligar às proteínas por meio de pontes de hidrogênio e interação hidrofóbica (Butler, 1989).

Conforme Liu et al. (2009), um dos entraves à utilização de sementes de sorgo é o alto conteúdo de compostos fenólicos, uma vez que as proteínas se ligam fortemente ao tanino, tornando-se inativas. Muitas proteínas, a exemplo das LEAs são de fundamental importância nas sementes ortodoxas, por possuírem importante papel na proteção das estruturas citoplasmáticas das sementes durante a desidratação (Marcos Filho, 2005).

A presença de substâncias fenólicas no tegumento pode inibir a germinação das sementes de sorgo, o que Hartmann et al. (1997) definiram como dormência química. No entanto, não se sabe, realmente, se a dormência é devido à redução desses compostos ou ao armazenamento das sementes em condições de baixas temperaturas (Queiroz, 1979).

Quando as sementes são mantidas armazenadas a baixas temperaturas, mantêm-se níveis aceitáveis de controle da sua qualidade. Mesmo assim, ocorre a perda da viabilidade dessas sementes e, com o envelhecimento, as membranas se tornam fracas e as enzimas perdem a

atividade catalítica. O comprometimento da estrutura celular facilita o contato da enzima polifenoloxidase com compostos fenólicos, armazenados preferencialmente nos vacúolos, tornando inevitável a oxidação de fenóis que, convertidos a quinonas, reagem com proteínas, inclusive a própria polifenoloxidase, explicando sua menor atividade (Amorim e Josephson, 1975).

Para minimizar os danos durante o armazenamento e assegurar lotes de sementes com alto padrão de qualidade, muitos são os cuidados que devem ser tomados em todas as fases de produção, principalmente as relacionadas à secagem. Entretanto, uma secagem incorreta pode causar injúrias no sistema de membrana das sementes, as quais podem reduzir seu potencial de germinação durante o armazenamento.

O efeito da secagem a temperaturas elevadas pode não ser imediato. Somente após algum tempo de armazenamento é que esses efeitos se tornam mensuráveis, afetando, principalmente, a radícula das plântulas (Martins e Carvalho, 1994).

Em sementes de sorgo (*Sorghum vulgare*), a secagem a temperaturas de 46°C a 48°C pode induzir dormência secundária, devido a alterações físicas ocorridas no tegumento da semente, provocadas pela secagem excessiva, de modo a restringir as trocas gasosas durante a embebição (Nutile e Woodstock, 1967).

Estudar o comportamento das sementes durante o armazenamento, bem como as mudanças bioquímicas e a concentração de compostos nas sementes pode trazer informações importantes, que garantam a qualidade das mesmas. Assim, objetivou-se, com a realização desta pesquisa, avaliar

a qualidade das sementes de sorgo com alto e baixo teor de tanino, em função da temperatura de secagem e dos períodos de armazenamento.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

As análises foram conduzidas no Laboratório Central de Sementes, no Laboratório de Microscopia e no Laboratório de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A semeadura foi realizada, em dezembro de 2007, na área experimental do Departamento de Agricultura, onde predomina solo tipo Latossolo Vermelho Escuro. As correções de fertilidade e do pH do solo seguiram as recomendações da 5ª aproximação (Ribeiro et al., 1999). As sementes da cultivar BR 305 (2,28 mg tanino/100 g) e BR 310 (0,52 mg tanino/100 g), contrastantes quanto ao teor de tanino, foram fornecidas pela empresa Biomatrix, de Paracatu, MG.

O solo foi preparado de maneira convencional, seguindo as recomendações para a cultura. Cada tratamento foi constituído de 4 parcelas compostas de 6 linhas de 5 m, totalizando 30 m<sup>2</sup>, com espaçamento de 0,5 m entre linhas e 12 plantas por metro linear. A área útil de cada parcela consta das 4 linhas centrais. Para a adubação de plantio, foram utilizados 400 kg/ha da formulação 8-20-10 e, para a adubação de cobertura, foi utilizado o sulfato de amônio, na dosagem de 350 kg/ha, parcelados em duas aplicações, sendo a primeira aos 30 dias após o plantio e a segunda, aos 45 dias. O controle de invasoras, assim como o controle de pragas e doenças, foi realizado sempre que necessário.

As panículas foram colhidas quando as sementes apresentavam teor de água de 18%-20% e a debulha realizada manualmente. Logo após a colheita, uma parte das sementes foi seca à sombra e outra parte foi seca em protótipos de secadores estacionários, regulados na temperatura constante de 35°C e 45°C. Em outro protótipo, a secagem foi iniciada com 35°C, até as sementes atingirem 15% de grau de umidade e, em seguida, a temperatura foi aumentada para 45°C, até o grau de umidade de 12%. Após a secagem, as sementes foram embaladas em saco de papel multifoliado e armazenadas em câmara fria e seca. As avaliações foram realizadas aos 0, 3 e 6 meses de armazenamento, por meio das determinações descritas a seguir.

A determinação do grau de umidade foi realizada pelo método da estufa, a 105°C, durante 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). No teste de germinação, o substrato para semeadura foi o papel do tipo “Germitest”, umedecido com água destilada em quantidade de 2,5 vezes o peso seco do papel. As sementes foram colocadas em germinador regulado à temperatura de 25°C e a avaliação realizada aos 4 e 10 dias após a semeadura. Foram consideradas como plântulas normais aquelas que possuíam, no mínimo, duas raízes seminais e raiz principal maior que 5 cm. As sementes remanescentes de cada tratamento do teste de germinação foram submetidas ao teste de tetrazólio, tendo sido cortadas longitudinalmente, com uso de um bisturi. A metade de cada semente foi colocada em recipiente de plástico escuro, imersa em solução de sal de tetrazólio a 0,5%, durante 2 horas, em temperatura constante de 30°C. Após a coloração, as partes da semente

foram avaliadas com o auxílio do microscópio estereoscópico, para a determinação da viabilidade.

Para o teste de emergência de plântulas, a semeadura foi realizada em bandeja plástica contendo, como substrato, a mistura de areia e terra, na proporção de 2:1, umedecido até 70% da capacidade de retenção. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em câmara de crescimento vegetal, previamente regulada para a temperatura de 25°C, em regime alternado de luz e escuro (12 horas). As plântulas foram avaliadas diariamente, após o primeiro dia de emergência e calculado o índice de velocidade de emergência segundo fórmula proposta por Maguire (1962). Aos 10 dias após a semeadura, computou-se o número de plântulas normais.

No teste de frio, a semeadura foi realizada em bandeja plástica contendo, como substrato, a mistura de areia e terra, na proporção de 2:1, umedecido até 70% da capacidade de retenção. Após a semeadura, as bandejas foram inicialmente mantidas em câmara fria e seca, a 10°C/50% de UR, por 7 dias. Após esse período, as mesmas foram colocadas em câmara de crescimento, à temperatura de 25°C por sete dias, quando foi realizada a contagem das plântulas.

Para o teste de condutividade elétrica de massa, as sementes foram pesadas e colocadas em copos plásticos contendo 75 ml de água deionizada. Após 24 horas de embebição a 25°C, foi realizada a leitura com auxílio de um condutivímetro de massa e os resultados expressos em  $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ , de acordo com metodologia descrita por Krzyzanowski et al. (1999).

Em cada época de avaliação foram retiradas duas amostras de 100 sementes e armazenadas à temperatura de  $-86^{\circ}\text{C}$  em *deep freezer*. Para a extração da enzima esterase, foi utilizado o tampão Tris HCl 0,2 M pH 8,0 + (0,1% de  $\beta$  mercaptoetanol), na proporção de 250  $\mu\text{L}$  por 100 mg de amostra. O material foi homogeneizado em vórtex e mantido, *overnight*, em geladeira, seguido de centrifugação, a 16.000 xg, por 30 minutos, a  $4^{\circ}\text{C}$ . A corrida eletroforética foi realizada em sistema de géis de poliacrilamida, a 7,5% (gel separador) e 4,5% (gel concentrador). O sistema gel/eletrodo utilizado foi o Tris-glicina pH 8,9. Foram aplicados 50  $\mu\text{L}$  do sobrenadante da amostra e a corrida efetuada, a 120 V, por 6 horas. A revelação da enzima foi realizada de acordo com Alfenas et al. (1991). Para análise eletroforética de proteínas resistentes ao calor (tipo LEA) e a determinação da atividade da polifenoloxidase, as sementes foram embebidas em papel tipo germitest, a  $25^{\circ}\text{C}$ , por período de 5 horas. Para a extração das proteínas, as sementes foram maceradas na presença de solução tampão (50 mM tris-HCl 7,5; 500 mM NaCl; 5 mM  $\text{MgCl}_2$ ; 1 mM PMSF), na proporção de 1:10 (peso material: volume tampão de extração) e transferidos para microtubos. O material foi homogeneizado em vórtex e centrifugado, a 16.000 xg, por 30 minutos, a  $4^{\circ}\text{C}$ . O sobrenadante foi deixado em banho-maria, a  $85^{\circ}\text{C}$ , por 15 minutos e novamente centrifugado. Posteriormente, 70  $\mu\text{L}$  do sobrenadante foram misturados a 40  $\mu\text{L}$  de solução tampão da amostra (2,5 ml de glicerol; 0,46 g de SDS; 20 mg de azul de Bromofenol) e deixados em banho-maria com água em ebulição por cinco minutos. Foram aplicados 50  $\mu\text{L}$  no gel de poliacrilamida SDS-PAGE a 12,5% (gel separador) e 6% (gel concentrador). A corrida eletroforética foi realizada a 120 V por 6 horas,

o gel corado em Coomassie Blue a 0,05% (Alfenas et al., 1991), durante 12 horas e descorado em solução de ácido acético 10%. A determinação da atividade da enzima polifenoloxidase foi realizada de acordo com o método descrito por Draetta e Lima (1976), em que as amostras foram previamente moídas, em moinho refrigerado a 4°C, adicionando-se nitrogênio líquido. A cada 5 g de amostra de sementes foram adicionados 40 mL da solução tampão de fosfato de potássio 0,1 M pH 6,0 e homogeneizado em vórtex, por 5 minutos. Em seguida, as amostras foram filtradas em papel de filtro Whatman nº 1, a vácuo. Na determinação dessa enzima, foi utilizado extrato da amostra sem o DOPA (L-3,4-dihydroxyphenylalanina) como branco. Foi realizada a curva padrão. A leitura da enzima polifenoloxidase foi realizada em espectrofotômetro Schumaz e os resultados expressos em U/min/g.

Para a quantificação de tanino, as sementes foram trituradas e 5 g foram colocados em tubos de ensaio, acrescentando-se 30 ml de metanol 80%. Essa mistura foi fervida por um período de 20 minutos em refluxo na chapa elétrica para tubo a 150°C. A quantificação foi realizada pelo método químico-colorimétrico de Folin-Dennis e as leituras realizadas em espectrofotômetro, a 760 nm.

As sementes de cada tratamento foram imersas em solução fixativa (Karnovisk's modificada), pH 7,2, por 24 horas. Em seguida, foram lavadas em tampão cacodilato, por três vezes. A pós-fixação foi feita em tetróxido de ósmio 1%, por uma hora. Após esse período, foram realizadas lavagens com água destilada por três vezes e desidratação em gradiente de acetona a 25%, 50%, 75%, 90% e 100%, durante 10 minutos. As amostras foram levadas para o aparelho de ponto crítico, em que foi

eliminado todo o resíduo de acetona para posterior montagem em stubs sob fita de carbono e revestimento com ouro. Em cada stub foram colocadas seis repetições de cada amostra. A visualização das amostras foi feita em microscópio eletrônico de varredura LEO Evo 40.

O delineamento experimental e a análise estatística foram realizados em esquema fatorial (2x4x3), sendo dois lotes BR 305 (2,28 mg tanino/100 g) e BR 310 (0,52 mg tanino/100 g), 4 temperaturas de secagem (à sombra e a 35°C, 45°C e 35°-45°C) e três épocas de armazenamento em câmara fria e seca (0, 3 e 6 meses). O teste de média utilizado foi o Scott-Knott a 5% e análises de regressão foram realizadas para as variáveis quantitativas e transformação dos dados  $\sqrt{x+0,5}$ , para a variável dormência. Nas análises, foram utilizadas 4 repetições de 50 sementes em cada teste, com exceção da análise enzimática da polifenoloxidase, para a qual utilizaram-se 2 repetições.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Tabela 1 estão apresentados os dados relativos aos valores de germinação e de condutividade elétrica, sendo possível notar a interação tripla entre os fatores avaliados. Não foram verificadas diferenças significativas entre os valores de germinação obtidos em sementes do lote BR 305 submetidas às diferentes temperaturas de secagem. Durante o período de armazenamento, a maior porcentagem de germinação ocorreu aos seis meses, para as sementes da cultivar BR 305 secas a 45°C. Nas demais temperaturas de secagem, não houve diferenças significativas.

Em relação ao lote BR 310, houve aumento na porcentagem de germinação a partir dos 3 meses de armazenamento para as sementes submetidas à secagem natural, a 45°C e a 35°/45°C. Para as sementes secas naturalmente, houve redução no valor de germinação aos seis meses de armazenamento.

Pelos resultados de condutividade elétrica (Tabela 1), antes do armazenamento, a secagem natural das sementes da cultivar BR 305 foi mais prejudicial às membranas celulares, enquanto para o lote BR 310, na mesma época, a temperatura de 45°C propiciou um aumento da condutividade elétrica. Notam-se, nas sementes armazenadas após secagem sob alta temperatura, maiores valores de condutividade elétrica. Aos seis meses, para sementes do lote BR 305, secas naturalmente, observa-se redução nesses valores. Chen e Burris (1991) observaram que sementes de milho, quando pré-condicionadas à baixa temperatura, mantiveram preservados seus sistemas de membranas.

Há relatos de que a deterioração da semente à temperatura de 10°C parece não estar diretamente relacionada à perda da integridade das membranas, sugerindo tal fato ao seu reparo ou reorganização durante o armazenamento a baixas temperaturas (Fessel et al., 2006; Panobianco et al., 2007).

O aumento da porcentagem de germinação após armazenamento (Tabela 1), observado nas sementes secas sob temperaturas de 45°C e 35°/45°C, pode ser explicado pela possível quebra de dormência proporcionada pela exposição das sementes a baixas temperaturas (10°C), durante o armazenamento.

Para a variável dormência, foi verificada interação dupla entre os fatores lote e época de armazenamento, lote e temperatura de secagem, época de armazenamento e temperatura de secagem. Na Tabela 2 observa-se a porcentagem de sementes dormentes avaliadas pelo teste de tetrazólio. De maneira geral, observa-se redução da dormência das sementes ao longo do armazenamento, para todas as temperaturas testadas. Para Chen e Burris (1991), altas temperaturas de secagem reduzem a germinação e o vigor das sementes, podendo alterar suas características físicas e químicas. A suscetibilidade das sementes aos danos por secagem é função das condições de secagem, do conteúdo de água e da qualidade inicial das sementes aliada aos aspectos genéticos.

Com relação às cultivares, houve redução na porcentagem de sementes dormentes ao longo do armazenamento para a cultivar BR 305, independente da temperatura de secagem e a porcentagem de sementes dormentes foi maior na cultivar BR 305, em todas as épocas de armazenamento. Queiroz (1979) observou que o teor de tanino foi altamente correlacionado com a germinação das sementes e que, de modo geral, a dormência não perdura por mais de três meses. As sementes de sorgo tendem a perder a dormência com o armazenamento. Não se sabe, portanto, se é devido a uma estratificação a baixas temperaturas ou à redução de compostos fenólicos no tegumento.

Independente da época de armazenamento (Tabela 3), verifica-se que a porcentagem de sementes dormentes foi maior quando secas sob temperatura de secagem de 35°C, para o lote com maior teor de tanino (BR 305). Não foram identificadas diferenças entre os tratamentos de

secagem natural, 45°C e alternada. Para o lote com menor teor de tanino (BR 310), não houve diferença entre os tratamentos de secagem.

Pelos resultados, observou-se que a temperatura de secagem de 35°C favoreceu maiores valores de sementes dormentes. A temperatura de secagem (45°C) não influenciou a porcentagem de sementes dormentes.

Na Tabela 4 está descrita a concentração de tanino determinado nas sementes de sorgo. Pela análise de variância dos dados, observa-se interação tripla para os fatores estudados. O teor de tanino aumentou com o armazenamento e esse aumento pode ser devido à polimerização de monômeros de flavan-3-ol, que formam essas moléculas. Essa polimerização é favorecida pela secagem das sementes (Butler, 1989). Iaderoza et al. (1989) verificaram redução no conteúdo de tanino condensado durante o armazenamento das cultivares de feijão.

O aumento na concentração de tanino não apresentou a mesma tendência da porcentagem de sementes dormentes, embora seja sugerida uma relação entre este componente e dormência nas sementes. Essa divergência pode ser devido ao método utilizado para a quantificação do tanino, uma vez que essa metodologia não diferencia taninos condensados de outros compostos fenólicos (Magalhães e Durães, 2003). No entanto, esses autores ressaltam que o sorgo não tem mostrado, na sua constituição química, grande quantidades de outros compostos fenólicos além do tanino.

Almeida (1988) sugere a cumarina como um possível inibidor de germinação, a qual tem a capacidade de induzir a dormência de sementes

sensíveis à luz, principalmente pela inibição da ação de giberelina verificada em plantas de ervilha.

De acordo com a análise de variância, não houve efeito significativo da interação entre os fatores investigados para as variáveis teste de frio e emergência. Considerando-se os efeitos isolados, foram observados efeitos significativos de temperatura de secagem para teste de frio e índice de velocidade de emergência e de época de armazenamento para teste de frio, índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência.

Em relação aos métodos de secagem a que as sementes foram submetidas, verificou-se que não houve diferenças significativas entre as médias de germinação após teste de frio (Tabela 5), para as temperaturas de 35°C, 45°C e 35°/45°C, tendo a secagem natural à sombra proporcionado o pior desempenho das sementes de sorgo. Já para o índice de velocidade de emergência, a menor média foi verificada para o tratamento de secagem a 35°C.

Durante o período de armazenamento (Tabela 6), pode-se observar o maior vigor das sementes aos seis meses, tanto pelo teste de frio como pelo índice de velocidade de emergência. Esse resultado não concorda com o observado por Marcos Filho et al. (1987) e Silva et al. (2001) de que houve redução nos valores, com o decorrer do armazenamento. Segundo Burris e Navratil (1980), o dano por secagem pode aumentar a suscetibilidade a injúria ao frio em sementes de milho.

O aumento nos valores de germinação aos seis meses, avaliado pelo teste de frio, pode ser em decorrência da redução da porcentagem de

sementes dormentes, que ocorreu para ambos os lotes. O mesmo comportamento é verificado pelo índice de velocidade de emergência.

Esse fato pode ser confirmado pelos padrões eletroforéticos da enzima esterase (Figura 1A), os quais reforçam os resultados obtidos no teste de condutividade elétrica. Para a cultivar BR 305, observou-se menor atividade da enzima esterase. No entanto, à temperatura de 45°C, aos três meses de armazenamento, não foi verificada, nas sementes, nenhuma atividade dessa enzima. Isso pode ser atribuído à degradação das membranas celulares, o que pode ser verificado pelos resultados de condutividade elétrica (Tabela 1). Conforme Lin (1990), a redução do vigor de sementes envelhecidas poderia ser causada pela perda do controle sobre a compartimentalização intracelular e alterações nas concentrações de metabólitos, resultado da perda de lipídios da membrana.

As alterações nos padrões desta enzima (Figura 1A) evidenciam a ocorrência de eventos deteriorativos. A esterase é uma enzima envolvida em reações de hidrólise de ésteres, estando diretamente ligada ao metabolismo dos lipídios, como os fosfolipídios totais de membrana (Santos et al., 2005).

De maneira geral, houve menor intensidade de bandas na cultivar BR 305 com alto conteúdo de tanino, para a proteína resistente ao calor (Figura 1B). Conforme Liu et al. (2009), um dos entraves à utilização do sorgo é o alto conteúdo de compostos fenólicos nas sementes, uma vez que as proteínas se ligam fortemente ao tanino e essa interação pode influenciar na análise eletroforética. A interação tanino proteína pode ter

sido responsável pela ausência de bandas nas variedades com alto conteúdo de tanino.

Por outro lado, as proteínas resistentes ao calor são ricas em glicina e outros aminoácidos hidrofílicos e apresentam poucos resíduos hidrofóbicos. Para Magalhães et al. (2000), as principais características das proteínas que influenciam na complexação com tanino são alto peso molecular, estrutura mais aberta e flexível, ponto isoelétrico e conteúdo de prolina, sendo esta última a mais importante, uma vez que a prolina tem característica hidrofóbica.

Para as sementes com baixo tanino, não foram detectadas diferenças nos padrões de banda durante o armazenamento e entre as temperaturas de secagem. No entanto, para as sementes com alto teor de tanino, aos três meses, foi observada ausência de bandas em sementes submetidas às temperaturas de 45°C, 35°/45°C e secagem natural. Já aos seis meses, essa ausência foi observada em sementes secas a 35°C e ao natural.

Em relação às sementes da cultivar BR 310, não foram observadas diferenças entre os padrões eletroforéticos da esterase e proteína resistente ao calor. Estudos têm demonstrado que percentuais abaixo de 0,70%, na semente de sorgo, são devido a outros fenóis e não ao tanino condensado (Ávila, 2007), sendo, portanto, essa cultivar considerada com ausência de tanino (Magalhães et al., 2000). E, sem a presença de tanino, pode não ter ocorrido complexação suficiente para inativar essas proteínas mantendo a sua atividade.

A atividade da enzima polifenoloxidase está representada na Figura 2. Para o lote BR 310, não houve variação na atividade da enzima

polifenoloxidase com o armazenamento, exceto para a secagem natural antes do armazenamento. Já para a BR 305 com alto teor de tanino, a maior atividade foi verificada na secagem natural para as sementes sem armazenamento e naquelas secas com 35°C e 35°/45°C, aos seis meses de armazenamento.

A semente ou cariopse de sorgo é constituída por três componentes: pericarpo, endosperma e embrião. O pericarpo origina-se da parede do ovário e está dividido em três tecidos histológicos: epicarpo, mesocarpo e endocarpo. Em sorgo, ao contrário de outras gramíneas, o mesocarpo contém grânulos de amido (Waniska, 2000). Durante o processo de secagem podem ocorrer danos, sendo a redução do volume celular o mais importante dano em tecidos hidratados (Pammenter e Berjak, 1999), uma vez que o transporte de solutos nas células vegetais se dá por meio de interconexões por plasmodesmas (Taiz e Zeigener, 2004). Essas alterações podem causar prejuízos no vigor e na germinação das sementes. No entanto, na Figura 3 observam-se modificações na estrutura das células da testa e do endocarpo de sementes da cultivar BR 305. Na secagem a 35°/45°C, ocorreram deformações nas células da testa em relação à secagem natural e sob temperatura de 45°C, sendo observada maior espessura do endocarpo na secagem natural, com menores prejuízos à germinação, no início do armazenamento.

Já com relação às sementes da cultivar BR 310, observa-se, na Figura 4, que a testa das sementes secas sob temperatura de 35°/45°C está mais espessa, quando comparadas àquelas secas a temperaturas de 35°C ou de 45°C. Verifica-se que a menor espessura ocorreu na temperatura de 35°C do que de 45°C. Comparando-se com os valores de condutividade

elétrica, a maior lixiviação foi verificada quando as sementes foram submetidas à secagem de 45°C.

Pelas imagens da Figura 5, referentes às sementes da cultivar BR 305 com 3 meses de armazenamento, observa-se que as células estão mais tabulares e menores em comparação àquelas secas naturalmente. Pelos resultados fisiológicos dessas sementes não foram observadas diferenças nos valores de germinação. No entanto, foram observados maiores valores de condutividade quando as sementes foram submetidas à secagem de 45°C e 35°/45°C (Tabela 1).

Foi também observada menor espessura da testa (Figura 6) nas sementes do lote BR 310 submetidas à temperatura de 35°C e de 35°/45°C em relação à temperatura de 45°C e natural. O menor valor de germinação foi observado na temperatura de 35°C. Entretanto, isso não ocorreu em sementes submetidas à temperatura de secagem de 35°/45°C (Tabela 1).

Observa-se, pela Figura 7, que as células da testa de sementes que foram secas à temperatura de 35°/45°C estão mais tabulares e menos espessas. O contrário foi verificado na secagem natural e a 35°C. Não há uma distinção de camadas nas sementes submetidas à temperatura de 45°C.

Nas sementes secas a 35°/45°C (Figura 8), as células da testa estão mais tabulares em relação às demais. Observa-se, ainda, uniformidade nas células da testa das sementes que foram secas a 45°C, mostrando que não houve danos, o que pode ser comprovado pelos testes fisiológicos.

## CONCLUSÕES

Durante o armazenamento em câmara fria ocorre a superação da dormência.

O teor de tanino aumenta com o armazenamento e não há uma relação direta com a dormência em sementes de sorgo.

Maior valor de germinação ocorre com sementes secas sob temperatura de 45°C, da cultivar BR 305.

## REFERÊNCIAS

ALFENAS, A.C.; PETERS, I.; BRUNE, W.; PASSADOR, G.C. Eletroforese de proteínas e isoenzimas de fungos e essências florestais. Viçosa, MG: UFV, 1991. 242p.

ALMEIDA, F.S. A alelopatia e as plantas. Londrina: IAPAR, 1988.

AMORIM, H.V.; JOSEPHSON, R.V. Water soluble protein and non protein components of Brazilian Green coffes beans. *Journal of Food Science*, v.40, p.1179-1185, 1975.

ÁVILA, R.P. Sorgo em rações com diferentes níveis de proteína para poedeiras comerciais. 2007. 55f. Tese (Doutorado em Produção Animal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília, 2009. 395p.

BURRIS, J.S.; NAVRATIL, R.J. Drying high moisture seed corn. In: ANNUAL CORN SORGHUM RESEARCH CONGRESS, XXXV, 1980, Dordrecht. Proceedings... Dordrecht, 1980, p.116-132.

BUTLER, L.G. New perspective on the antinutritional effects of tannins. In: KINSELLA, J.E.; SOUCIE, B. (Ed.). Foods products. Champaign: American oil Chemistry Society, 1989. p.402-409.

CHEN, Y.; BURRIS, J.S. Desiccation tolerance in maturing maize seed: membrane phospholipids composition and thermal properties. *Crop Science*, v.30, n.3, p.766-770, 1991.

DRAETTA, I.S.; LIMA, D.C. Isolamento e caracterização das polifenoloxidasas do café. *Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas*, v.7, p.13-28, 1976.

FESSEL, S.A.; VIEIRA, R.D.; CRUZ, M.C.P.; PAULA, R.C.; PANOBIANCO, M. Electrical conductivity testing of corn seeds as influenced by temperature and period of storage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.10, p.1551-1559, out. 2006.

HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVIES JUNIOR, F.T.; GENEVE, R.L. *Plant propagation: principles and practices*. 6.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997. 770p.

IADEROZA, M.; SALES, A.M.; BALDINI, V.L.S.; SARTORI, M.R.; FERREIRA, V.L.P. Atividade de polifenoloxidase e alterações da cor e dos teores de taninos condensados em novas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante o armazenamento. *Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos*, v.19, n.2, p.154-164, 1989.

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 1999. 219p.

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*, v.2, n.2, p.1-6, 1990.

LIU, M.X.; WANG, Y.W.; HAN, J.G.; MAO, P.S. The content and distribution of condensed tannins in different species of the genus sorghum (*Sorghum Moench*) and their effect on seed protein electrophoresis. *Journal Science Food Agriculture*, v.89, n.1, p.1446-1452, 2009.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. Tanino no grão de sorgo. Sete Lagoas: EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo, 2003. 2p. (Comunicado técnico, 88).

MAGALHÃES, P.C.; RODRIGUES, W.A.; DURÃES, F.O.M. Tanino no grão de sorgo: bases fisiológicas e métodos de determinação. Sete Lagoas: EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo, 2000. 13p. (Circular técnica, 27).

MAGUIRRE, J.D. Speed of germination: aid seedling emergence and vigor. *Crop Science*, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.

MARCOS FILHO, J.; CÍCERO, S.M.; SILVA, W.R. Avaliação da qualidade de sementes. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230p.

MARTINS, C.C.; CARALHO, N.M. Fontes de deterioração na produção de sementes de soja e respectivas anormalidades nas plântulas. *Revista Brasileira de Sementes*, v.16, n.2, p.168-182, 1994.

NUTILE, G.E.; WOODSTOCK, L.W. The influence of dormancy-inducing desiccation treatments on the respiration and germination of sorghum. *Physiologia Plantarum*, v.20, p.554-561, 1967.

PAMMENTER, N.W.; BERJAK, P. A review of recalcitrant seed physiology in relation to desiccation-tolerance mechanisms. *Seed Science Research*, v.9, p.13-37, 1999.

PANOBIANCO, M.; VIEIRA, R.D.; PERECIN, D. Electrical conductivity as an indicator of pea seed aging of stored at different temperatures. *Scientia Agricola*, v.64, p.119-124, 2007.

QUEIROZ, G.M. Germinação, vigor e capacidade de armazenamento de semente de sorgo granífero, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. 1979. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1979.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: UFV, 1999. 359p.

SANTOS, C.M.R.; MENEZES, N.L.; VILLELA, F.A. Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*, v.27, n.1, p.104-114, 2005.

SILVA, J.N.; CARVALHO, J.A.; DIAS, D.C.F.; REIS, F.P. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo coletadas em diferentes pontos de um secador. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v.5, n.3, p.487-491, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGNER, E. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

WANISKA, R.D. Structure, phenolic compounds and antifungal proteins of sorghum caryopsis. In: \_\_\_\_\_. Technical and institutional options for sorghum grain mold management. Patancheru: ICRISAT, 2000. p.72-106.

**Tabela 1.** Resultados médios (%) de plântulas normais avaliadas pelo teste de germinação e valores de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ), em sementes de sorgo após secagem em diferentes temperaturas e armazenadas em câmara fria e seca.

	Época (meses)	Lote BR 305				Lote BR 310			
		Temperatura de secagem ( $^{\circ}\text{C}$ )							
		Natural	35	45	35/45	Natural	35	45	35/45
Germinação	0	76 Aa	74 Aa	73 Ba	80 Aa	74 Ba	76 Aa	74 Ba	70 Ba
	3	85 Aa	81 Aa	80 Ba	86 Aa	83 Aa	76 Ab	87 Aa	92 Aa
	6	81 Aa	82 Aa	89 Aa	81 Aa	72 Bb	75 Ab	83 Aa	86 Aa
Conductividade elétrica	0	0,4 Bb	0,2 Aa	0,3 Aa	0,2 Aa	0,2 Aa	0,2 Aa	0,4 Ab	0,2 Aa
	3	0,4 Ba	0,3 Aa	0,4 Bb	0,4 Bb	0,4 Bb	0,3 Aa	0,6 Bc	0,5 Cc
	6	0,3 Aa	0,3 Aa	0,3 Aa	0,4 Bb	0,4 Ba	0,5 Ba	0,4 Aa	0,4 Ba

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, para cada lote, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

**Tabela 2.** Resultados médios (%) de sementes dormentes avaliadas pelo teste de tetrazólio em sementes de sorgo após secagem e armazenadas em câmara fria e seca.

Época de armazenamento (meses)	Temperatura de secagem (°C)			
	Natural	35	45	35/45
0	1,3 Ab	5,0 Aa	3,0 Aa	1,5 Ab
3	0,8 Aa	1,5 Ba	1,0 Ba	0,8 Aa
6	0,0 Aa	1,3 Ba	0,0 Ba	0,8 Aa

	Lote	
	Br 305	Br 310
0	5,1Aa	0,3 Ab
3	1,6 Ba	0,4 Ab
6	1,0 Ba	0,0 Ab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

**Tabela 3.** Resultados médios (%) de sementes dormentes avaliadas pelo teste de tetrazólio em sementes de sorgo da cultivar BR 305 e BR 310 após secagem e armazenadas em câmara fria e seca.

Temperatura de secagem (°C)	Lote	
	Br 305	Br 310
Natural	1,0 Ba	0,3 Aa
35	5,0 Aa	0,2 Ab
45	2,7 Ba	0,0 Ab
35/45	1,7 Ba	0,3 Ab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

**Tabela 4.** Resultados médios (mg/100g) de tanino em sementes de sorgo após secagem e armazenadas em câmara fria e seca.

Armaz. (meses)	Lote BR 305				Lote BR 310			
	Temperatura de secagem (°C)							
	Natural	35	45	35/45	Natural	35	45	35/45
0	1628Ba	1644Ba	1425Cc	1555Cb	477Ba	361Bb	356Bb	495Ba
3	1501Cc	1376Cd	1651Bb	1785Ba	295Ca	321Ba	261Ca	313Ca
6	2307Aa	2206Ab	2195Ab	2236Ab	781Aa	818Aa	803Aa	783Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, para cada lote, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

**Tabela 5.** Resultados médios de vigor avaliadas pelo teste de frio e índice de velocidade de emergência (IVE) após secagem.

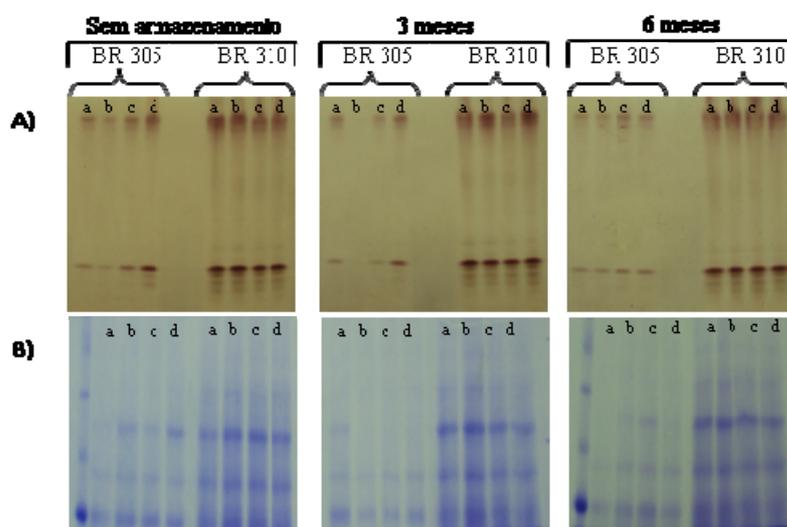
Temperatura de secagem (°C)	Teste de frio (%)	IVE
Natural	67 B	28,9 A
35	72 A	24,2 B
45	74 A	26,7 A
35/45	73 A	27,7 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna para cada teste, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

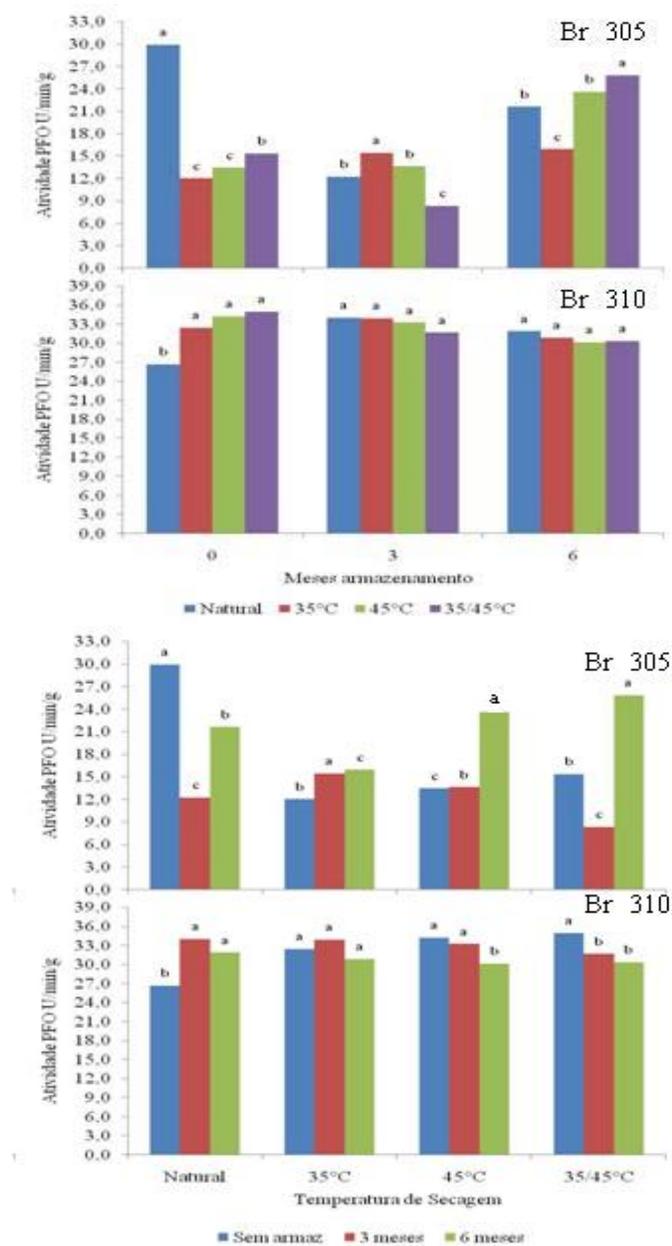
**Tabela 6.** Resultados médios de vigor avaliadas pelo teste de emergência, teste de frio e índice de velocidade de emergência (IVE), durante armazenamento em câmara fria e seca.

Época de armazenamento (meses)	Avaliações		
	Teste de frio (%)	IVE	Emergência (%)
0	71 B	19,7 C	75,0 B
3	69 B	29,4 B	83,5 A
6	75 A	31,6 A	80,0 A

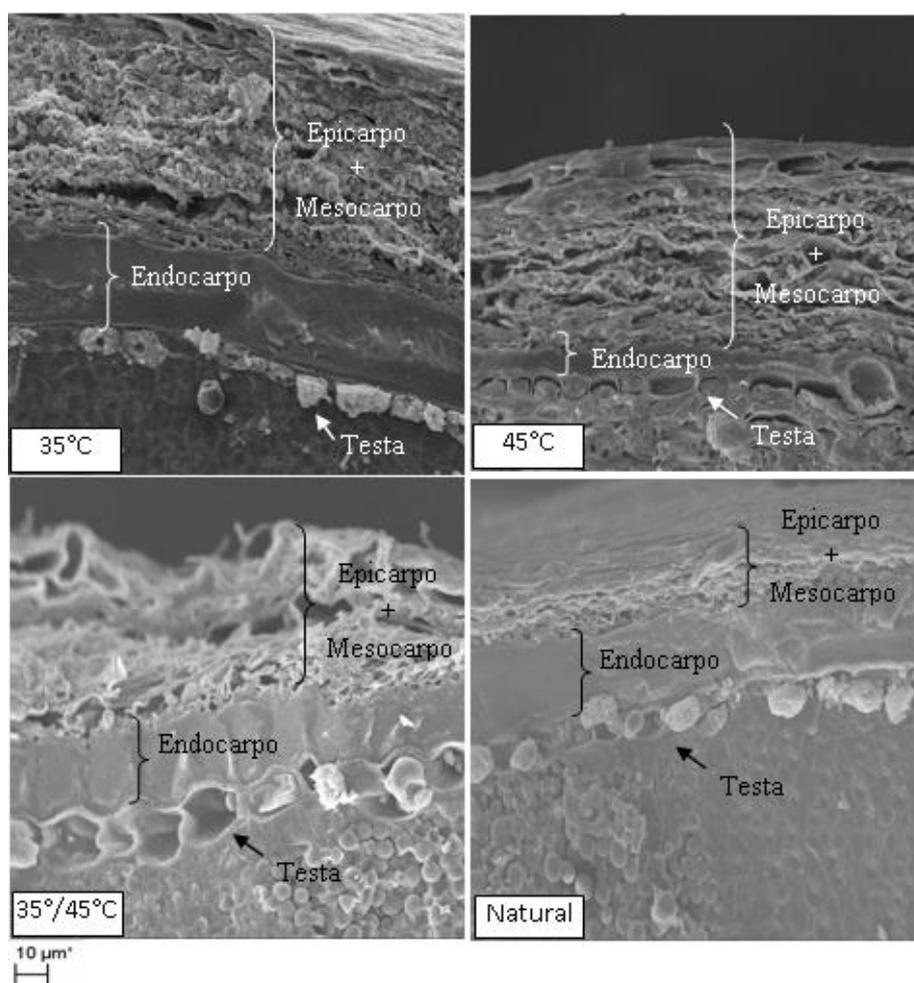
Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna para cada teste, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.



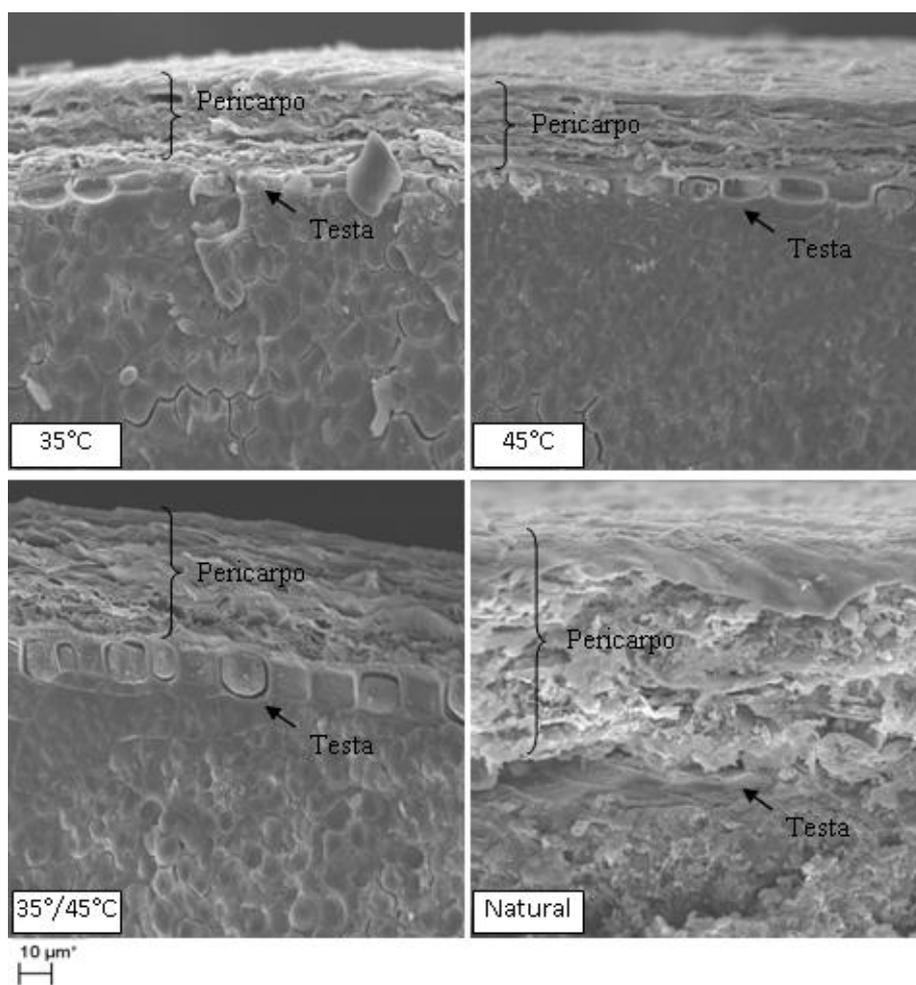
**Figura 1.** Perfil enzimático da esterase (A) e padrão eletroforético da proteína resistente ao calor (B) de sementes de sorgo submetidas à secagem a 35°C(a), 45°C(b), 35°/45°C (c) e natural (d).



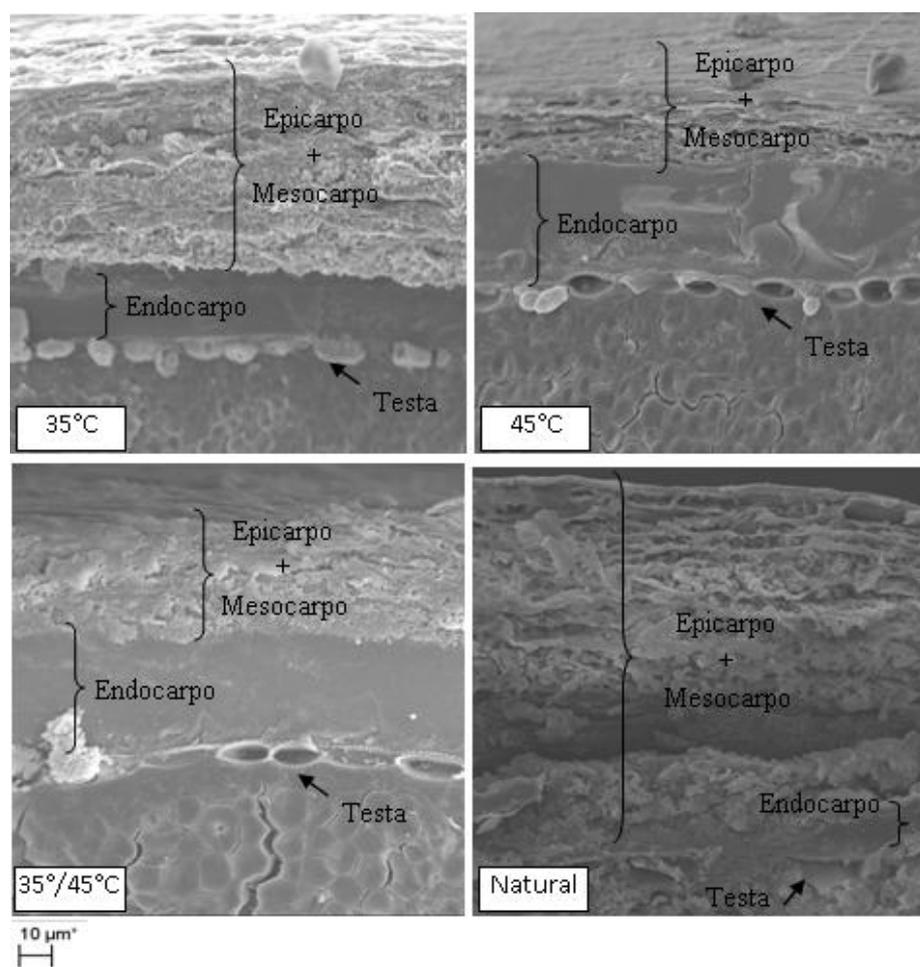
**Figura 2.** Atividade da enzima polifenoloxidase (U/min/g) em sementes de sorgo dos lotes das cultivares BR 305 e BR 310 submetidas à secagem a 35°C, 45°C, 35/45 °C e natural, e armazenadas em câmara fria e seca.



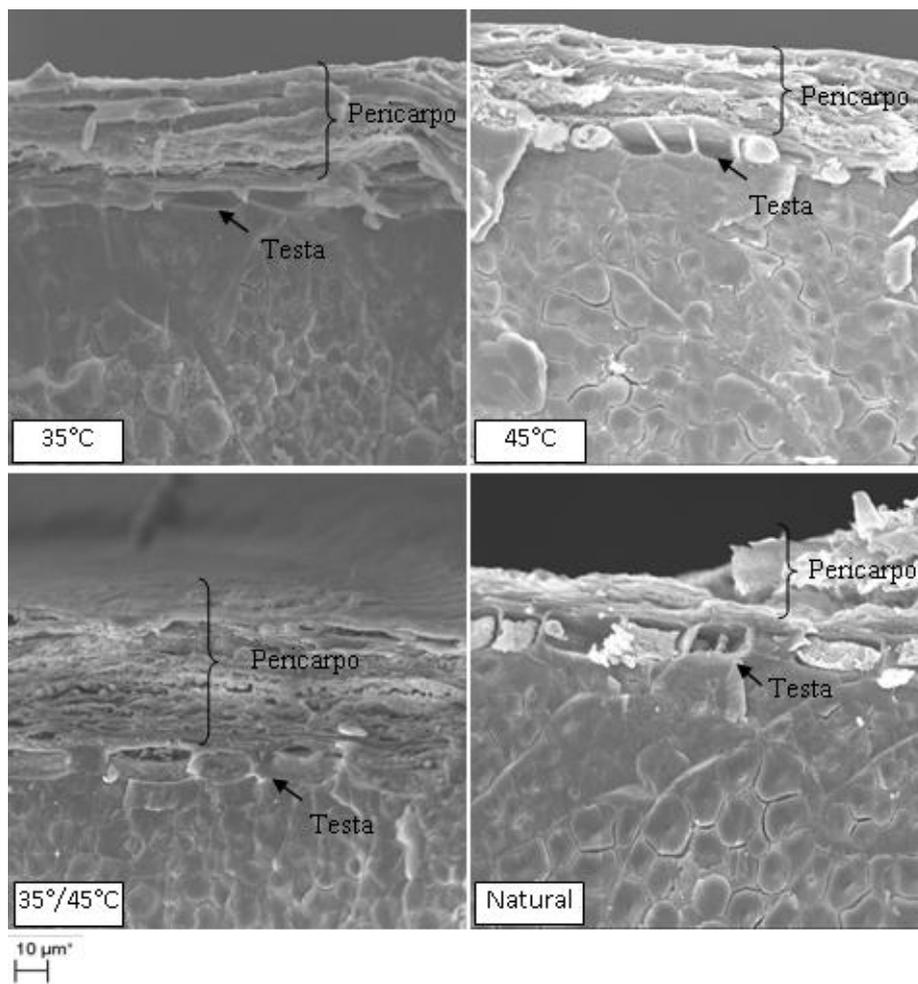
**Figura 3.** Imagens obtidas por meio de microscópio eletrônico de varredura de sementes de sorgo cultivar BR 305 submetidas à secagem, antes do armazenamento. Aumento médio de 1000X.



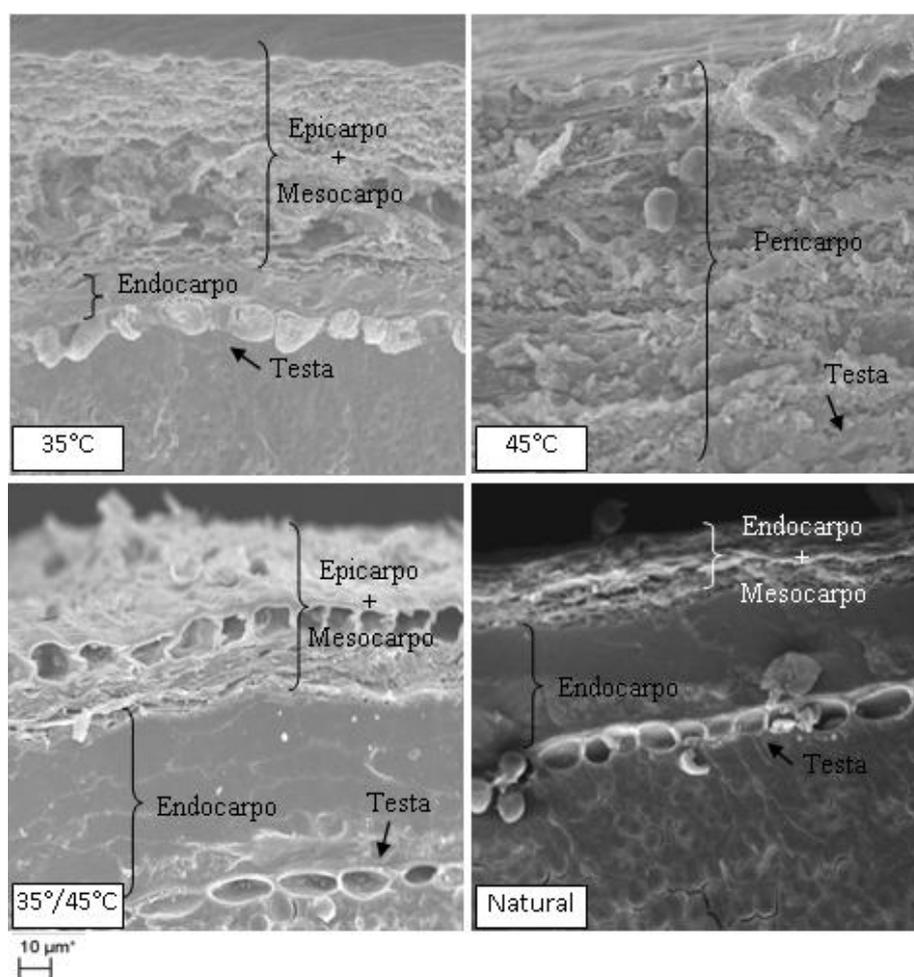
**Figura 4.** Imagens obtidas por meio de microscópio eletrônico de varredura de sementes de sorgo cultivar BR 310 submetidas à secagem, antes do armazenamento. Aumento médio de 1000X.



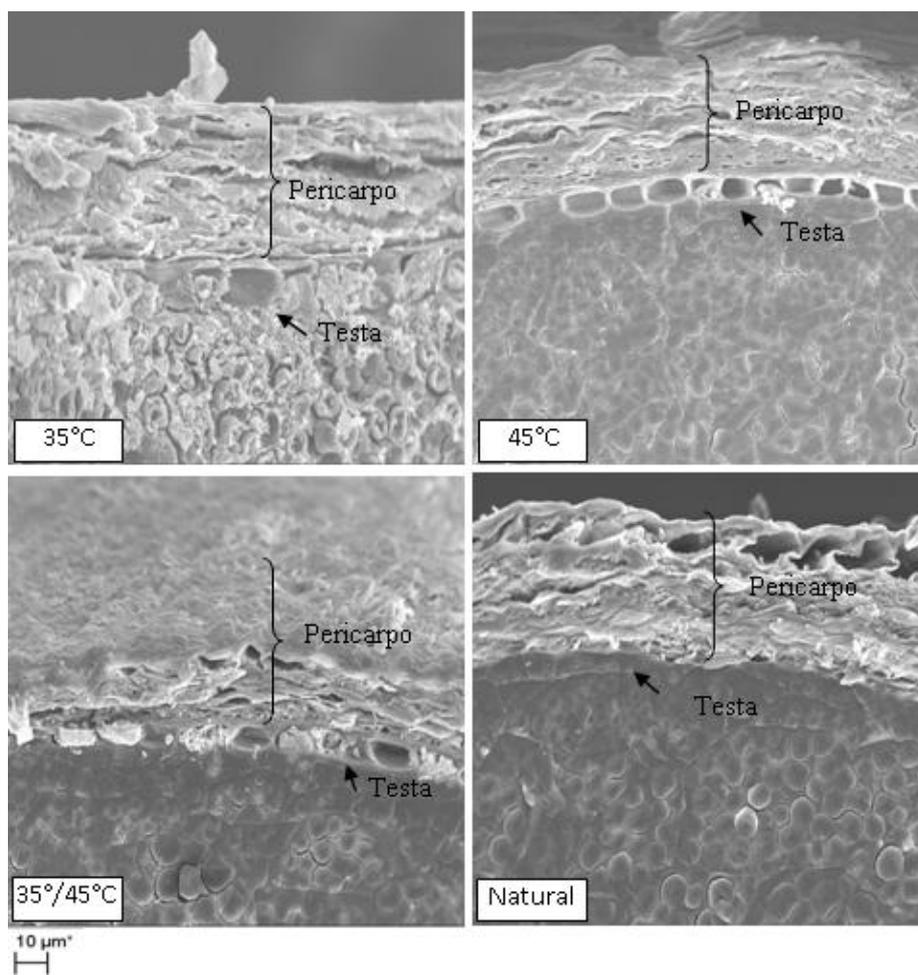
**Figura 5.** Imagens obtidas por meio de microscópio eletrônico de varredura de sementes de sorgo cultivar BR 305 submetidas à secagem, com 3 meses de armazenamento. Aumento médio de 1000X.



**Figura 6.** Imagens obtidas por meio de microscópio eletrônico de varredura de sementes de sorgo cultivar BR 310 submetidas à secagem, com 3 meses de armazenamento. Aumento médio de 1000X.



**Figura 7.** Imagens obtidas por meio de microscópio eletrônico de varredura de sementes de sorgo cultivar BR 305 submetidas à secagem, com 6 meses de armazenamento. Aumento médio de 1000X.



**Figura 8.** Imagens obtidas por meio de microscópio eletrônico de varredura de sementes de sorgo cultivar BR 310 submetidas à secagem, com 6 meses de armazenamento. Aumento médio de 1000X.

### **ARTIGO 3 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE SECAGEM NA QUALIDADE DE SEMENTES DE SORGO COLHIDAS COM DIFERENTES UMIDADES**

Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Milho e Sorgo - Versão preliminar

**RESUMO** - A colheita é um procedimento que deve acontecer o mais rápido possível, assim que seja atingida a maturidade fisiológica da semente. Em sorgo, essa maturidade pode ocorrer com o conteúdo de água em torno de 25% a 35%. No entanto, sementes com alto teor de água podem sofrer danos no momento da secagem, necessitando, portanto, da adoção de métodos de secagem que garantam a sua qualidade durante o armazenamento. Dessa maneira, objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar a qualidade das sementes de sorgo BR 310 colhidas com diferentes graus de umidade (19% e 27%), submetidas à secagem sob 3 temperaturas (35°C, 45°C e 35°/45°C) e armazenadas em ambiente convencional e câmara fria e seca durante o período de 9 meses. A qualidade das sementes foi determinada pelos testes de grau de umidade, germinação e emergência, índice de velocidade de emergência (IVE), teste de frio, tetrazólio, condutividade elétrica em massa e análise de isoenzimas. Pode-se concluir que a germinabilidade das sementes de sorgo aumentou com o armazenamento quando elas foram secas a 35°/45°C. Para as sementes colhidas com 19% de umidade, a secagem alternada manteve sua qualidade. Houve redução no percentual de sementes dormentes, aos três meses, quando armazenadas em câmara fria e seca.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*, colheita, armazenamento.

**INFLUENCE OF DRYING TEMPERATURE ON THE QUALITY  
OF SORGHUM SEEDS HARVESTED WITH DIFFERENT  
MOISTURES**

**ABSTRACT** – Harvest is procedure which must happen as fast as possible as soon as the seed physiological maturity is reached. In sorghum, that maturity can occur with the water content around 25% a 35%. Nevertheless, seeds with a high water content can undergo damages at the drying moment, needing, therefore, the adoption of drying methods which warrant seed quality over storage. Thus, it was aimed in that work to evaluate the quality of sorghum seeds, BR 310, harvested with different moisture degrees (19% and 27%), submitted to drying under three temperatures (35°C, 45°C and 35/45°C) and stored in a conventional place and cold and dry chamber during the 9-month period. The quality of the seeds was determined by the tests of moisture degree, germination and emergence, emergence velocity rate (IVE), test of cold, tetrazolium, mass electric conductivity and isoenzyme analysis. One can conclude that the geminability of sorghum seeds increased with storage when they were dried at 35/45°C. To the seeds harvested with 19% of moisture, alternate drying kept its quality. There was reduction in the percent of dormant seeds at three months, when stored in cold and dry chamber.

**Key words:** *Sorghum bicolor*, harvest, storage.

A colheita é um procedimento que deve acontecer o mais rápido possível, assim que seja atingida a maturidade fisiológica da semente. No caso do sorgo (*Sorghum bicolor*), essa maturidade pode ocorrer com o conteúdo de água em torno de 25% a 35%, dependendo do material utilizado (Varderlip & Reeves, 1972).

O teor de água elevado pode causar danos às sementes no momento da colheita. Por esse motivo, as sementes de sorgo são mantidas no campo até atingirem grau de umidade aproximado de 18%, valor considerado ideal para minimizar os danos (Silva et al., 2001).

Com o objetivo de produzir sementes de qualidade e a possibilidade de antecipação da colheita, a adoção de métodos de secagem artificial torna-se necessária para viabilizar o processo de produção. No entanto, uma secagem incorreta pode causar danos às sementes, as quais podem apresentar redução no potencial de armazenamento. Os efeitos da secagem a altas temperaturas não são imediatos e, após algum tempo de armazenamento, tornam-se mensuráveis, afetando, principalmente, a radícula das plântulas (Martins & Carvalho, 1994).

Em sementes de sorgo (*Sorghum vulgare*), a secagem à temperatura de 46°C a 48°C pode induzir dormência secundária, devido a alterações físicas ocorridas na cobertura da semente, provocadas pela secagem excessiva, de modo a restringir as trocas gasosas durante a embebição (Nutile & Woodstoek, 1967).

É possível que a atividade e a estrutura de certas enzimas ou proteínas, em sementes sensíveis à dessecação, sejam permanentemente

alteradas pela secagem, resultando em perda de atividade (Nkang et al., 2000).

Em resposta ao estresse à alta temperatura, as sementes de sorgo sintetizam proteínas de choque térmico (*Late Embriogenesis Abundant*) (Howarth, 1990). Essas proteínas são de fundamental importância nas sementes ortodoxas, por possuírem um importante papel na proteção das estruturas citoplasmáticas das sementes durante a desidratação. Sua detecção e acúmulo nas fases finais do desenvolvimento de sementes têm sido correlacionados com a aquisição de tolerância à dessecação em várias espécies (Kermonde, 1997).

A produção da enzima  $\alpha$  amilase, essencial na hidrólise do amido, também ocorre em resposta à dessecação das sementes de cereais (Rosa et al., 2004). Essas enzimas são produzidas pela camada de aleurona em resposta à síntese do ácido giberélico ( $GA_3$ ), quando a semente é submetida à secagem, seja natural ou artificial, em estádios mais precoces do desenvolvimento (Armstrong et al., 1982).

No que se refere às condições de armazenamento, a baixa umidade relativa do ar e a baixa temperatura são os fatores que garantem a manutenção da qualidade das sementes (Dhingra, 1985). Mesmo em condições controladas de armazenamento, o envelhecimento das sementes é inevitável. Quando as sementes se deterioram, elas perdem vigor progressivamente, apresentando redução na velocidade e na uniformidade de emergência, menor resistência a condições adversas, decréscimo na proporção de plântulas normais e, finalmente, perdem a viabilidade ou a capacidade de germinar (Halmer & Bewley, 1984).

A literatura sobre o armazenamento de sementes de sorgo por períodos mais longos é escassa no Brasil e essas informações são importantes quando se deseja armazenar as sementes de uma safra para outra (Souza et al., 2009).

Assim, objetivou-se, com a realização deste trabalho, estudar a qualidade das sementes de sorgo BR 310 colhidas com diferentes graus de umidade, submetidas a diferentes temperaturas de secagem e armazenadas em ambiente convencional e câmara fria e seca, durante o período de 9 meses.

### **Material e Métodos**

As análises foram conduzidas no Laboratório Central de Sementes da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As sementes da cultivar BR 310 foram colhidas no campo de produção da empresa Biomatrix, na cidade de Paracatu, MG, na safra 2008. As panículas com sementes contendo teores de água de 19% e 27% foram colhidas, debulhadas manualmente e imediatamente secas em três protótipos de secadores estacionários, até atingirem 12% de umidade. Dois protótipos foram regulados em temperatura constante, um de 35°C e outro de 45°C e, no terceiro, a secagem iniciou-se com 35°C, até as sementes atingirem 15% e, em seguida, elevou-se a temperatura para 45°C, até a redução do grau de umidade desejada. Após a secagem, as sementes foram divididas em duas porções, embaladas em saco de papel multifoliado e armazenadas em dois ambientes, câmara fria e seca (10°C e 50%UR) e em condições

não controladas, na Unidade de Beneficiamento de Sementes da UFPA (UBS). A qualidade das sementes foi avaliada ao 0, 3, 6 e 9 meses de armazenamento, por meio das seguintes determinações: **Grau de umidade** - Foi determinado pelo método da estufa a 105°C, por 24 horas conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). **Teste de germinação** - o substrato para semeadura foi o papel do tipo “Germitest”, umedecido com água destilada em quantidade de 2,5 vezes o peso seco do papel. As sementes foram colocadas em germinador regulado à temperatura de 25°C e as contagens realizadas aos 4 e 10 dias após a semeadura (Brasil, 2009). Ao final do teste, as sementes não germinadas foram avaliadas pelo teste de tetrazólio e cortadas longitudinalmente com uso de um bisturi. A metade de cada semente foi colocada em recipiente de plástico escuro, imersas em solução de sal de tetrazólio a 0,5%, durante um período de 2 horas em temperatura constante de 30°C. Após a coloração, as partes da semente foram lavadas e avaliadas com o auxílio do microscópio estereoscópico para a determinação da viabilidade. **Teste de emergência de plântulas** - a semeadura foi realizada em bandeja plástica contendo como substrato a mistura de areia e terra, na proporção de 2:1, umedecido até a capacidade de 70% de retenção. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em câmara de crescimento vegetal, previamente regulada à temperatura de 25°C, em regime alternado de luz e escuro (12 horas). As plântulas foram avaliadas diariamente após o primeiro dia de emergência, computando-se o número de plântulas emersas até a estabilização do estande aos 10 dias. O índice de velocidade de emergência foi determinado segundo fórmula proposta por Maguire (1962) e, aos 10 dias após a semeadura, computou-se o

número de plântulas normais. **Teste de frio** - a semeadura foi realizada em bandeja plástica contendo como substrato a mistura de areia e terra, na proporção de 2:1, umedecido até a capacidade de 70% de retenção. Após semeadura, as bandejas foram mantidas a 10°C por sete dias e, a seguir, transferidas para câmara de crescimento à temperatura de 25°C, fotoperíodo de 12 horas, por mais sete dias, quando foi realizada a contagem das plântulas normais. **Teste de condutividade elétrica** - foram pesadas 50 sementes e colocadas em copos plásticos, contendo 75 ml de água deionizada. Após 24 horas de embebição à temperatura de 25°C, foi realizada a leitura com auxílio de um condutivímetro de massa e os resultados expressos em  $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ , de acordo com metodologia descrita por Krzyzanowski et al. (1999). **Análise de isoenzimas** - em cada época de avaliação, retiraram-se duas amostras de 100 sementes e armazenou-se à temperatura de -86°C em *deep freezer*. Para a extração da enzima  $\alpha$ -amilase, as sementes foram embebidas em papel tipo 'Germitest', à temperatura de 25°C, por um período de 96 horas. Decorrido esse período, o eixo embrionário foi descartado e trituradas somente as sementes na presença de PVP e nitrogênio líquido. Para a extração, foi utilizado o tampão Tris HCl 0,2M pH 8,0 + (0,1% de  $\beta$  mercaptoetanol), na proporção de 250 $\mu\text{L}$  por 100 mg. O material foi homogeneizado em vórtex e mantido *overnight*, em geladeira, seguido de centrifugação, a 16.000xg, por 30 minutos a 4°C. A corrida eletroforética foi realizada em sistema de géis de poliacrilamida a 7,5% (gel separador) e a 4,5% (gel concentrador) + 0,5% de amido. O sistema gel/eletrodo utilizado foi o Tris-glicina pH 8,9. Foram aplicados 50  $\mu\text{L}$  do sobrenadante da amostra e a corrida efetuada a 120 V, por 6 horas. A revelação da enzima foi

realizada de acordo com Alfenas et al. (1991). Para análise eletroforética de proteínas resistentes ao calor, as sementes foram embebidas nas mesmas condições citadas, por período de 5 horas. As sementes foram maceradas na presença de solução tampão (50mM tris-HCl 7,5; 500mM NaCl; 5mM MgCl<sub>2</sub> ; 1mM PMSF), na proporção de 1:10 (peso material: volume tampão de extração) e transferidas para microtubos. O material foi homogeneizado em vórtex e centrifugado a 16.000xg, por 30 minutos, a 4°C. O sobrenadante foi colocado em banho-maria, a 85°C, por 15 minutos e novamente centrifugado. Posteriormente, 70µL do sobrenadante de cada amostra foram misturados com 40µL de solução tampão (2,5 ml de glicerol; 0,46 g de SDS; 20 mg de azul de Bromofenol) e colocados em banho-maria, com água em ebulição, por cinco minutos. Dos sobrenadantes obtidos, foram aplicados 50µL no gel de poliacrilamida SDS-PAGE à 12,5% (gel separador) e 6% (gel concentrador). A corrida eletroforética foi realizada a 120V, por 6 horas. O gel foi corado em Coomassie Blue a 0,05% (Alfenas et al., 1991), durante 12 horas e descorado em solução de ácido acético 10%.

**Delineamento experimental e análise estatística** – foi utilizado o esquema fatorial 2x3x4, sendo duas unidades de colheita (19% e 27%), três temperaturas de secagem (35°C; 45°C e 35°-45°C) e quatro épocas de armazenamento (0, 3, 6 e 9 meses) para cada ambiente de armazenamento, câmara fria e seca e armazém convencional. O teste de média utilizado foi o Scott-Knott a 5% e análises de regressão foram realizadas para as variáveis quantitativas e transformação dos dados  $\sqrt{x+0,5}$ , para a variável dormência. Nas análises, foram utilizadas 4 repetições de 50 sementes em cada teste.

## **Resultados e Discussão**

Na análise de variância dos resultados da avaliação das sementes armazenadas em câmara fria e seca, observaram-se efeitos significativos da interação grau de umidade das sementes e época de armazenamento, e da temperatura de secagem para as variáveis germinação e dormência. A interação tripla dos fatores temperatura de secagem, grau de umidade das sementes e épocas de armazenamento foi significativa somente para a variável condutividade elétrica. Já para as sementes que foram armazenadas em ambiente convencional, houve interação tripla significativa para as variáveis germinação, dormência e vigor e interação dupla para grau de umidade das sementes e época de armazenamento, para as variáveis emergência e índice de velocidade de emergência e de temperatura de secagem e grau de umidade das sementes para a variável condutividade elétrica.

Pelos resultados de germinação das sementes de sorgo armazenadas em câmara fria (Tabela 1), observa-se que a temperatura de secagem alternada 35°/45°C propiciou melhores resultados em relação às demais temperaturas. A porcentagem de sementes dormentes foi reduzida com a maior temperatura de secagem. Esse fato não é coincidente com a afirmativa de que elevadas temperaturas de secagem induzem a dormência secundária em sementes de sorgo (Nutile & Woodstoek, 1967). Segundo esses autores, a secagem com temperatura de 46°C a 48°C pode induzir dormência secundária devido a alterações físicas que ocorrem na cobertura da semente, provocadas pela secagem excessiva, de

modo a restringir as trocas gasosas durante a embebição, o que não foi observado na presente pesquisa.

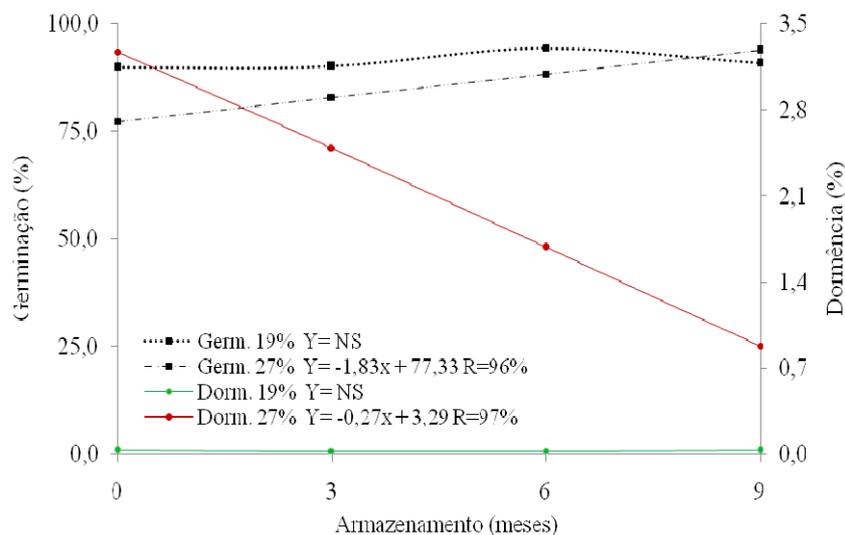
**TABELA 1** Resultados médios (%) de germinação e dormência de sementes de sorgo após secagem, utilizando diferentes temperaturas e armazenamento em câmara fria e seca.

Temperatura de secagem (°C)	Dormência	Germinação
35	3,8 B	87,2 B
45	1,6 A	87,9 B
35/45	2,7 A	90,1 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Conforme se observa na Figura 1, independentemente da temperatura de secagem, as sementes colhidas com grau de umidade de 19% e armazenadas em câmara fria mantiveram a tendência de valores de germinação superiores durante o período de armazenamento.

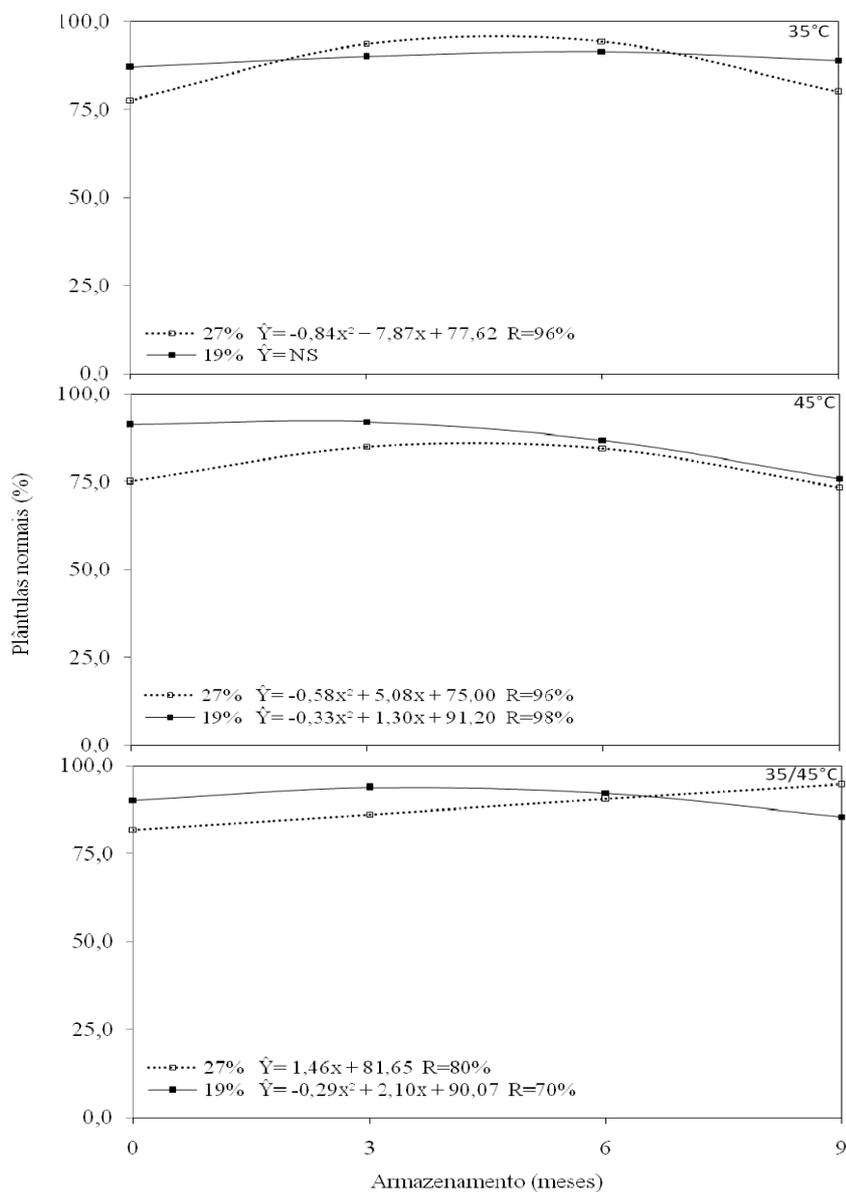
Não houve diferença significativa entre as épocas 0, 3 e 6 meses de armazenamento, para as sementes colhidas com 19% de umidade.



**FIGURA 1** Porcentagem de germinação e dormência em sementes de sorgo, colhidas com diferentes umidades e armazenadas em câmara fria e seca após secagem.

Já as sementes colhidas com 27% de grau de umidade tiveram um aumento na germinação, sobretudo após o início do armazenamento, quando foi verificado aumento linear dos valores. Estes resultados comprovam a quebra de dormência dessas sementes durante o armazenamento. No entanto, para as sementes armazenadas em ambiente convencional (Figura 2), não houve diferença significativa dos valores de germinação, aos 3 e aos 6 meses de armazenamento, quando submetidas às três temperaturas de secagem. Já a temperatura de secagem de 45°C propiciou menor resultado de germinação (75%) aos 9 meses de armazenamento, para as sementes de sorgo colhidas com 19% de umidade, enquanto naquelas colhidas com 27% de umidade a porcentagem de germinação de sementes secas sob temperatura de

35°/45°C foi maior ao final do período de armazenamento.



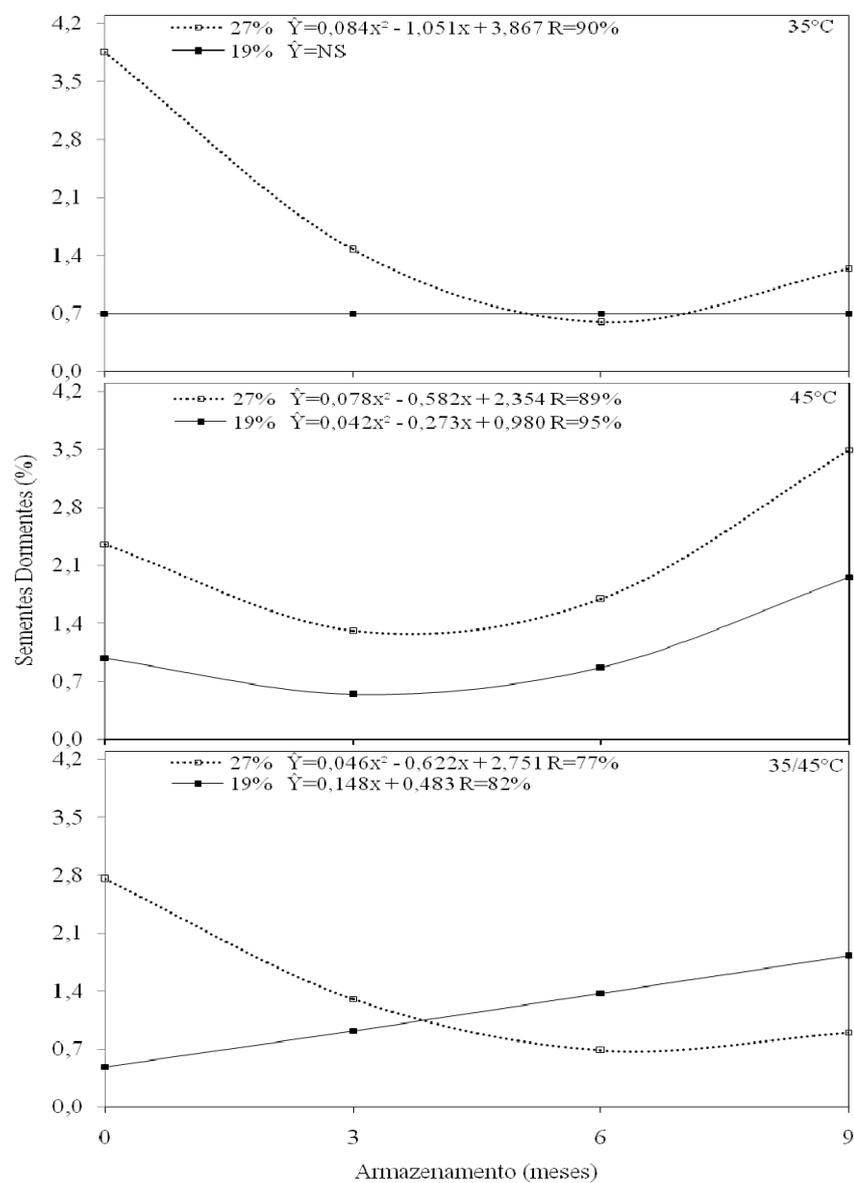
**FIGURA 2** Porcentagem de germinação em sementes de sorgo colhidas com diferentes umidades, submetidas a diferentes temperaturas de secagem e armazenadas em ambiente convencional.

As sementes colhidas com 27% de grau de umidade tiveram redução na porcentagem de sementes dormentes até os três meses de armazenamento, independente da temperatura de secagem (Figura 3).

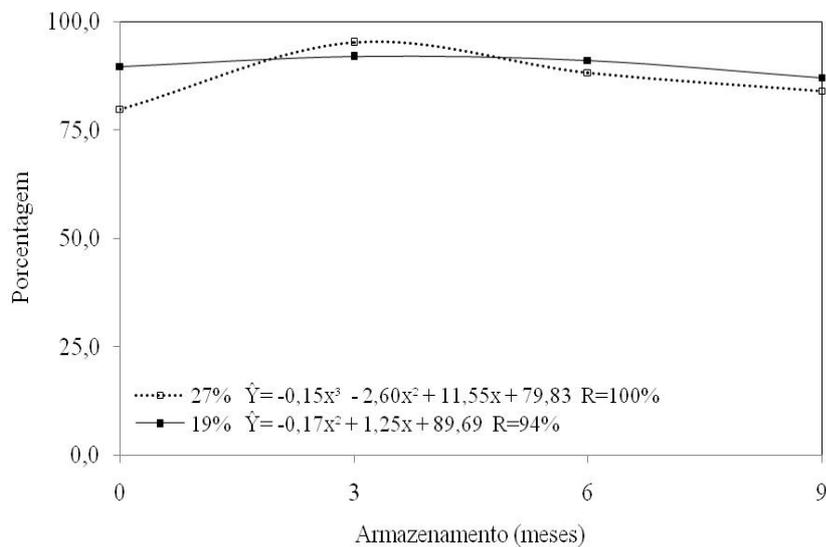
No entanto, observou-se aumento significativo a partir dos três meses para aquelas sementes secas sob temperatura de 45°C, tanto quando colhidas com 19% como 27%. Esse fato também foi verificado para sementes colhidas com 19% de grau de umidade e secas à temperatura de 35°/45°C.

Os resultados reforçam a ideia de indução de dormência secundária em sementes de sorgo submetidas a altas temperaturas. Vale ressaltar, entretanto, que essa indução foi observada em sementes armazenadas em armazém convencional. Quando as sementes foram armazenadas em câmara fria e seca, houve uma redução nessa porcentagem, o que pode ser devido a uma estratificação a frio.

Em relação aos valores de emergência (Figura 4), houve diferença entre os tratamentos somente antes do armazenamento em ambiente convencional, onde a porcentagem de plântulas foi superior quando as sementes foram colhidas com 19% de grau de umidade, independente da temperatura de secagem.

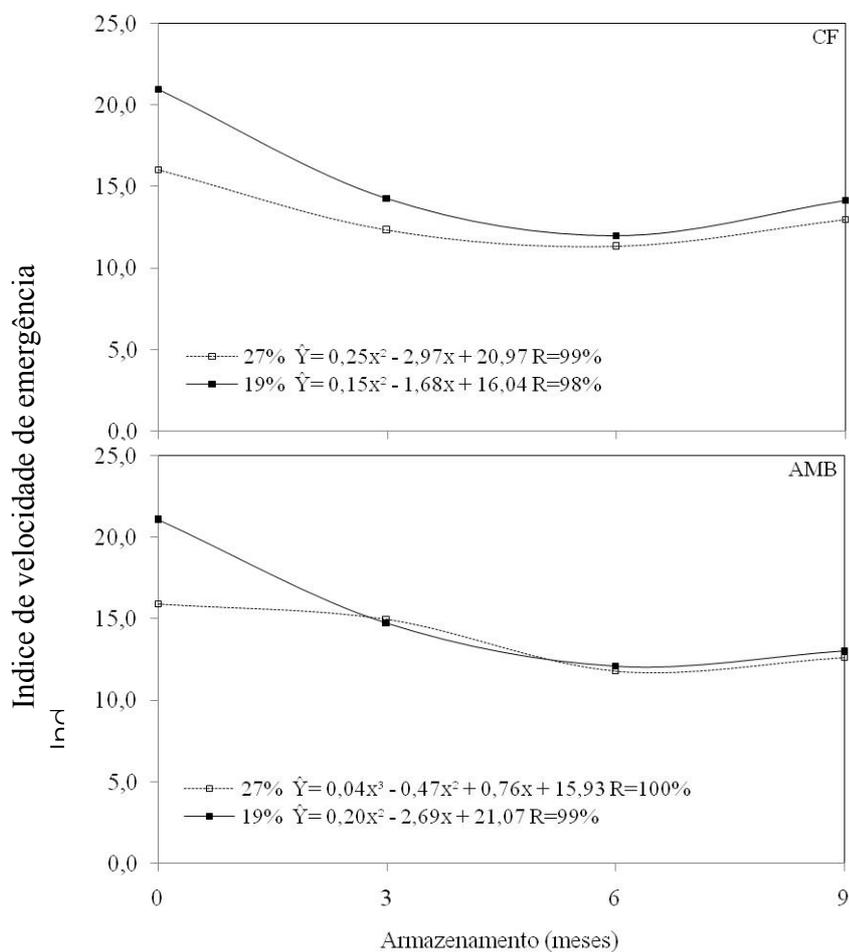


**FIGURA 3** Porcentagem de sementes dormentes em sementes de sorgo colhidas com diferentes umidades, submetidas a diferentes temperaturas de secagem e armazenadas em ambiente convencional



**FIGURA 4** Emergência de plântulas oriundas de sementes de sorgo colhidas com diferentes umidades e armazenadas em armazém convencional.

Quanto ao índice de velocidade de emergência (IVE) (Figura 5), para a condição de câmara fria, após início do armazenamento, as sementes de sorgo tiveram menor vigor em ambos os teores de água avaliados. Verificou-se, ainda, que não houve diferença significativa entre os valores, para as épocas três e nove meses de armazenamento, sendo estes superiores aos dos seis meses. Entretanto, para as sementes armazenadas em armazém convencional, verifica-se tendência de redução de vigor em sementes colhidas com 27% e 19% de grau de umidade. Segundo Baudet (2003), a deterioração natural das sementes proporciona redução na germinação, porém, é possível retardar sua velocidade por meio do manejo correto das condições de armazenamento.



**FIGURA 5** Índice de velocidade de emergência de plântulas oriundas de sementes de sorgo colhidas com diferentes umidades e armazenadas em câmara fria e seca (CF) e ambiente convencional (AMB).

Pela interação entre os fatores de temperatura de secagem e grau de umidade de colheita (Tabela 2), observa-se maior vigor pelo teste de frio para as sementes colhidas com teor de água inicial de 27% e secas à

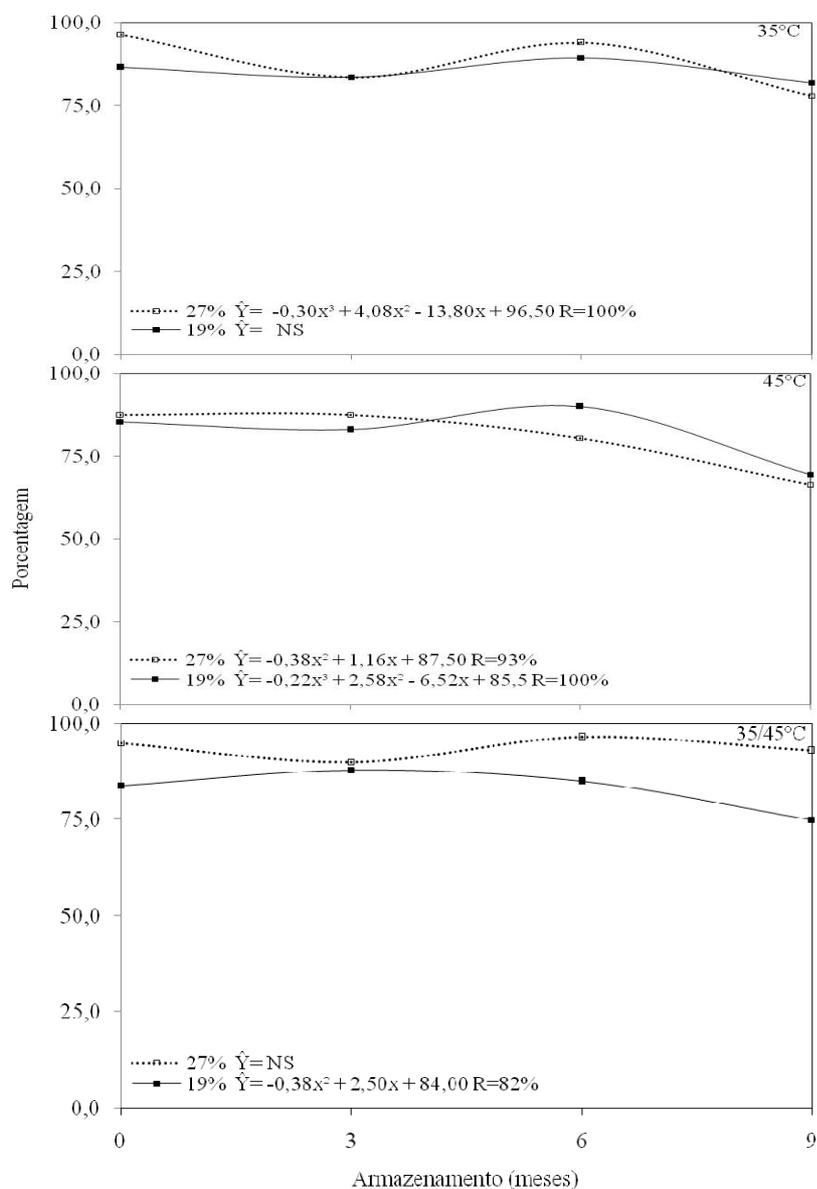
temperatura de 35°C e 35°/45°C. Já aquelas colhidas com 19% de umidade não apresentaram diferenças significativas de vigor quando submetidas às diferentes temperaturas de secagem.

**TABELA 2** Resultados médios de vigor (%) avaliados pelo teste de frio de sementes de sorgo colhidas com diferentes graus de umidades e secas sob diferentes temperaturas e armazenadas em câmara fria e seca.

Temperatura de secagem (°C)	Umidade de colheita (%)	
	19	27
35	83,8 bA	92,9 aA
45	86,6 aA	88,4 aB
35/45	84,8 bA	94,8 aA

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

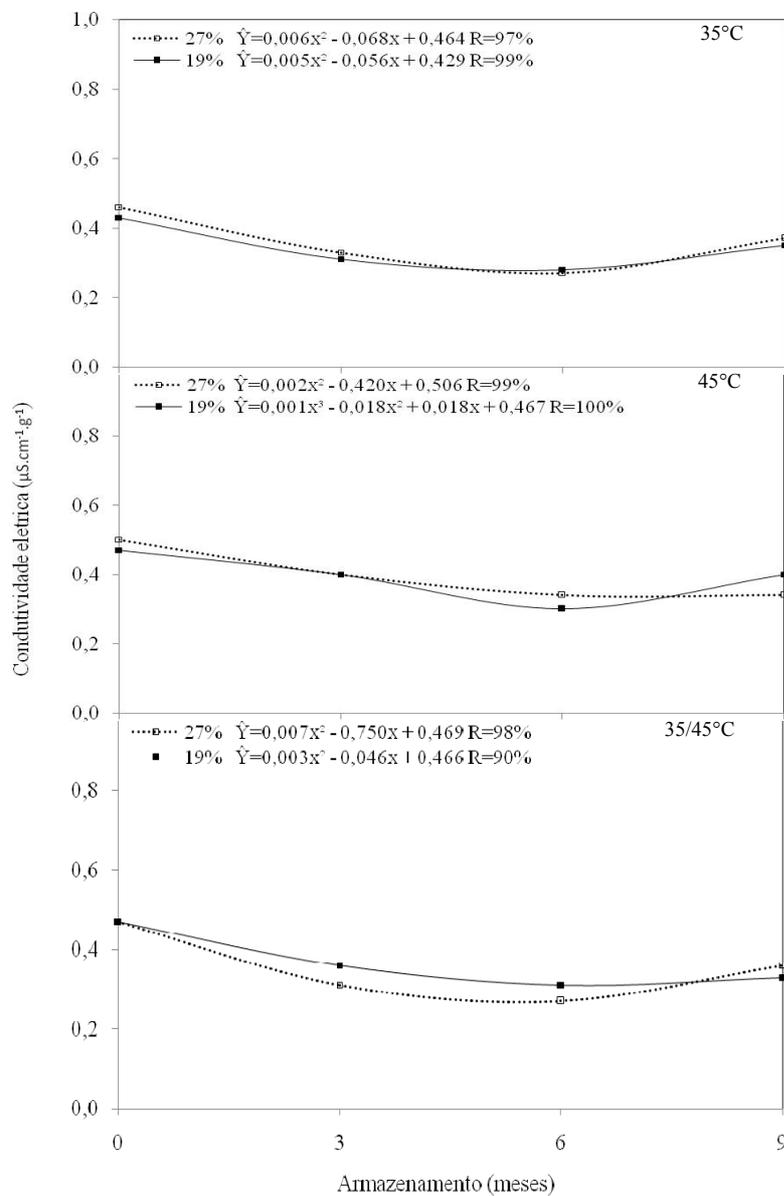
No geral, os resultados do teste frio (Figura 6) corroboram os de germinação e dormência em sementes de sorgo submetidas aos tratamentos estudados. Durante a maturação de sementes, a aquisição da tolerância à dessecação pode coincidir com a maturidade fisiológica. A transição de intolerância para tolerância à dessecação tem sido usualmente reportada como uma mudança drástica, ocorrendo em alguns dias e determinada como a tolerância para um nível de secagem (Long et al., 1981; Fischer et al., 1988; Kermodé & Bewley, 1989).



**FIGURA 6** Porcentagem de vigor de sementes de sorgo avaliadas pelo teste de frio, oriundas de sementes colhidas com diferentes umidades, submetidas a diferentes temperaturas de secagem e armazenadas em ambiente convencional.

O entendimento das mudanças que ocorrem nas sementes, nos diferentes estádios de desenvolvimento, à medida que perdem água, é de fundamental importância para o desenvolvimento de metodologias de secagem de sementes colhidas com altos teores de água. É sabido que, com progressiva perda de água no campo após a maturidade fisiológica, as sementes tornam-se mais tolerantes a temperaturas mais elevadas de secagem, indicando que eventos ocorrem juntamente com a redução do teor de água (Rosa et al., 2004).

Pelo gráfico da Figura 7 nota-se que houve comportamento semelhante para todos os tratamentos, com tendência de queda nos valores de condutividade elétrica, até os seis meses de armazenamento. Após esse período, a condutividade elétrica das sementes de sorgo armazenadas em câmara fria e seca aumentou, exceto para as sementes com 27% de umidade e secas a 45°C constantes.



**FIGURA 7** Valores condutividade elétrica em sementes de sorgo colhidas com diferentes umidades, submetidas a diferentes temperaturas de secagem e armazenadas em câmara fria e seca.

Verifica-se que os valores de condutividade das sementes de sorgo colhidas com 19% de umidade, secas e armazenadas em armazém convencional (Tabela 3) não diferem quanto às temperaturas de secagem a que foram submetidas. As sementes colhidas com umidade de 27% tiveram maior lixiviação de solutos quando secas a 45°C, uma vez que a fragilidade do sistema de membranas após a secagem a alta temperatura pode ter contribuído para o aumento da condutividade elétrica.

**TABELA 3** Valores médios de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) em sementes de sorgo após secagem, utilizando diferentes temperaturas e armazenadas em armazém convencional.

Temperatura de secagem (°C)	Umidade de colheita (%)	
	19	27
35	0,38 aA	0,37 aA
45	0,38 aA	0,43 bB
35/45	0,38 aA	0,36 aA

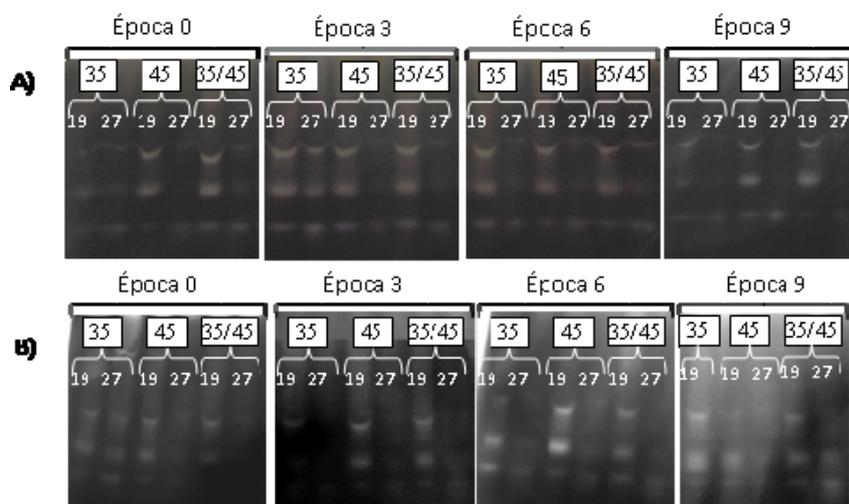
Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Quando as sementes foram submetidas ao teste de condutividade elétrica, o grau de umidade dessas sementes estava entre 11%-12,5%, para aquelas armazenadas em câmara fria e de 11,5% a 13%, para aquelas armazenadas em ambiente convencional.

O teor de água nas sementes no momento da instalação do teste também é de extrema importância na realização da condutividade elétrica

de massa. Para sementes de soja, no início do teste, esses valores devem se situar entre 11% e 17% (Association of Official Seed Analysts - AOSA, 1983). Quando o teor de água se situa abaixo de 11%, o valor da condutividade elétrica aumenta significativamente (Loeffler et al., 1988). Quanto maior o teor de água, menor o valor de condutividade, reduzindo a saída de eletrólitos (Vazquez, 1995).

Em relação à atividade enzimática, nas sementes colhidas com 19% de umidade e submetidas à secagem, a atividade da enzima  $\alpha$ -amilase (Figura 8), responsável pela hidrólise de amido em cereais, foi mantida em todas as épocas. Para aquelas colhidas com umidade de 27% e secas à temperatura de 45°C e de 35°/45°C, essa atividade foi praticamente nula, principalmente na época 3.

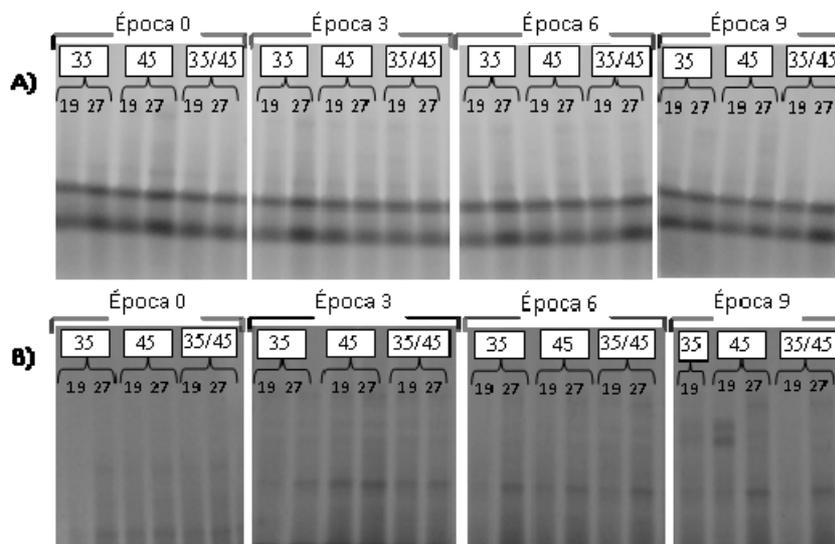


**FIGURA 8** Perfis enzimáticos de alfa amilase em sementes de sorgo após secagem e armazenadas em câmara fria e seca (A) e armazém convencional (B).

A dessecação de sementes, seja no estágio final de desenvolvimento ou por meio de secagem artificial, induz a produção de enzimas necessárias para a mobilização de reservas necessárias para a germinação (Bewley & Black, 1994).

À medida que as sementes perdem água, adquirem tolerância à secagem a temperaturas mais elevadas. Dentre outros fatores, essa tolerância é atribuída ao acúmulo de LEAs proteínas, as quais são sugeridas como protetoras dos componentes celulares na falta de água, promovendo um ajuste osmótico ou substituindo água (Han et al., 1997).

Pelos perfis eletroforéticos de proteínas resistentes ao calor apresentados na Figura 9, observa-se que, independente do grau de umidade das sementes na colheita e da temperatura de secagem, quando armazenadas em câmara fria (Figura 9A), não foram observadas diferenças no padrão de bandas durante os nove meses de armazenamento. Os padrões de proteínas resistentes ao calor permaneceram estáveis nas sementes de sorgo independentemente do método de secagem empregado e do teor de água inicial. Essa estabilidade sugere que o método de secagem não induziu mudanças no padrão proteico dessas sementes.



**FIGURA 9** Padrão de proteína resistente ao calor de sementes de sorgo colhidas com diferentes umidades após secagem em diferentes temperaturas e armazenadas em câmara fria e seca (A) e armazém convencional (B).

A função dessas proteínas ainda não está bem esclarecida, mas sua estabilidade, propriedades físicas e abundância em organismos que toleram a desidratação sugerem um importante papel em tolerância à dessecação (Blackman et al., 1991). O papel dessas proteínas em tolerância à dessecação deve-se à sua habilidade para atrair moléculas de água, mantendo o ambiente local enriquecido de água ou de alguma forma até substituindo a água (Bewley & Black, 1994).

Analisando-se os padrões de bandas das proteínas resistentes ao calor apresentadas para as sementes de sorgo armazenadas em armazém convencional (Figura 9B), ficam evidente as alterações nas proteínas a partir da época 3. Observa-se aumento na intensidade dessas bandas, com

exceção das sementes colhidas com umidade de 19% e secas a 35°C, até os seis meses de armazenamento.

Verificou-se também o aparecimento de duas bandas nas sementes colhidas com 19% de umidade, secas a 45°C aos 9 meses de armazenamento. Essas proteínas são acumuladas durante a secagem na maturação e sua estabilidade, hidrofobicidade e quantidade sugerem a associação à tolerância à secagem (Blackman et al., 1991). Foi sugerido que as proteínas LEA podem ligar íons e água, podendo, ainda, estar associadas aos açúcares, controlando a taxa de perda de água e mantendo, assim, a viabilidade das sementes ortodoxas no estado seco (Pammenter & Berjak, 1999).

### **Conclusões**

A germinabilidade de sementes de sorgo armazenada em câmara fria aumentou com o armazenamento quando foram secas a 35°/45°C.

A temperatura de secagem alternada 35°/45°C foi melhor para as sementes colhidas com 19% de umidade.

Houve redução do percentual de sementes dormentes aos 3 meses de armazenamento em câmara fria e seca.

### **Agradecimento**

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pelo apoio na realização da pesquisa.

### Literatura Citada

- ALFENAS, A. C.; PETERS, I.; BRUNE, W.; PASSADOR, G. C. **Eletrforese de proteínas e isoenzimas de fungos e essências florestais**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 242 p.
- ARMSTRONG, C.; BLACK, M.; CHAPMAN, J. M.; NORMAN, H. E.; ANGOLD, R. The induction of sensitivity to gibberellin in aleurone tissue of developing wheat grains: I., the effect of dehydration. **Planta**, Berlin, v. 154, p. 573-577, 1982.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed vigor testing handbook**. Ithaca, 1983. 93 p.
- BAUDET, L. Armazenamento de sementes. In: PESKE, S. T. (Ed.). **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: UFPel, 2003. p. 369-418.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum, 1994. 445 p.
- BLACKMAN, S. A.; WETTLAUFER, S. H.; OBENDORF, R. L.; LEOPOLD, A. C. Maturation proteins associated with desiccation tolerance in soybean seeds. **Plant Physiology**, Rockville, v. 96, p. 868-874, 1991.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: SND/CLAV, 2009. 369 p.
- DHINGRA, O. D. Prejuízos causados por microorganismos durante o armazenamento de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 7, p. 139-145, 1985.
- FISCHER, W.; BERGFELD, R.; PLACHY, C.; SCHAFFER, R.; SCHOPTE, P. Accumulation storage materials, precocious germination and development of desiccation tolerance of seed maturation in mustard (*Sinapis Alba L.*). **Annals of Botany**, London, v. 101, p. 344-354, 1988.

HALMER, P.; BEWLEY, D. A physiological perspective on seed vigour testing. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 12, p. 561-575, 1984.

HAN, B.; HUGHES, W. D.; GALAU, G. A.; BEWLEY, J. D.; KERMODE, A. R. Changes in late-embryogenesis-abundant (LEA) messenger RNAs and dehydrins during maturation and premature drying of *Ricinus communis* L. seeds. **Planta**, Berlin, v. 201, p. 27-35, 1997.

HOWARTH, C. Heat shock proteins in *Sorghum bicolor* and *Pennisetum americanum*: II., stored RNA in sorghum seed and its relationship to heat shock protein synthesis during germination. **Plant, Cell and Environment**, Dordrecht, v. 13, p. 57-64, 1990.

KERMONDE, A. R. Approaches to elucidate the basis of desiccation-tolerance in seeds. **Seed Science Research**, Oxon, v. 7, p. 75-95, 1997.

KERMODE, A. R.; BEWLEY, J. D. Development seeds of *Ricinus communis* L. when detached and maintained in atmosphere of high relative humidity, switch to a germinative mode without the requirement for complete desiccation. **Plant Physiology**, Rockville, v. 90, p. 702-707, 1989.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. 219 p.

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

LONG, S. R.; DALE, R. M. R.; SUSSEV, I. M. Maturation and germination of *Phaseolus vulgaris* embryo axes in culture. **Planta**, Berlin, v. 153, p. 405-415, 1981.

MAGUIRRE, J. D. Speed of germination: aid seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, p. 176-177, 1962.

MARTINS, C. C.; CARVALHO, N. M. Fontes de deterioração na produção de sementes de soja e respectivas anormalidades nas plântulas. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 16, p. 168-182, 1994.

NKANG, A.; OMOKARO, D.; EGBE, A. Effects of desiccation on the lipid peroxidation and activities of peroxidase and polyphenoloxidase in seeds of *Telfairia occidentalis*. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 28, p. 1-9, 2000.

NUTILE, G. E.; WOODSTOEK, L. W. The influence of dormancy: inducing desiccation treatments on the respiration and germination of sorghum. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 20, p. 554-561, 1967.

PAMMENTER, N. W.; BERJAK, P. A review of recalcitrant seed physiology in relation to desiccation-tolerance mechanisms. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 9, p. 13-37, 1999.

ROSA, S. D. V. F.; PINHO, E. V. R. von; VIEIRA, M. G. G. C.; VEIGA, R. D. Indução de tolerância à alta temperatura de secagem em sementes de milho por meio de pré-condicionamento a baixa temperatura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, p. 290-318, 2004.

SILVA, J. N.; CARVALHO, J. A.; DIAS, D. C. F. S.; REIS, F. P. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo coletadas em diferentes pontos de um secador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 5, p. 487-491, 2001.

SOUZA, G. F. M. V.; SANTOS, C. M.; SANTANA, D. G. Armazenamento de sementes de sorgo submetidas a diferentes graus de umidade de colheita. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, p. 745-752, 2009.

VANDERLIP, R. L.; REEVES, H. E. Growth stages of sorghum (*Sorghum bicolor*, L. Moench.). **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, p. 13-16, 1972.

VAZQUEZ, G. H. **Condicionamento fisiológico de sementes de soja:** efeitos sobre a germinação, vigor e potencial de armazenamento. 1995. 138 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.