

## **1. INTRODUÇÃO**

O arroz é o segundo cereal mais cultivado do mundo. A Ásia é responsável por cerca de 90% da produção mundial do arroz, já no continente americano, o Brasil se destaca como maior produtor, sendo também um dos maiores do mundo (FAO, 2006).

No Brasil, a área cultivada com arroz se aproxima de 3,2 milhões de hectares, com produção de 11,75 milhões de toneladas. O Rio Grande do Sul, Estado de maior produção, colhe anualmente cerca de seis milhões de toneladas, que correspondem a mais de 50% do total da produção brasileira (CONAB, 2006). A produção mundial de arroz cresceu a uma taxa média de 2,1% ao ano, de 1970 a 2004. Neste mesmo período, a área colhida com este cereal aumentou 0,4% ao ano e a produtividade das lavouras, 1,8% (Perozzi, 2005). Isso mostra que o crescimento da economia orizícola tem sido proporcionado pelo aumento da produtividade agrícola, já que o incremento da área contribuiu com apenas 1/5 do aumento da produção. Uma das alternativas para o aumento da produtividade tem sido atribuída ao ganho tecnológico através da implantação de uma lavoura de qualidade, sendo que um dos insumos que mais influencia nessa característica é a semente.

A tecnologia para a produção de sementes de alto padrão de qualidade preconiza, genericamente, a execução da colheita no momento mais próximo possível da maturidade fisiológica.

As sementes quando atingem a maturidade fisiológica apresentam teores de água acima de 30%, os quais não são compatíveis com a tecnologia

disponível para a colheita mecânica (Villela e Silva, 1992, Peske e Barros, 1998), por este motivo, a colheita das sementes de arroz é realizada com teor de água em torno de 20 a 24%. Essa umidade é considerada alta para o armazenamento seguro, tornando o processo de secagem fundamental para a manutenção da qualidade das sementes.

Para que se possam minimizar as perdas na qualidade fisiológica das sementes, após a colheita, se faz necessário conhecer o método de secagem mais seguro e saber quais os níveis de temperatura e de umidade que são considerados ideais para esse processo.

O presente trabalho integra a linha de pesquisa em pós-colheita de sementes, e busca o aperfeiçoamento do processo de secagem em sementes de arroz objetivando a minimização das perdas na qualidade fisiológica das sementes através da diminuição do tempo de exposição a altas temperaturas de condicionamento do ar durante a secagem.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Importância da produção de arroz**

O arroz pertence à classe Monocotiledonea, à família Poaceae, ao gênero *Oryza* e à espécie *Oryza sativa* L. (Vasconcellos, 1963). Entre as espécies mais cultivadas atualmente no Rio Grande do Sul apresenta altas produtividades e boas qualidades de consumo, mas, em geral, é suscetível a fatores adversos do meio (Elias, 2003).

O arroz é uma planta originária do sudeste asiático, havendo relatos de semeadura na China, há cerca de 5000 anos. Expandiu-se para o resto do mundo através da Índia. No século XVI, foi introduzido no Brasil, por portugueses (Galli, 1978). Atualmente, é uma das mais importantes culturas, sendo a principal fonte energética dentre os grãos, constituindo base da alimentação para mais de 50% da população mundial (FAO, 2006).

Dentre os cereais cultivados, o arroz é o que mais se destaca, por ser alimento básico da maioria da população mundial.

Segundo dados da Fundação das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, o consumo brasileiro de arroz é de aproximadamente 52,5 quilogramas por habitante por ano (base casca). Apesar de ser inferior ao consumo mundial médio por habitante (84,8 kg/hab/ano), este valor é considerado alto, se comparado com o consumo *per capita* dos países desenvolvidos (16,7 kg/hab/ano). No ano de 1999, a produção mundial de arroz foi de 586,8 milhões de toneladas, sendo a China o maior produtor mundial em 1999 com 34,2% do

total, seguida pela Índia com 21,7% do total, sendo o maior exportador os Estados Unidos da América com 62,5% do total, seguido pela Argentina com 12,3% do total. A Ásia é responsável por 90% da produção mundial. Na América Latina, o Brasil se destaca como o maior produtor, tendo tido uma produção neste mesmo ano de 11,4 milhões de toneladas produzidos em uma área de 3,14 milhões de hectares (FAO, 2006).

A cadeia produtiva do arroz possui extrema importância no Rio Grande do Sul, principalmente na metade sul, onde se concentra a maior parte da produção do estado (Azambuja *et al.*, 1996).

O Rio Grande do Sul tem a maior produção, que representa 54% da produção brasileira. Na safra 2005/2006, cultivou mais de um milhão de hectares de arroz irrigado, totalizando uma produção superior a seis milhões de toneladas de arroz em casca. A região sul do Brasil também se destaca por abrigar o maior número de indústrias do arroz (CONAB, 2006).

O agronegócio do arroz no Rio Grande do Sul é responsável por cerca de R\$ 175 milhões ou 20,3% da arrecadação do ICMS e R\$ 2,5 bilhões ou 3,1% do PIB, gerando em torno de 250 mil empregos diretos (Silveira, 2000).

Pelotas é um dos maiores centros de beneficiamento de arroz da América Latina, industrializando aproximadamente 11,4% da produção do Rio Grande do Sul com 33 indústrias de beneficiamento instaladas (IRGA, 2006).

## **2.2 Qualidade fisiológica das sementes**

A semente é o meio que leva ao agricultor todo o potencial genético de uma cultivar com características superiores. Mas, dos campos de desenvolvimento até chegar ao produtor, ela sofre a ação de vários fatores capazes de prejudicar o seu desenvolvimento (Peske & Barros, 1998).

Programas de aprimoramento de qualidade geral garantem um produto final altamente qualificado, levando a uma maior lucratividade. Estudos do impacto das estratégias de marketing no lucro demonstram a alta correlação entre qualidade e lucratividade (Kotler e Armstrong, 1988). A qualidade da semente é expressa por atributos de qualidade fisiológica, genética, física e sanitária.

Para a obtenção de sementes de qualidade, a colheita no ponto de maturidade fisiológica é fundamental. Por outro lado, neste momento as sementes se encontram com alto teor de água.

No processo de maturação fisiológica do arroz, podem ser distinguidos basicamente três estádios. O primeiro é denominado estádio leitoso, caracterizando-se pelo fato de a cariopse apresentar-se tipicamente verde, com elevado conteúdo de água. O segundo é o estádio de massa, começando quando a cariopse se torna mais consistente e vai até quase completar seu desenvolvimento total. No último, denominado estádio de maturação propriamente dito, a semente se encontra completamente madura, o endosperma completou seu desenvolvimento e se apresenta branco, sem pontuações verdes. A maturação, assim como a floração, se processa das espiguetas do ápice para as da base da panícula. Numa mesma planta, primeiro matura a panícula do colmo principal, depois as panículas dos afilhos de primeira ordem, depois as de segunda ordem e assim sucessivamente. O arroz que amadurece rapidamente em condições de calor seco tende a ser opaco, enquanto o que amadurece em condições frias tende a ser translúcido e resistente à quebra, entretanto, temperaturas baixas logo no início da maturação, na fase de enchimento de grão, podem ser prejudiciais, resultando um aumento de grãos gessados (Infeld et al., 1987).

As cultivares de arroz recomendadas para o cultivo sob regime de irrigação, aumentam a suscetibilidade ao desgrane e a fissuras na medida em que o teor de água das sementes é reduzido naturalmente sob condições de campo. Além disso, apresentam consideráveis reduções na qualidade das sementes quando aumenta o período de permanência a campo após atingir o ponto de maturidade fisiológica. Durante a recepção de sementes de arroz, mantê-los úmidos na moega, sem aeração, por período superior a 24 horas, pode reduzir a qualidade e a conservabilidade no posterior armazenamento (Elias, 1998).

Chegando sujas e úmidas na unidade armazenadora o mais brevemente possível as sementes deverão ser submetidas à operação de pré-limpeza, realizada por equipamentos formados por peneiras e ventiladores, com o objetivo

de retirar as impurezas e/ou matérias estranhas das sementes, que acabam prejudicando rapidez, eficiência energética, homogeneidade e segurança da secagem (Biagi *et al.*, 2002; Elias, 2002a).

A qualidade deve ser buscada em todas as etapas do processo. Desta forma, há necessidade de incorporar toda a ciência e tecnologia de sementes, as ciências sociais e correlatas para melhorá-la, buscando sempre o controle preventivo onde se possa antecipar a ocorrência de problemas e resolvê-los em momento oportuno, porque após já não haverá formas de correção ou os custos serão maiores (Garay, 1996).

A qualidade da semente é o somatório de todos os atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que afetam a capacidade das sementes de originar plantas de alta produtividade (Popinigis, 1985).

A qualidade fisiológica das sementes influencia diretamente a população inicial das plantas, refletindo diretamente no rendimento da cultura. As normas e padrões para a produção de sementes do Estado do Rio Grande do Sul estabelecem germinação mínima de 80% (Rio Grande do Sul, 2000). Juntamente com a germinação, o fator que determina um rápido e uniforme estabelecimento da população de plântulas no campo é o vigor, sendo considerado o atributo de qualidade que melhor expressa o desempenho das sementes, que não é possível detectar pelo teste de germinação (Krzyszowski e França Neto, 1999).

A avaliação da qualidade das sementes deve ser realizada através do exame detalhado das amostras, mediante uma série de testes padronizados, para permitir maior grau de segurança na comparação dos resultados provenientes de diferentes amostras da mesma espécie e/ou cultivar (Marcos Filho *et al.*, 1987).

A viabilidade e o vigor são os principais parâmetros utilizados na avaliação da qualidade fisiológica das sementes. Sendo a viabilidade determinada, em primeiro lugar, pelo teste de germinação. Este teste se refere a capacidade das sementes originarem plântulas normais sob condições favoráveis, que garante a expressão de seu potencial. Por ser este teste realizado em condições ideais de laboratório, não possui a capacidade de estimar a emergência das plântulas a campo. Para determinar esta capacidade foram desenvolvidos os testes de vigor

que servem como indicadores para monitoramento da qualidade das sementes (Popinigis, 1985).

O vigor de sementes pode ser entendido como um conjunto de propriedades que determinam o estabelecimento rápido e uniforme das plântulas no campo, assim como o seu desenvolvimento, sob várias condições ambientais (Aosa, 1983).

A qualidade das sementes diminui com o passar do tempo e a taxa de deterioração depende das condições ambientais durante o armazenamento e do tempo em que estas ficarão armazenadas. A deterioração das sementes inclui uma série de processos envolvendo transformações degenerativas de natureza progressiva que começam a ocorrer, geralmente no campo, a partir da maturidade fisiológica e que, do ponto de vista prático, tem como consequência final a perda do poder germinativo (Baudet, 1996).

O primeiro componente da qualidade que mostra sinais de deterioração é o vigor das sementes, seguido de uma redução na germinação ou na produção de plântulas normais e, finalmente, na morte das sementes (Ferguson, 1995). Segundo este autor, o vigor das sementes se baseia no comportamento físico e fisiológico de um lote de sementes, sendo estes: 1) mudanças nos processos bioquímicos; 2) mudanças na taxa de uniformidade da germinação e crescimento das plântulas e 3) alterações na germinação das sementes e capacidade de emergência das plântulas a serem expostas a condições de estresse.

Dentre os inúmeros testes de vigor recomendados para as sementes de arroz, um utilizado com grande freqüência no Brasil é o teste de envelhecimento acelerado, de grande aplicabilidade na prática, embora apresente ainda, dificuldades na uniformização da sua metodologia, bem como na sua reprodutibilidade. Este teste consiste em submeter às sementes a condições adversas de alta temperatura (40-45°C) e umidade relativa do ar (100%), durante um período de tempo e, a seguir, avaliar a resposta através do teste de germinação (Krzyszowski e França Neto, 1999).

O teste de frio é outro teste também utilizado para avaliar a qualidade de lotes de sementes de arroz. Este teste, que inicialmente utilizava como substrato

areia, tem como princípio básico a exposição das sementes a condições adversas de baixa temperatura e umidade. A dificuldade de padronização do teste determinou o surgimento da metodologia alternativa de rolo de papel, a qual tem mostrado boa correlação com a emergência a campo (Krzyanowski e França Neto, 1999).

As alterações nos processos bioquímicos são, geralmente, as primeiras mudanças detectáveis que ocorrem durante a deterioração de um lote de sementes. Por isso, o teste de condutividade elétrica é considerado um bom teste de vigor, pois permite medir o nível de integridade das membranas celulares (Ferguson, 1995). Os solutos citoplasmáticos, liberados durante a embebição de sementes com membranas danificadas, possuem propriedades eletrolíticas, conduzindo cargas elétricas que podem ser medidas com um condutivímetro. Os valores de condutividade são relacionados com a desestruturação das membranas, cujos valores são correlacionados com a germinação e o vigor das sementes (Krzyanowski e França Neto, 1999).

### **2.3 Teor de água das sementes e higroscopidez**

As sementes contêm proporções variáveis de água e matéria seca. O teor de água exprime a relação da massa de água contida numa amostra, seja quanto à massa de matéria úmida ou total, seja quanto à massa de matéria seca (Peres, 2001).

A água participaativamente na formação da semente. Veiculam através dela, a partir das folhas e das raízes da planta, as soluções das substâncias nutritivas que, em processos bioquímicos complexos, vão se polimerizar em amido, lipídios e proteínas, durante a fase de maturação. Quando é atingida a maturidade fisiológica, a semente se torna independente do resto da planta e, segundo as características higrométricas do ar exterior, perde água mais ou menos rapidamente até o momento da colheita. As precipitações podem reumedecer as sementes já secas e o tempo frio e úmido pode bloquear a dessecção. Devido à água se prender às partículas do sistema bicoloidal das

sementes com diferentes níveis de energia, sua remoção é relativamente complexa.

De acordo com Lasseran (1978), a água da semente se encontra sob quatro “tipos” diferentes, em função da natureza das ligações físico-químicas existentes entre os componentes da matéria e as moléculas de água, correspondentes aos diferentes níveis de hidratação, ou seja, a molécula de água comporta-se na realidade como um “micro-imã”, com um pólo positivo e um negativo. O “primeiro tipo” é constituído por uma camada monomolecular de água ligada a certos grupamentos moleculares de matéria biológica fortemente polarizada, como o grupo de hidroxilos. A água do “segundo tipo” é representada por uma camada polimolecular de água, vindo fixar-se sobre a camada monomolecular precedente. Essas diferentes camadas moleculares, unidas à matéria por meio de ligações eletromagnéticas, chamadas de forças de Van der Waals, constituem a água pseudolíquida, não solvente, sem papel biológico e fortemente adsorvida. Esses dois primeiros tipos de água correspondem a níveis de hidratação relativamente baixos, de 0 a 13%, dependendo da temperatura e do grão, e não são retirados durante a operação de secagem, pois são biologicamente inertes. Já o “terceiro tipo” de água que se encontra nas sementes é constituída de água líquida sob tensão osmótica adsorvida, tem importante papel biológico, pode permitir as reações enzimáticas e o desenvolvimento de fungos. Essa água corresponde a níveis de hidratação que vão de 13 até cerca de 27% de umidade. Portanto, o teor de água que corresponde ao limite entre a água fortemente “adsorvida” (segundo tipo) e a “osmótica” (terceiro tipo) é o ponto de estabilização definitiva. É importante salientar que a água do terceiro tipo ou “osmótica” não representa dificuldade para ser evaporada, porém, em função da espessura da semente, a migração dessa água durante a secagem, no interior do endosperma, é causada por diferenças de pressão osmótica de célula para célula.

Em vista disso, a secagem defronta-se com um problema de difusão de água por ocasião da evaporação, principalmente dos últimos 10 pontos percentuais de umidade, já que as paredes celulares, semipermeáveis, constituem uma espécie de obstáculo ao escoamento da água. Por fim, o “quarto tipo” de

água, com níveis de hidratação acima de 27% de umidade, é constituído por água de impregnação, denominada por alguns autores como “água livre”, que facilmente se evapora por ocasião da secagem e geralmente é retida mecanicamente pelas paredes celulares do grão. Sua presença, junto com a água “osmótica”, igualmente solvete, torna as sementes totalmente inaptas para a conservação. Embora outros autores apresentem classificações um pouco diferentes, o entendimento dos fenômenos é o mesmo (Lasseran, 1978; Peres, 2001; Elias, 2002a).

A água está ligada de diferentes formas na estrutura orgânica das sementes: parte da água encontra-se aderida à superfície sólida, sendo denominada “água de adsorção”; outra porção, “água de absorção”, está retida por forças capilares nos interstícios do material sólido e, finalmente, há a “água de constituição” quimicamente ligada às moléculas das sementes, sendo parte integrante da estrutura celular (Puzzi, 2001 ; Park, 1988).

Para fins de secagem são considerados dois tipos de ligações das moléculas de água com a semente: a “água livre” (adsorvida e absorvida), que é facilmente removida pela secagem com um nível relativamente baixo de energia envolvido, e a “água de constituição”, que é fortemente ligada à estrutura celular do grão, exigindo um nível relativamente alto de energia para sua remoção, podendo ocasionar, no emprego de altas temperaturas, volatilização e decomposição de substâncias orgânicas (Biagi *et al.*, 2002). Na representação do grau de umidade, o resultado pode ser expresso em percentagem de água existente em relação ao peso total de sementes, denominada umidade em base úmida, ou em relação ao peso da matéria seca, denominada umidade em base seca. Já o conceito de grau de umidade tem origem no fato de as sementes serem constituídos de um complexo de substâncias sólidas, denominado de matéria seca, e de certa quantidade de água. O teor de água contido nas sementes é o principal fator que governa as qualidades do produto (Sasseron, 1980; Puzzi, 1986).

Hidroscopicidade das sementes é a propriedade que apresentam de trocar água entre si com o meio circundante (Elias, 2002b). Essa troca depende da

diferença entre as pressões de vapor da semente e do ar; caso seja nula, as sementes estarão em equilíbrio higroscópico; caso contrário haverá sorção (umedeecimento) ou dessorção (secagem) das sementes. Para cada umidade relativa do ar corresponde um teor de água na semente, denominado equilíbrio higroscópico, o qual pode ser obtido quando o ar e a semente estão na mesma temperatura, sendo possível estabelecer, para cada espécie, uma série de curvas isotérmicas e relações matemáticas que representam esse estado. Através delas é possível, então, desenvolver técnicas de condicionamento, ventilação e secagem de sementes (Lasseran, 1978).

Os fatores que interferem na higroscopicidade são o gradiente hídrico entre o ar e a semente, a temperatura do ar e a composição química da semente. Quanto maior for o teor de carboidrato e/ou proteínas das sementes, maior será sua higroscopicidade e maior será a umidade em que entrarão em equilíbrio higroscópico; entretanto, quanto maior for o teor de gordura, menor será sua higroscopicidade e menor será a umidade em que entrarão em equilíbrio (Hara, 2002). A umidade de equilíbrio ou equilíbrio higroscópico é o grau de umidade das sementes quando em equilíbrio com o ar que as envolve (Steffe e Singh, 1980). Esse valor depende da temperatura e da umidade relativa do ar, da variedade, do grau de maturidade, das condições prévias às quais a semente foi submetida e ainda se a semente sorve ou dessorve água para atingir o equilíbrio. A umidade de equilíbrio alcançada por dessorção é maior do que aquela obtida por sorção, cujo fenômeno é conhecido por histerese (Puzzi, 2001). O equilíbrio higroscópico da maioria das sementes pode ser atingido entre o quarto e o oitavo mês de armazenamento, sendo que as maiores variações de teor de água nas sementes podem ocorrer no primeiro quadrimestre (Lopes, 1999).

Através de função matemática, que grãos de arroz em casca, armazenados em ambiente com temperatura a 25°C e umidade relativa a 60%, apresentam umidade de equilíbrio próxima a 12,2% (Silva, 2000)

## 2.4 Princípios básicos de psicrometria

O ar em movimento durante a secagem ou o ar que envolve as sementes armazenadas determina as condições em que as mesmas ficarão no final do processo. O ramo da ciência que estuda as propriedades do ar, e em particular, a sua capacidade de conter água, se define como “psicrometria”, entretanto esse termo significa, mais exatamente, a medição da umidade do ar, que pode ser realizada através de um aparelho denominado psicrômetro, no mais comum das vezes constituído de dois termômetros, um com bulbo seco e outro com bulbo úmido (Milman, 2001).

Temperatura de bulbo seco é a temperatura indicada na escala de um termômetro comum em contato com o ar, e temperatura de bulbo úmido é a temperatura obtida por um termômetro cujas características devem ser semelhantes às do termômetro de bulbo seco, mas que esteja revestido por um tecido de algodão ou outro material higroscópico embebido em água destilada, ventilado, com o ar que se quer conhecer, a uma velocidade mínima de 5m.s<sup>-1</sup>. O conhecimento das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, lidas por meio de psicrômetros, permite determinar a umidade relativa do ar (Silva, 2000; Peres, 2001).

A temperatura do ponto de orvalho é a temperatura em que o ar úmido se torna saturado, ou seja, quando o vapor de água começa a condensar-se, por um processo de resfriamento, mantendo constantes a pressão e a razão de mistura até o ponto de orvalho. O vapor de água, como os gases componentes da atmosfera, exerce pressão em todas as direções, e seu valor depende da concentração de vapor. A quantidade de vapor que pode existir em uma determinada atmosfera é limitada para cada valor de temperatura, temperaturas mais elevadas permitem maior quantidade de vapor no ar do que temperaturas mais baixas. Se o ar contém o máximo de vapor de água para uma determinada temperatura, diz-se que o ar se encontra saturado e a pressão de vapor é de saturação, se a quantidade de vapor não for suficiente para saturar o ar, sua pressão é denominada parcial de vapor (Silva, 2000).

A razão de mistura é determinada pela relação entre massa de vapor d'água e massa de ar seco. Já umidade absoluta é a razão entre a massa de

vapor de água e o volume ocupado pelo ar úmido. A umidade relativa do ar, por sua vez, é determinada pela relação entre a pressão parcial de vapor, exercida por moléculas de água presentes no ar, e a pressão de saturação, em uma mesma temperatura, sendo expressa em percentagem, podendo ser calculada pela Equação 01 (Silva, 2000).

$$\%UR = \left[ \frac{pv}{pvs} \right] \times 100$$

**Legenda:**  
 %UR = Umidade relativa do ar;  
 pv (Pa) = Pressão parcial de vapor;  
 pvs (Pa) = Pressão de vapor de saturação.

**EQUAÇÃO 01 – Umidade relativa do ar em função da pressão de vapor do ar.**  
 Fonte: Silva (2000).

Sobre fórmulas e considerações psicrométricas descritas por Pereira e Queiróz (1986) foram aplicados relacionamentos, substituições e transformações matemáticas, as quais permitiram elaborar a Equação 02, que conforme adaptação feita por Boemeke (2000) possibilita a determinação da umidade relativa do ar ambiente, em função das suas temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido.

$$\%UR_{amb} = \frac{10 \left[ \frac{9,1466 - (\frac{2316}{tbuamb + 273})}{10} \right] - \frac{760}{755} \times \left( \frac{tbsamb - tbuamb}{2} \right)}{10 \left[ \frac{9,1466 - (\frac{2316}{tbsamb + 273})}{10} \right]} \times 100$$

**Legenda:**  
 %UR<sub>amb</sub> = Umidade relativa do ar ambiente;  
 tbsamb (°C) = Temperatura de bulbo seco do ar ambiente;  
 tbuamb (°C) = Temperatura de bulbo úmido do ar ambiente.

**EQUAÇÃO 02 – Umidade relativa do ar ambiente em função da temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido do ar ambiente.**  
 Fonte: Boemeke (2000).

O volume específico, segundo Silva (2000) corresponde ao volume ocupado por unidade de massa de ar seco, e a entalpia de uma mistura ar seco-

vapor d'água, como sendo a energia contida no ar úmido por unidade de massa de ar seco.

## 2.5 Secagem de sementes

Ainda que as variedades mais cultivadas atualmente no Rio Grande do Sul apresentem altas produtividades, são suscetíveis a fatores adversos do meio, que podem provocar redução na qualidade da semente, com consequências no armazenamento e/ou no cultivo das mesmas. À medida que avança o tempo pós-maturação, diminui a resistência das sementes ao ataque das pragas e dos microrganismos. A colheita, portanto, deve ser realizada no momento próprio e de forma adequada. Colheita realizada na faixa de umidade recomendada minimiza as perdas, mas requer uso da secagem artificial. Contudo, é importante realizar a colheita logo que houver condições, pois quanto mais tempo as sementes permanecerem expostas às intempéries, no campo, maiores serão as perdas, por ataque de pássaros, roedores, insetos e fungos (Elias, 2000).

Após a colheita, as sementes devem ser submetidas à operação de pré-limpeza antes da secagem. Pré-limpeza realizada eficientemente reduz os riscos de incêndio; facilita o movimento do ar e das sementes, permitindo uniformização da secagem; reduz custos, já que os materiais contaminantes não estarão presentes para serem secos, e diminui as fontes de inóculo de microrganismos e de pragas, cujas presenças são indesejáveis no beneficiamento, no armazenamento e na semeadura (Rombaldi, 1988; Elias, 2000).

A tecnologia de pós-colheita é um complemento para colocar os lotes de sementes dentro dos padrões de qualidade, e tem por objetivo manter a qualidade das sementes, desde o recebimento na unidade de beneficiamento de sementes, durante o armazenamento, até a sua distribuição (Baudet, 1996). O objetivo é manter a qualidade durante o período em que ficam armazenadas, visto que seu melhoramento não é possível mesmo sob condições ideais (Villela & Peres, 2004).

A finalidade da secagem é a remoção parcial de um líquido (geralmente água) da matéria sólida, por evaporação. Quando o calor necessário para evaporar a

água é fornecido ao material, ocorrem transferências simultâneas de calor e massa (Porto, 2001).

A secagem é um processo de transferência simultânea de calor e de massa, pois ao mesmo tempo em que o ar fornece calor ao sistema, ele absorve água do produto em forma de vapor. O gasto de energia térmica provocado pela evaporação da água é acompanhado por um resfriamento do ar, contudo, ele absorve em forma de vapor o que perdeu sob a forma de calor. As sementes, sendo higroscópicas, sofrem variações no seu teor de água de acordo com as condições do ambiente; portanto, quando entram em contato com o ar, realizam trocas até que suas pressão de vapor e temperatura tenham valores semelhantes, atingindo níveis de equilíbrio energético, hídrico e térmico. Enquanto a pressão de vapor do ar for menor do que a das sementes haverá secagem, e enquanto a temperatura do ar for maior do que a das sementes, esses sofrerão aquecimento. O aquecimento do ar de secagem, com as finalidades de diminuir sua umidade relativa e aumentar sua entalpia, e consequentemente, sua capacidade evaporativa, deve ser controlado, dentro de certos limites, em virtude dos danos físico-químicos e biológicos que pode causar às sementes (Elias, 2002a).

Métodos de secagem estão sendo cada vez mais estudados e cada um possui suas peculiaridades, apresentando vantagens e desvantagens, cabendo aos produtores e/ou as indústrias a adequação ao uso de acordo com as necessidades. Estudos mais aprofundados da secagem podem possibilitar diminuição nos custos da operação e manutenção da qualidade das sementes.

Quando a secagem é conduzida de forma adequada confere altos padrões de qualidade às sementes. Entretanto, o desconhecimento de processo pode induzir a resultados drásticos, levando lotes de alta qualidade inicial a serem descartados para fins de semeadura ou não alcançarem padrões de qualidade aceitáveis para serem comercializados como grãos (Lima, 1997).

Altas pressões de vapor podem causar danos irreversíveis nas sementes, pois a retirada muito acelerada da água causa desestruturação das camadas mais internas.

Para a obtenção de sementes de arroz com menor percentual de fissuras, no processo de remoção de água de 20 para 13%, Kunze (1979) constatou que a velocidade máxima de secagem não deve exceder a 1,5 pontos percentuais por hora.

Os danos térmicos em sementes promovem a ruptura em ligações peptídicas de proteínas e outros componentes celulares (Herter e Burris, 1989). Cultivares de arroz, cujas sementes apresentam maior teor de proteína, manifestaram maior resistência mecânica. Estes mesmos autores constataram a existência de uma correlação positiva entre o conteúdo protéico e o rendimento de grãos inteiros (Montañez, 1973).

Durante a secagem a maioria dos sistemas subcelulares das sementes pode ser danificada (Roberts, 1981), sendo a desorganização do sistema de membranas celulares, a primeira consequência do dano térmico (Daniel *et al.*, 1969). Reduções na qualidade fisiológica de sementes ocorrem, em geral, acompanhadas do aumento da liberação de solutos para o exterior das sementes no início da embebição, sugerindo mudanças degenerativas nas membranas celulares (Parrish e Leopold, 1978).

A maior condutividade elétrica dos exsudatos das sementes secadas a elevadas temperaturas comparadas com as secadas a baixas temperaturas, pode ser um indicativo da diminuição da capacidade seletiva das membranas, levando a crer que os danos térmicos podem ser atribuídos a mudanças dielétricas nas membranas celulares. Por outro lado a redução da integridade das membranas celulares seria apenas um dos fatores responsáveis pelo dano térmico, podendo a integridade física do pericarpo, por exemplo, afetar a condutividade térmica dos exsudatos liberados pelas sementes (Herter e Burris, 1989).

O armazenamento de sementes com alto teor de água pode ser a causa de grandes perdas de qualidade no armazenamento de sementes de arroz. Por esta razão a operação de secagem é de fundamental importância para que esta qualidade seja mantida.

Os métodos de secagem podem ser divididos em naturais, que utilizam a energia solar e eólica, e artificiais, que podem ser estacionário, contínuo,

intermitente ou seca-aeração. Os métodos naturais de secagem são dependentes de condições climáticas favoráveis, sobre as quais não se pode ter controle; por isso, são limitados e pouco utilizados (Elias, 2002a).

A secagem intermitente é caracterizada pela passagem descontínua do ar aquecido pela massa de sementes também em movimento, promovido pela recirculação das sementes no secador. Com isto, há difusão da água do interior para a periferia da semente, e a evaporação da água superficial ocorre de maneira mais branda e equilibrada. Neste processo, as sementes permanecem recirculando no interior do secador durante toda a operação e o seu contato com o ar aquecido se realiza de um modo descontínuo (Elias, 2003).

Os secadores intermitentes são constituídos de duas câmaras, uma de secagem, onde ocorrem as trocas de energia e de matéria durante o contato das sementes com o ar insuflado ou succionado, e uma câmara de equalização, onde as sementes passam sem contato com o ar de secagem. Na câmara de secagem o ar cede energia térmica, se resfria, e absorve, na forma de vapor, a água periférica que evapora da superfície da semente. Na câmara de equalização, o repouso permite que a água mais interna do arroz migre para a sua periferia, predominantemente por difusão (Elias, 2003).

De acordo com o modelo de secador (relação de volumes entre as câmaras de secagem e equalização); com o fluxo e a temperatura do ar de secagem; com o fluxo do arroz, e com a velocidade de secagem imprimida durante a operação, a relação entre o tempo de exposição do arroz ao ar aquecido e o tempo de repouso será maior ou menor (relação de intermitência), sendo encontradas, nas unidades de beneficiamento, relações bastante diversas, tipo 1:15, 1:10, 1:6 e 1:2, sendo classificados, por alguns autores, como secadores intermitentes rápidos ou intermitentes lentos (Elias, 2003).

Na secagem de sementes de trigo em secador intermitente, utilizando sete diferentes temperaturas do ar, compreendidas entre 40 e 100°C, obedecendo a incrementos constantes de 10°C, Rosa (1966) constatou que apenas as temperaturas de 90°C e 100°C causaram redução na qualidade das sementes, cujos efeitos só se manifestaram durante o período de armazenamento.

Entretanto, o mesmo autor, dando prosseguimento aos seus estudos e avaliando o comportamento de sementes de arroz, submetidas a temperaturas de ar de 60, 70, 80 e 90°C, verificou que ao empregar a temperatura do ar de secagem de 70°C, a massa de sementes atingiu 42,2°C, não apresentando redução significativa na germinação, enquanto que as duas últimas temperaturas causaram redução imediata na germinação das sementes.

Carvalho & Nakagawa (2000) relacionam a temperatura de secagem com o grau de umidade inicial em que a semente se encontra. Recomendam para sementes de arroz o uso de dois ou três estágios de temperaturas de secagem. O primeiro de até 32°C para umidades superiores a 18%; o segundo de até 38°C para umidades entre 10 e 18%; e o último, para umidades inferiores a 10%, a temperatura indicada é de até 43°C.

## 2.6 Armazenamento de sementes

O sistema de armazenagem convencional, das sementes de arroz, o sistema no qual as sementes são acondicionadas em uma unidade de embalagem definida, geralmente sacos de juta, algodão, nylon ou polipropileno trançado. Destaca que esse sistema possui como principal vantagem a conservação da identificação durante o tempo de estocagem, porém apresenta vários inconvenientes tais como: elevado preço da sacaria, movimentação altamente dispendiosa, elevada necessidade de mão-de-obra, exigência de muito espaço por unidade de peso e favorecimento da perda de qualidade das sementes, que por serem higroscópicos, ficam sujeitos às variações ambientais podendo absorver umidade. De acordo com o mesmo autor, as sementes são predispostas à deterioração de suas propriedades devido, entre outras, à respiração, umidade, condutividade e pressão. Por serem eles organismos vivos, ao respirarem absorvem oxigênio, liberando umidade, calor e gás carbônico (Peres, 2001).

Mesmo não tendo boa condutibilidade térmica, mas por serem organismos vivos, com estruturas intra e intergranular porosa e composição química que lhes confere higroscopicidade, as sementes de arroz estão em constantes trocas de

calor e de umidade com o ar ambiente, assim, pelo sistema convencional de armazenamento, são expostas aos efeitos das variações das características psicrométricas do ar ambiente (Elias,1998).

As condições do ambiente de armazenamento e as características das sementes armazenadas influenciam a qualidade final do produto. Portanto, um armazenamento seguro depende da qualidade das sementes desde a lavoura, evitando-se o ataque de insetos no campo, os atrasos da colheita e as ocorrências de danos mecânicos durante os processos envolvidos. Salienta ainda que independentemente do grau de tecnologia utilizado, a limpeza do local destinado ao armazenado é de fundamental importância (Silva , 2000).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Material**

O experimento foi conduzido na CAAL – Cooperativa Alegretense de Arroz localizada em Alegrete-RS e no Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas.

Foram utilizadas sementes de arroz (*Oryza sativa L.*) irrigado, classe fiscalizada, cultivar EL Paso L-144, colhidas na mesma área, na safra 2003/2004 na região oeste do Rio Grande do Sul.

A colheita foi realizada com colhedora automotriz, de ceifa e trilha, seguida de transporte ao local da instalação do experimento e pré-limpeza em máquina industrial de ar e peneiras.

A secagem foi realizada em secador industrial intermitente de bandejas, marca Pampeiro, fluxo misto, com capacidade estática de 11000 kg de arroz, relação de intermitência 1:6 e tempo de carga/descarga de 20 minutos, conforme o processo adotado pela Cooperativa, de forma que o mesmo não foi alterado durante a realização deste trabalho, aproveitando a operação normal de produção. Na figura 02 é apresentada uma fotografia do secador utilizado para as operações de secagem realizadas neste experimento.



Figura 01. Fotografia do secador utilizado no experimento marca Pampeiro, capacidade estática de 11000 kg.

As sementes foram armazenadas acondicionadas em embalagens de polipropileno traçado durante três períodos distintos: 0, 90 e 180 dias após a secagem das sementes.

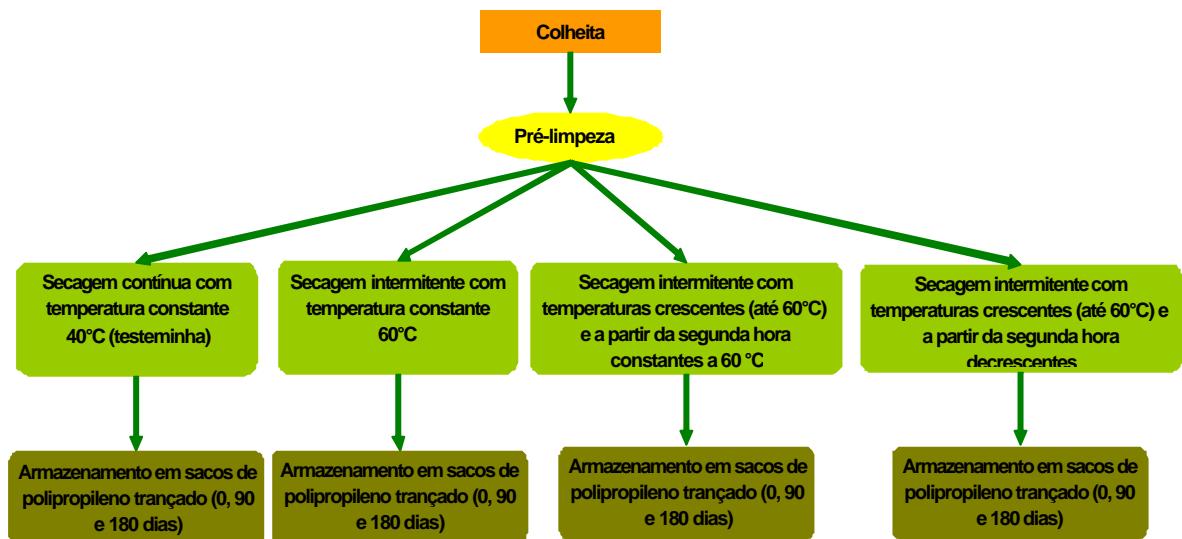
A cultivar Paso L-144 pertence ao grupo das cultivares modernas. É procedente do Uruguai e possui um ciclo biológico médio em torno de 125 dias, é resistente ao acamamento, possui uma boa produtividade média, é de degranação

natural mediana e tem bom vigor inicial. A El Paso L-144 apresenta bom comportamento frente às doenças fúngicas, sendo intermediária ao Brusone e as demais doenças de ordem econômica secundária. Quanto a toxidez por ferro é médio suscetível a altos teores deste elemento e é moderadamente sensível a ocorrência de baixas temperaturas. Os grãos possuem bom aspecto físico, pertencem a classe longo-fino e apresentam médio conteúdo de amilose (INIA, 2006).

### 3.2 Metodologia Operacional

#### 3.2.1 Operações unitárias

As operações unitárias, executados no experimento, na matéria-prima seguiram o roteiro do fluxograma apresentado na Figura 2.



**Figura 02.** Fluxograma das operações unitárias experimentais.

#### 3.2.2 Secagem

Após o recebimento, os lotes foram imediatamente submetidos à pré-limpeza em máquina de ar e peneiras (MAP) da marca Kepler Weber e após permaneceram em silo pulmão até que pudessem carregar o secador. Após foram submetidas à secagem intermitente com ar forçado e aquecido, em quatro tratamentos:

- 1)** secagem a temperatura do ar constante ( $40^{\circ}\text{C}$ );
- 2)** secagem com temperatura de condicionamento do ar constante ( $60^{\circ}\text{C}$ );
- 3)** secagem com temperaturas de condicionamento do ar crescentes (até  $60^{\circ}\text{C}$ ) nas primeiras duas horas de secagem e a partir da segunda hora constantes a  $60^{\circ}\text{C}$  até o término do processo;
- 4)** secagem com temperaturas de condicionamento do ar crescentes (até  $60^{\circ}\text{C}$ ) nas primeiras duas horas e decrescentes até o término da secagem.

Para o monitoramento das secagens, a cada vinte minutos, foram medidas:

- a) as temperaturas do bulbo seco e do bulbo úmido do ar ambiente, a temperatura do bulbo seco do ar de secagem, através de psicrômetro da marca Incoterm,  $50^{\circ}\text{C}$ , precisão de  $1^{\circ}\text{C}$ , instalado na unidade de beneficiamento de sementes, próximo ao secador;
- b) a temperatura do bulbo seco do ar de saída do secador;
- c) a temperatura da massa de sementes na câmara inferior e na descarga (ponto de carregamento do elevador) do secador, medida através de termômetro de mercúrio de  $100^{\circ}\text{C}$  da marca Incoterm, precisão de  $1^{\circ}\text{C}$ ;
- d) o grau de umidade, determinado durante a secagem, foi medido em aparelho universal de umidade calibrado pelo método oficial brasileiro em estufa a  $105\text{?}3^{\circ}\text{C}$  e a temperatura da massa de sementes, através de amostras de 500g colocadas em “potes de isopor” retiradas no instante em que foram realizadas as medições de temperatura.

### **3.2.3 Determinação da umidade relativa do ar**

Na determinação da umidade relativa do ar ambiente foram aplicados relacionamentos, substituições e transformações matemáticas, apresentadas por Boemeke (2000), às fórmulas e considerações psicrométricas descritas por Pereira & Queiróz (1986), conforme a Equação 02 do item 2.4. Da mesma forma, foram determinadas as umidades relativas do ar de secagem, obtida em função de suas temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido. A fórmula utilizada para essa determinação, se encontra apresentadas na Equação 03:

$$\%URsec = \frac{10 \left[ 9,1466 - \left( \frac{2316}{tbuamb + 273} \right) \right]}{10 \left[ 9,1466 - \left( \frac{2316}{tbssec + 273} \right) \right]} - \frac{760}{755} \times \left( \frac{tbsamb - tbuamb}{2} \right) \times 100$$

**Equação 03 – Umidade Relativa do ar de secagem (%URsec) em função da temperatura de bulbo seco (tbsamb) e de bulbo úmido do ar ambiente (tbuamb), e de bulbo seco do ar de secagem (tbssec).**

### 3.2.4 Medição do tempo de secagem

O tempo necessário para as secagens foi medido em minutos, através de relógio digital, a partir do momento em que o secador completamente carregado teve seu sistema elétrico de secagem ligado e a sua fornalha acesa, sendo finalizado quando os graus de umidade das sementes atingiram percentuais próximos a 13,5.

### 3.2.5 Armazenamento das sementes

As sementes provenientes dos quatro tratamentos de secagem estudados foram armazenadas em pilhas de 220 sacos cada, sob condições ambientais, em armazém convencional, em embalagens de polipropileno trançado de 50 kg por três períodos distintos: 0, 90 e 180 dias após a secagem.

A amostragem foi realizada com a utilização de calador e no número de amostras simples necessárias para garantir que a amostra fosse representativa do lote (22 amostras simples). A amostra composta foi aproximadamente 3 kg de sementes.

As amostras correspondentes ao tempo inicial de armazenamento foram mantidas em câmara fria e seca (para a superação da dormência de pós-colheita) e suas respectivas avaliações foram realizadas 90 dias após a secagem.

As amostras correspondentes ao período de 90 dias de armazenamento foram mantidas em câmara fria e seca por 90 dias antes da realização do teste de emergência a campo.

As amostras provenientes dos tempos 90 e 180 dias após a secagem foram armazenadas sob condições ambientais, de Alegrete – RS, até completarem seus respectivos períodos de avaliação (quando foram enviadas para o Departamento

de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas).

Logo após o término do período de armazenamento, as amostras foram submetidas às análises, com o objetivo de verificar danos imediatos e latentes, nas quais foram avaliados o grau de umidade, desempenho industrial, germinação, teste de frio, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e emergência a campo.

### **3.2.6 Avaliação da qualidade das sementes**

#### **3.2.6.1 Determinação do grau de umidade**

As determinações do grau de umidade, durante o armazenamento, foram realizadas através do método da estufa a 105?3°C, conforme as RAS (BRASIL, 1992). Os resultados foram expressos em percentual em base úmida.

#### **3.2.6.2 Desempenho industrial**

As amostras de arroz foram submetidas ao descascamento em engenho de provas Suzuki, previamente regulado para a cultivar, de forma que aproximadamente 95% das sementes sejam descascadas na primeira passagem. As sementes, que não tiveram sua casca removida na primeira passagem, foram separadas e levadas novamente ao descascador.

O polimento também foi realizado no engenho de provas Suzuki, com permanência das amostras descascadas por dois minutos no brunidor.

O material descascado e polido ainda passou pela seleção de inteiros e quebrados, realizada em trieur (camisa nº 02) acoplado a um motor elétrico, onde as amostras permaneceram por um minuto e trinta segundos.

#### **3.2.6.3 Teste de germinação**

Os testes de germinação foram realizados conforme as RAS (Brasil, 1992). Foi utilizado substrato de papel toalha umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco. O germinador foi regulado à temperatura constante de 25°C e as avaliações foram realizadas aos 7 a aos 14

dias após a semeadura e os resultados, expressos em percentagem de plântulas normais.

#### **3.2.6.4 Teste de frio sem solo**

As sementes foram semeadas de forma similar às submetidas ao teste de germinação. Os rolos foram colocados em sacos plásticos e mantidos durante sete dias em câmara na temperatura de 10°C. Após este período, os rolos foram levados a um germinador regulado à temperatura de 25°C, permanecendo durante sete dias. Decorrido este período foi realizada a contagem e os resultados foram expressos em percentual de plântulas normais.

#### **3.2.6.5 Teste de envelhecimento acelerado**

Foi realizado em caixas gerbox adaptadas (que funcionam como mini-câmaras de envelhecimento), com interior contendo uma bandeja com tela onde foram distribuídas 400 sementes. No interior da mini-câmara foi acondicionado 40 ml de água destilada e após a vedação as mini-câmaras foram mantidas a 42°C, durante 96 horas. Findo o período de envelhecimento, as sementes foram submetidas ao teste de germinação (descrito no item 3.2.5.3). A avaliação foi realizada sete dias após o período de estresse e os resultados, expressos em percentagem de plântulas normais.

#### **3.2.6.6 Teste de condutividade elétrica**

Foi conduzido conforme as recomendações da ISTA (1995). As amostras foram pesadas em uma balança e a seguir colocadas em um copo plástico contendo 75ml de água deionizada. Após foram agitadas levemente para garantir que todas fossem completamente submersas e então mantidas em uma sala a temperatura constante de 25°C por 24 horas. Após este período foi feita a leitura da condutividade elétrica da água, em condutivímetro modelo Digimed MD-31 e os resultados foram expressos em  $\text{mhos cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  de semente.

### **3.2.6.7 Teste de emergência a campo**

A semeadura foi realizada no município de Jaguarão, Rio Grande do Sul, 180 dias após a secagem das sementes (sendo que para a avaliação dos períodos de 0 e 90 dias após a secagem, as amostras ficaram armazenadas em câmara fria e seca aguardando o período adequado, ideal para a realização deste teste), sendo utilizadas quatro repetições de 50 sementes. Na semeadura foram utilizadas distâncias entre as sementes na linha de 2 cm e entre linhas de 8 cm a 3 cm de profundidade. A contagem foi realizada aos 21 dias após a semeadura e os resultados expressos em percentagem de plântulas emergidas.

### **3.3 Delineamento experimental**

Antes das análises, os resultados do teste de germinação, primeira contagem da germinação, envelhecimento acelerado, teste de frio e emergência a campo, sofreram a transformação para arco seno da raiz quadrada do %/100. Para facilitar a interpretação dos parâmetros avaliados, os resultados foram apresentados por médias dos valores originais.

As variáveis avaliadas após a secagem grau de umidade, condutividade elétrica, germinação, teste de frio, envelhecimento acelerado, emergência a campo, desempenho industrial, grau de umidade e incidência fúngica foram submetidas à análise da variância segundo o delineamento experimental inteiramente casualizado, cujas comparações das médias foram realizadas através do teste Tukey, a 5% de significância, em esquema fatorial 4 x 3 (manejos da temperatura do ar de secagem e tempos de armazenamento).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

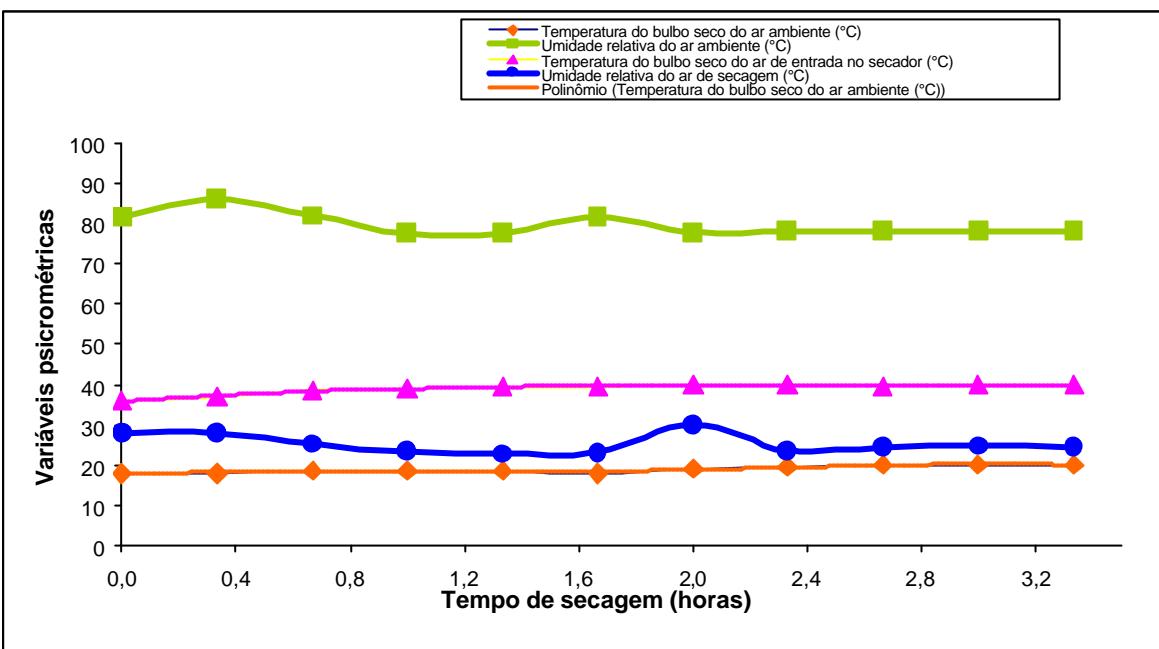
### **4.1 Parâmetros operacionais das secagens**

#### **4.1.1 Secagem a temperatura do ar constante**

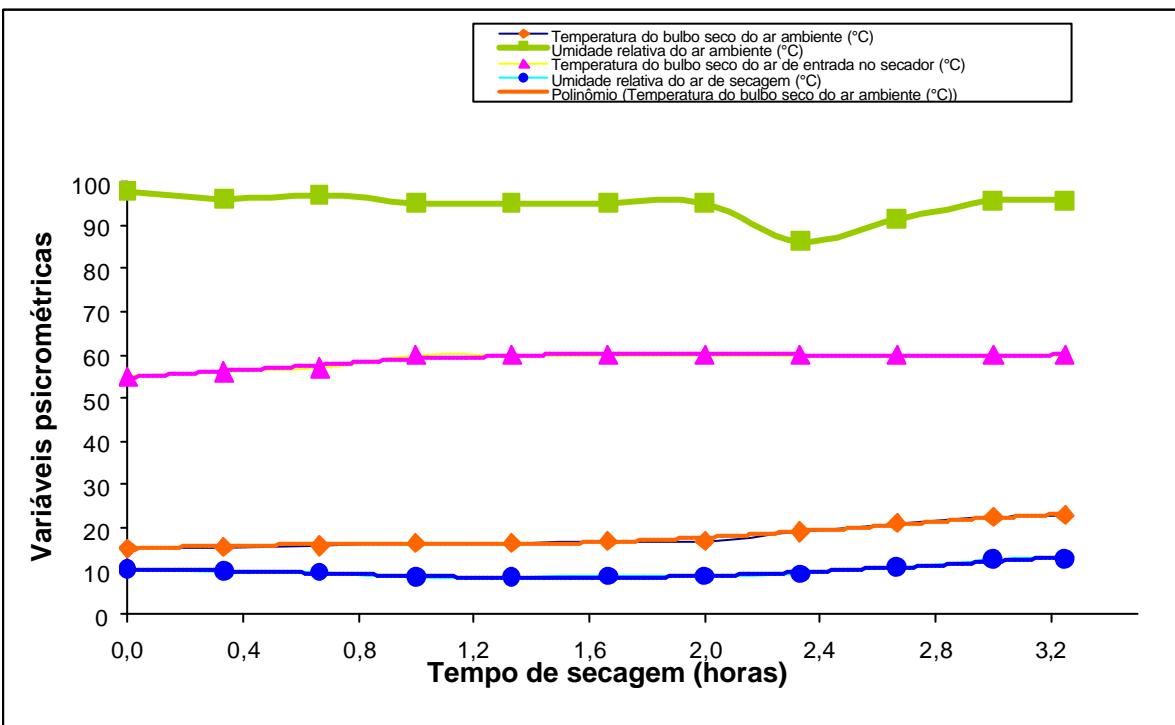
##### **4.1.1.1 Variáveis psicrométricas**

Nas Figuras 03 e 04 são apresentadas as curvas que representam as condições psicrométricas do ar ambiente e do ar aquecido para a secagem na entrada do secador, resultantes das secagens com temperaturas do ar de secagem constante a 40°C e 60°C, respectivamente.

A análise conjunta das curvas apresentadas nas Figuras 03 e 04, indica comportamentos simétricos entre a umidade relativa do ar ambiente e a do ar de entrada no secador (ar de secagem), fato ocorrido por consequência da interação entre elevação constante da temperatura de entrada no secador e a umidade relativa do ar ambiente.



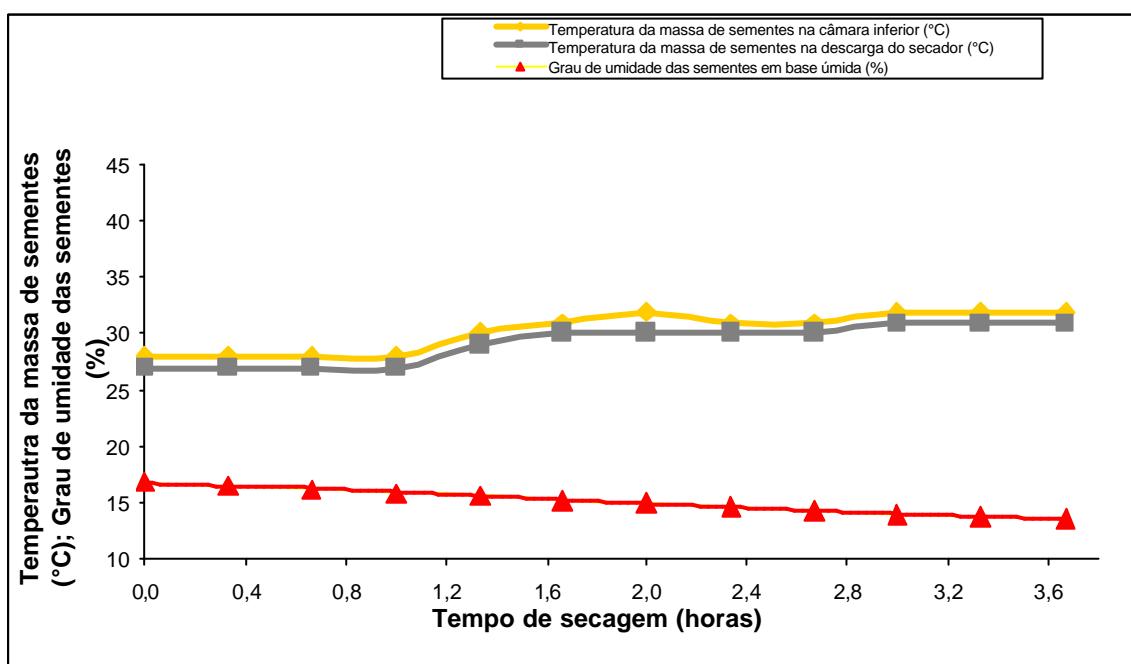
**Figura 03.** Condições do ar ambiente e ar de secagem no decorrer da secagem de sementes de arroz da cultivar El Paso L-144, com temperaturas do ar de secagem constantes a 40°C.



**Figura 04.** Condições do ar ambiente e ar de secagem no decorrer da secagem de sementes de arroz da cultivar El Paso L-144, com temperaturas do ar de secagem constantes a 60°C.

#### 4.1.1.2 Temperatura e grau de umidade na massa de sementes

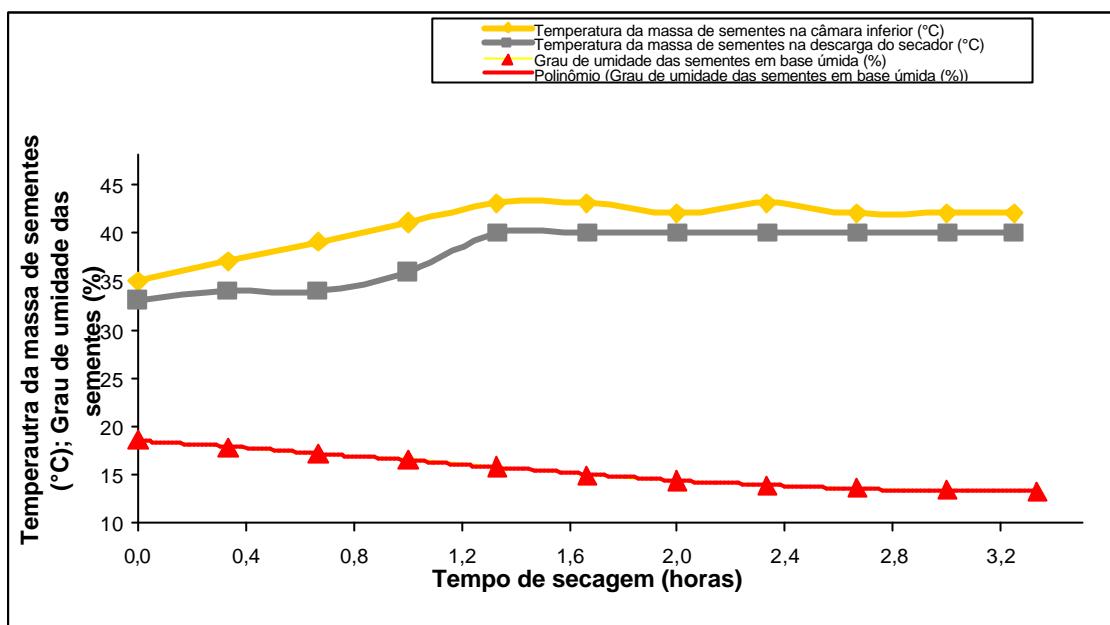
Nas Figuras 05 e 06 são apresentadas as curvas que representam o acompanhamento das temperaturas e graus de umidade das sementes correspondentes a secagem com temperatura do ar constante a 40°C e 50°C, respectivamente. As temperaturas apresentadas foram medidas em amostras de sementes coletadas na câmara inferior e na descarga do secador. Os graus de umidade apresentadas são oriundos de amostras retiradas na descarga do secador.



**Figura 05.** Monitoramento das temperaturas na câmara inferior, na descarga do secador e grau umidade das sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, no decorrer da secagem com temperaturas do ar de secagem constantes a 40°C.

Os resultados apresentados nas Figuras 05 e 06 demonstram similaridade entre as temperaturas registradas na câmara inferior e na descarga do secador, sendo que na descarga os valores registrados foram em média 2 pontos percentuais menores. Analisando os comportamentos exibidos verifica-se que a temperatura da massa de sementes aumenta no início da secagem, tendendo a estabilização no decorrer do tempo de secagem e ao aumento nos estágios finais

do processo de secagem. Isto se deve ao fato de que no final do processo de secagem a quantidade de água a ser evaporada se torna menor, e desta forma acarreta na elevação dos gradientes térmicos e hídricos entre a superfície e o interior da semente (Motta *et al.*, 1999; Vilella e Peske, 1996).

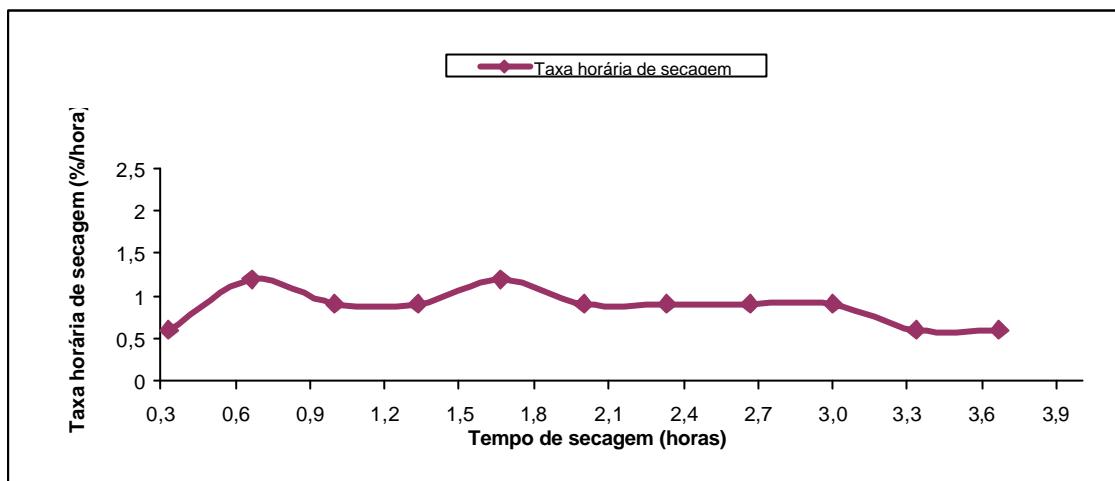


**Figura 06.** Monitoramento das temperaturas na câmara inferior, na descarga do secador e grau umidade das sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, no decorrer da secagem com temperaturas do ar de secagem constantes a 60°C.

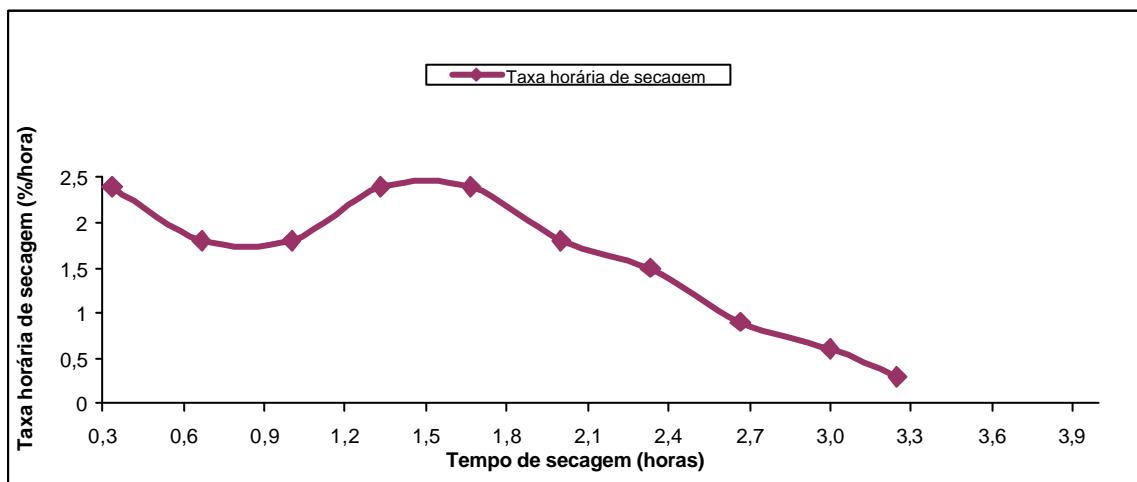
As curvas, que representam o monitoramento dos graus de umidade das sementes, apresentaram comportamento oposto ao da temperatura da massa de sementes, ocorrendo maior redução no início da secagem. Este comportamento ocorre porque o processo de secagem é composto por duas etapas hidrotérmicas distintas e complementares que incluem a difusão da água do interior da semente para a sua superfície e a evaporação da água periférica, sendo a primeira de característica endotérmica e a segunda isoentálpica, ocorrendo então, os fenômenos de transferência de calor e massa, de acordo com os princípios da termodinâmica (Santos, 2004).

#### 4.1.1.3 Taxa horária de secagem

A taxa horária é calculada pela variação horária do grau de umidade (base úmida) da massa de sementes expressa em pontos percentuais por hora. Nas Figuras 07 e 08 são apresentadas as curvas que representam as taxas horárias observadas nas sementes submetidas à secagem com temperatura do ar constantes a 40°C e 60°C, respectivamente.



**Figura 07.** Taxa horária observada no decorrer da secagem de sementes de arroz da cultivar El Paso L-144, com temperaturas do ar de secagem constantes a 40°C.



**Figura 08.** Taxa horária observada no decorrer da secagem de sementes de arroz da cultivar El Paso L-144, com temperaturas do ar de secagem constantes a 60°C.

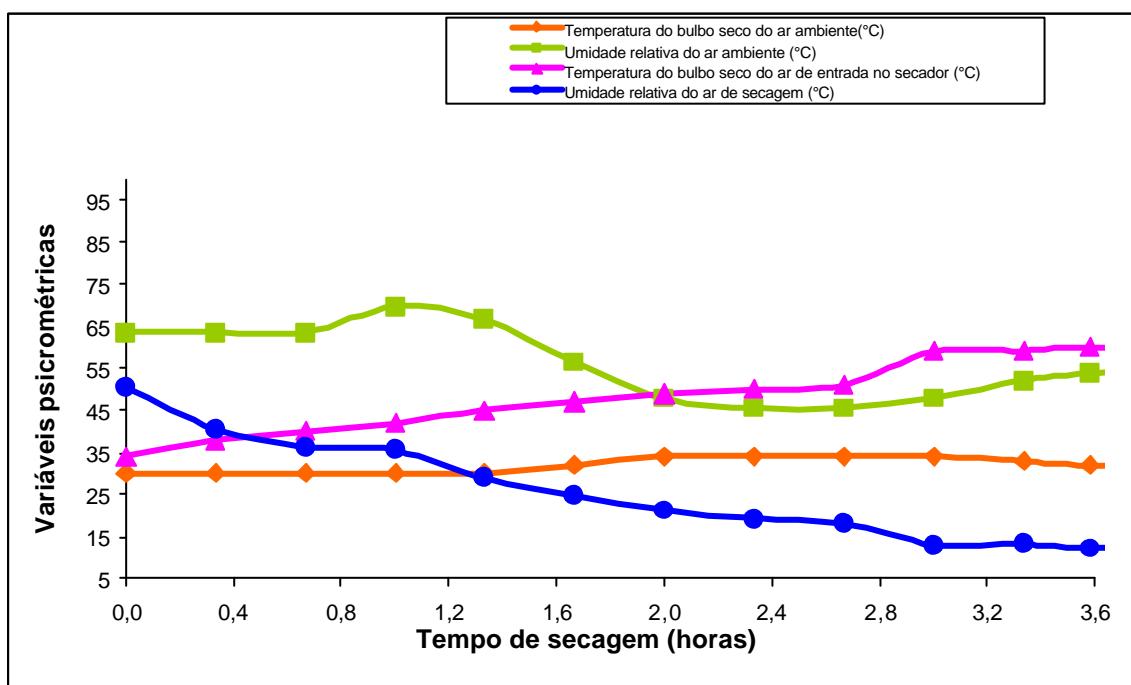
Os resultados apresentados na Figuras 07 e 08 demonstram que as taxas horárias de secagem foram maiores nas primeiras duas horas e a partir deste

momento foram decrescendo conforme a redução do grau de umidade da massa de sementes. Essas observações correspondem ao comportamento hidrotérmico típico da difusão de água em operações de secagem, e estão de acordo com a literatura especializada (Puzzi, 1986; Elias, 2002a; Santos, 2004).

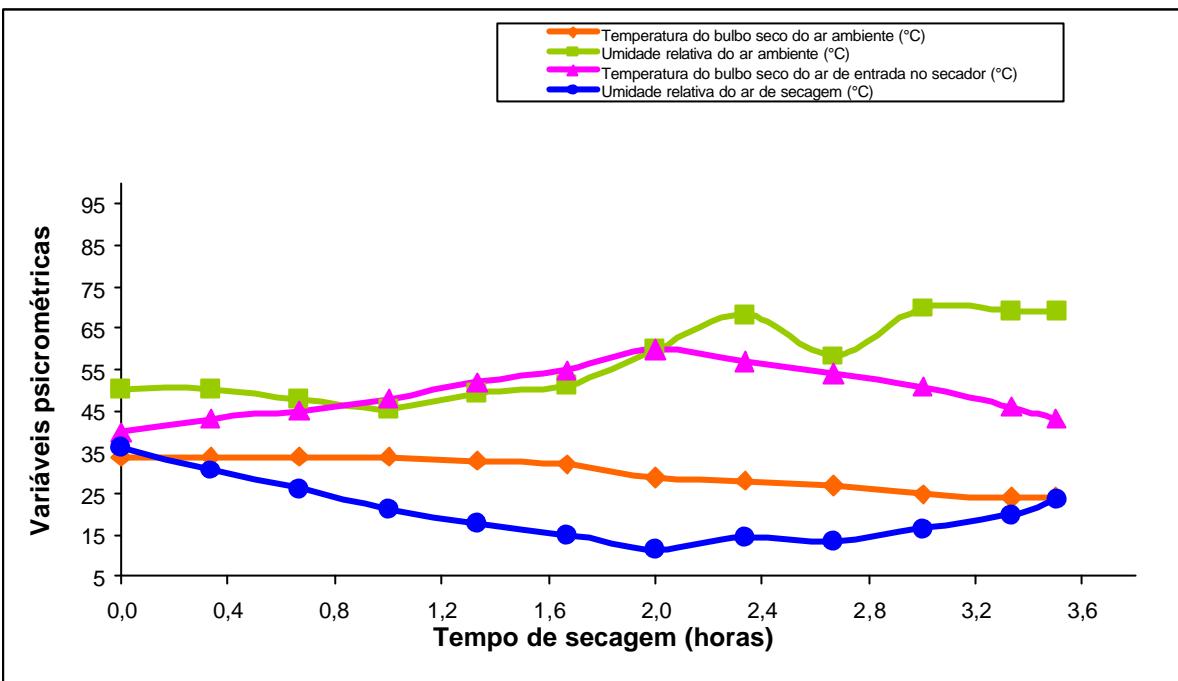
#### 4.1.2 Secagem com temperaturas do ar variáveis

##### 4.1.2.1 Variáveis psicrométricas

Nas Figuras 09 e 10 são apresentadas as curvas que representam as condições psicrométricas do ar ambiente e do ar aquecido para a secagem na entrada do secador, resultantes dos tratamentos com temperaturas do ar crescentes (até 60°C) nas primeiras duas horas de secagem e a partir da segunda hora constantes a 60°C e crescentes (até 60°C) nas primeiras duas horas de secagem e decrescentes até o término da operação.



**Figura 09.** Condições do ar ambiente e ar de secagem no decorrer da secagem de sementes de arroz da cultivar El Paso L-144, com temperaturas do ar de secagem crescentes (até 60°C) nas primeiras duas horas de secagem e a partir da segunda hora constantes a 60°C.



**Figura 10.** Condições do ar ambiente e ar de secagem no decorrer da secagem de sementes de arroz da cultivar El Paso L-144, com temperaturas do ar de secagem crescentes (até 60°C) nas primeiras duas horas de secagem e decrescentes até o término da operação.

Os resultados apresentados nas Figuras 09 e 10 indicam que as secagens com temperaturas do ar variáveis permaneceram dentro das faixas pré-estabelecidas para essas operações.

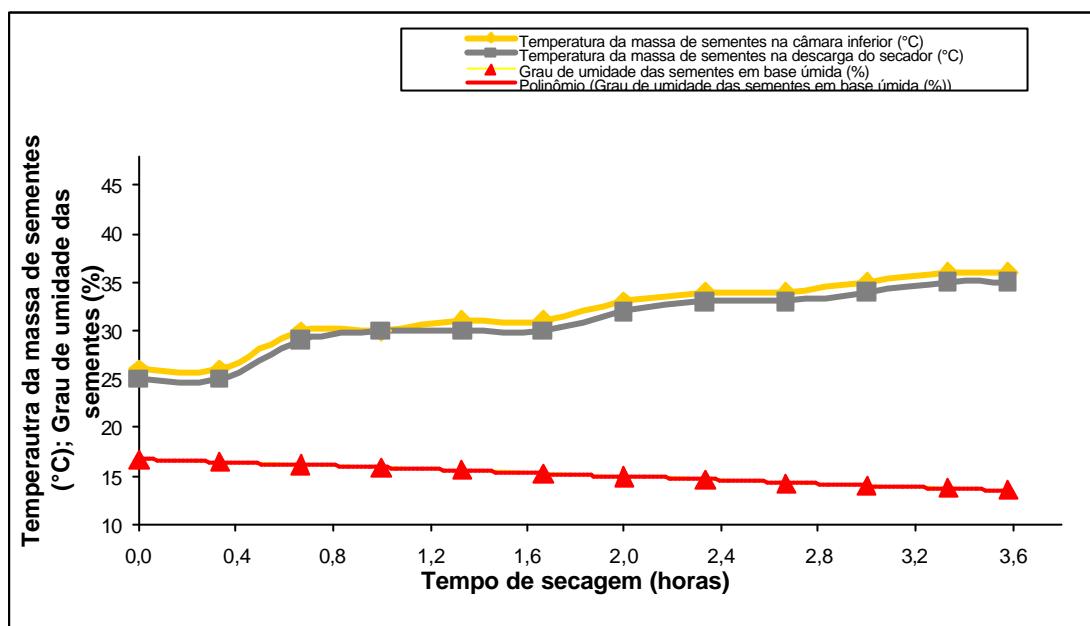
A Figura 10 permite constatar que embora tenha ocorrido aumento nos valores de umidade relativa do ar ambiente, ocorreu diminuição gradual da umidade relativa do ar de secagem, sendo este fato devido ao aumento gradual da temperatura de secagem.

Os resultados apresentados nas curvas, apresentados na Figura 10, permitem verificar que houve aumento gradual na umidade relativa do ar de entrada do secador, este fato se deve a interação da diminuição da temperatura do ar de entrada no secador e do aumento da umidade relativa do ar ambiente.

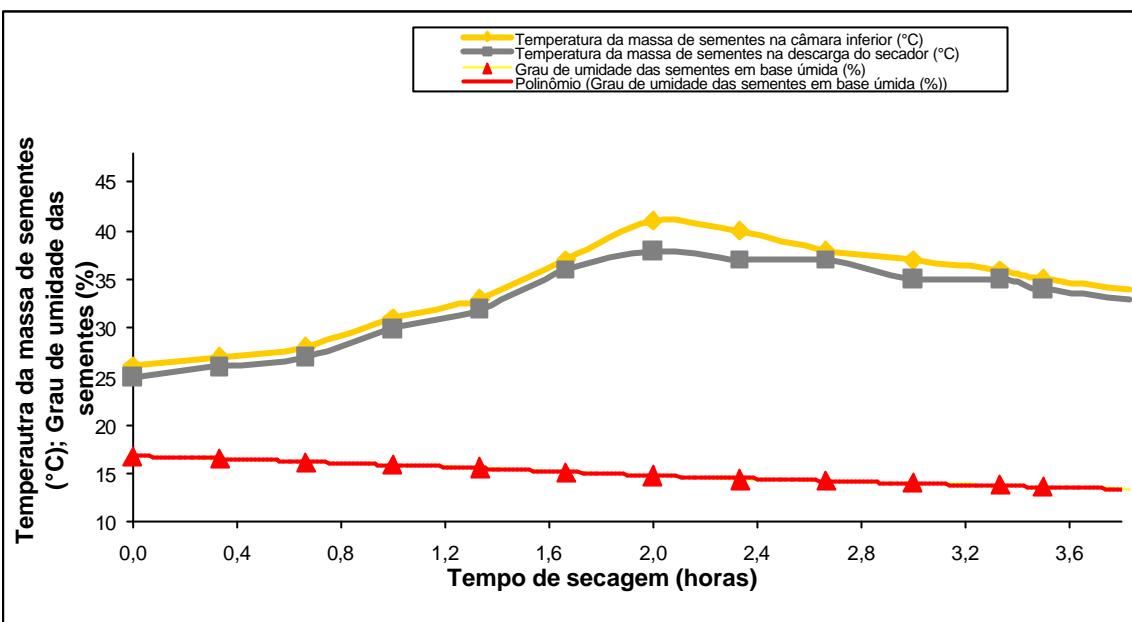
#### 4.1.2.2 Temperatura e grau de umidade da massa de sementes

Nas Figuras 11 e 12 são apresentadas as curvas representativas das temperaturas e graus de umidade das sementes resultantes das secagens com

temperaturas do ar crescentes (até 60°C) nas primeiras duas horas de secagem e a partir da segunda hora constantes a 60°C e crescentes (até 60°C) nas primeiras duas horas e decrescentes até o término da secagem. As temperaturas apresentadas foram medidas em amostras de sementes coletadas na câmara inferior e na descarga do secador. Os graus de umidade apresentados são oriundos de amostras retiradas na descarga do secador.



**Figura 11.** Monitoramento das temperaturas na câmara inferior, na descarga do secador e grau umidade das sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, no decorrer da secagem com temperaturas do ar crescentes (até 60°C) nas primeiras duas horas de secagem e a partir da segunda hora constantes a 60°C.



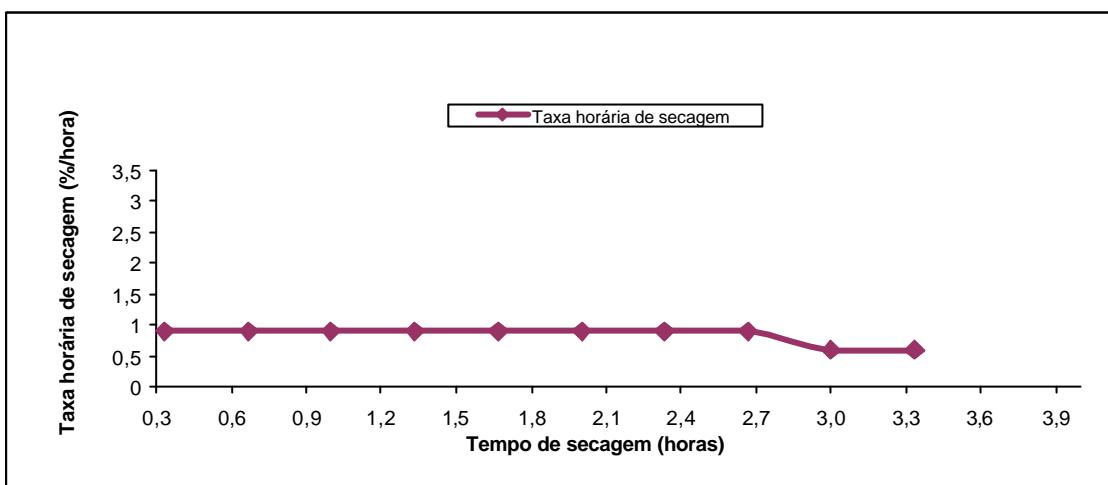
**Figura 12.** Monitoramento das temperaturas na câmara inferior, na descarga do secador e grau umidade das sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, no decorrer da secagem com temperaturas do ar crescentes (até 60°C) nas primeiras duas horas de secagem e decrescentes até o término da operação.

Os resultados apresentados nas Figuras 11 e 12 demonstram similaridade entre as temperaturas registradas na câmara inferior e na descarga do secador, sendo que na descarga os valores registrados foram em média 2 pontos percentuais menores.

Os resultados apresentados na Figura 11 demonstram que os valores das temperaturas da massa de sementes cresceram gradualmente nas primeiras duas horas de secagem e apresentaram tendência de estabilização a partir deste período. Já através dos resultados apresentados, na Figura 12, verifica-se que a temperatura da massa de sementes sofre um aumento nos estágios iniciais e um decréscimo a partir da segunda hora do processo de secagem. Isto se deve aos parâmetros pré-estabelecidos na metodologia descrita neste trabalho.

#### 4.1.2.3 Taxa horária de secagem

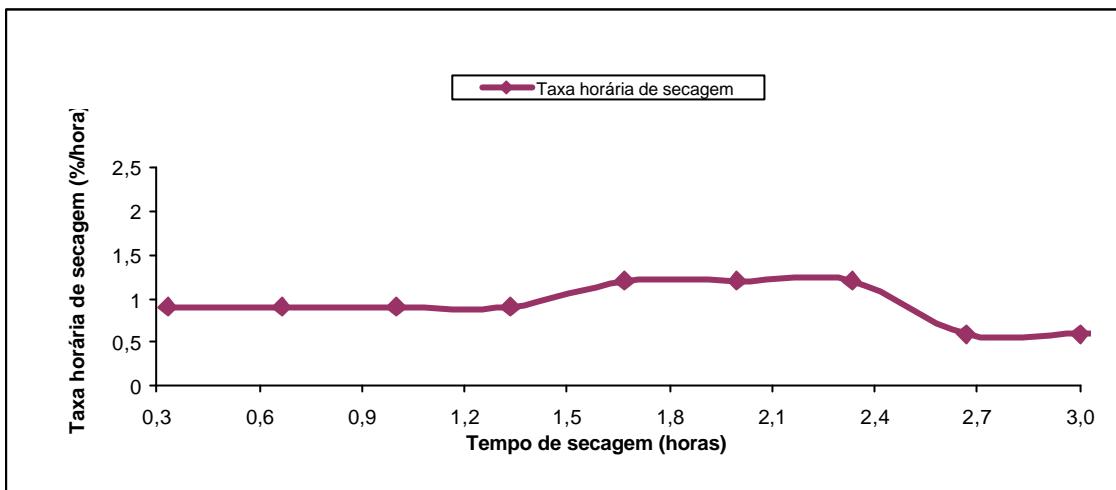
Nas Figuras 13 e 14 são apresentadas as curvas que representam as taxas horárias observadas nas sementes submetidas temperaturas do ar crescentes (até 60°C) nas primeiras duas horas de secagem e a partir da segunda hora constante a 60°C e crescentes (até 60°C) nas primeiras duas horas de secagem e decrescentes até o término da operação.



**Figura 13.** Taxa horária observada no decorrer da secagem de sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, com temperaturas do ar crescentes (até 60°C) nas primeiras duas horas de secagem e a partir da segunda hora constantes a 60°C.

Através dos resultados apresentados na Figura 13 é possível verificar que as taxas horárias apresentaram maior estabilização no decorrer da operação secagem quando comparados com o tratamento representado na Figura 08. Estes resultados indicam a menor variabilidade na taxa horária no decorrer do processo ocasionado pelo acréscimo gradual da temperatura de secagem.

Os valores apresentados na Figura 14 indicam a tendência de diminuição da taxa horária de secagem a partir da segunda hora. Essas observações correspondem ao comportamento hidrotérmico típico da difusão de água em operações de secagem, associado ao manejo da temperatura do ar de secagem adotado.



**Figura 14.** Taxa horária observada no decorrer da secagem de sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, com temperaturas do ar crescentes (até 60°C) nas primeiras três horas de secagem e decrescentes o término da operação.

## 4.2 Efeitos do manejo da temperatura do ar de secagem na qualidade das sementes

### 4.2.1 Parâmetros de qualidade física

Na Tabela 01, são apresentados os graus de umidade das sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, submetidas à secagem intermitente, sob quatro manejos da temperatura do ar de secagem e armazenadas, em sacos de polipropileno trançado, durante 180 dias, nas condições ambientais de Alegrete – RS.

Através dos resultados apresentados na Tabela 01, é possível constatar que todos os manejos do ar de secagem das sementes foram eficientes, proporcionando que todas as amostras ficassem com aproximadamente de 13,5% de graus de umidade, valor indicado para o armazenamento de sementes de arroz (Baudet, 1996).

Observa-se que as sementes, provenientes dos quatro manejos da temperatura do ar de secagem, continuaram perdendo pontos percentuais de água, confirmando a tendência ao equilíbrio higroscópico com o ambiente em que

foram armazenadas. O caráter dinâmico do equilíbrio higroscópico provoca ligeiras variações nos teores de umidade durante o armazenamento (Santos, 2004).

O rendimento de grãos de arroz, segundo a portaria 269 do MAPA (Brasil, 1988), expresso pelos percentuais de grão inteiros e grãos quebrados, resultantes do beneficiamento dos grãos em casca, refletem diretamente o teor de fissuras. Em sementes de arroz, as fissuras podem ocasionar alterações na qualidade fisiológica, pois podem, além de danificar o embrião, dificultar a translocação das reservas, do endosperma para o embrião, necessária para o processo de germinação.

**Tabela 01.** Graus de umidade (%), em sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, submetidas a quatro manejos da temperatura do ar de secagem, sob três períodos de armazenamento.

Manejo na temperatura do ar de secagem	Dias de armazenamento		
	0	90	180
1) 40°C constante	13,6 a	13,3 a	13,1 a
2) 60°C constante	13,2 c	13,0 b	12,9 b
3) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e constantes a 60°C até o término da secagem	13,6 a	13,3 a	13,0 a
4) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e decrescentes até o término da secagem	13,4 b	13,1 b	12,9 b

Letras minúsculas distintas na mesma coluna, correspondem a diferenças significativas, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Na Tabela 02, são apresentados os resultados dos rendimentos de grãos inteiros, para cada secagem, em cada tempo de armazenamento.

Os resultados apresentados na Tabela 02 mostram que independentemente do manejo de secagem utilizado.

Observa-se que o manejo da temperatura do ar de secagem em que foi utilizada a temperatura de 40°C constante foi o que apresentou maiores valores de rendimento de grãos inteiros em relação aos demais.

O manejo em que foram utilizadas a temperaturas constantes a 60°C foi o que apresentou os menores índices de rendimento de grãos inteiros. Esses resultados são compatíveis com os encontrados em literatura especializada, os quais indicam que o aquecimento excessivo das sementes durante a secagem pode provocar fissuras, sendo a extensão destas, dependente da temperatura, tempo de exposição e grau de umidade das sementes (Nellist e Hughes, 1973). A temperatura da massa de sementes tende a aumentar nos estágios finais do processo de secagem quando a quantidade de água a ser evaporada torna-se menor, elevando os gradientes térmico e hídrico entre a superfície e o interior da semente, tornando-se mais suscetível ao fissuramento e, em consequência, a determinar maior percentual de quebra no beneficiamento (Villela e Peske, 1996).

**Tabela 02.** Rendimento de grãos inteiros (%), em sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, submetidas a quatro manejos da temperatura do ar de secagem, sob três períodos de armazenamento.

Manejo na temperatura do ar de secagem	Dias de armazenamento		
	0	90	180
1) 40°C constante	61,59 a	61,61 a	61,22 a
2) 60°C constante	58,89 b	59,01 d	58,05 c
3) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e constantes a 60°C até o término da secagem	60,97 a	61,03 b	60,88 b
4) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e decrescentes até o término da secagem	60,16 a	60,12 b	60,15 b

Letras minúsculas distintas na mesma coluna, correspondem a diferenças significativas, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Ambos os manejos da temperatura do ar de secagem em que foram utilizadas temperaturas crescentes do ar de secagem apresentaram valores absolutos intermediários, em relação aos demais manejos utilizados, a partir dos 90 dias de armazenamento.

#### **4.2.2 Parâmetros da qualidade fisiológica das sementes**

Na Tabela 03, são apresentados os percentuais de germinação das sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, submetidas à secagem intermitente, sob quatro manejos da temperatura do ar de secagem e armazenadas, em sacos de polipropileno trançado, durante 180, nas condições ambientais de Alegrete – RS.

**Tabela 03.** Germinação (%), em sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, submetidas a quatro manejos da temperatura do ar de secagem, sob três períodos de armazenamento.

Manejo na temperatura do ar de secagem	Dias de armazenamento		
	0	90	180
1) 40°C constante	98 a	96 a	95 a
2) 60°C constante	97 b	88 b	83 b
3) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e constantes a 60°C até o término da secagem	98 a	95 a	93 a
4) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e decrescentes até o término da secagem	97 a	94 b	93 a

Letras minúsculas distintas na mesma coluna, correspondem a diferenças significativas, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Verifica-se na Tabela 03, que não houve diferença significativa entre os manejos da temperatura do ar de secagem antes do armazenamento, com exceção ao que se utilizou a temperatura constante a 60°C. Esses dados evidenciam que esses manejos não apresentaram efeitos imediatos no percentual de germinação das sementes.

Os resultados, apresentados na Tabela 03, permitem constatar que o manejo de secagem em que foi utilizada temperatura do ar constante a 60°C ocasionou os menores percentuais de germinação imediatamente durante todo o período de armazenamento.

Através da análise dos valores absolutos apresentados ao longo do período de armazenamento observa-se, de uma maneira geral, redução da germinação e mesmo no final dos 180 dias todos os resultados foram superiores a 80%.

É possível observar, através da análise dos valores absolutos apresentados, que houve redução do poder germinativo no decorrer do armazenamento para todos os manejos, da temperatura do ar de secagem testados, porém em diferentes intensidades. A secagem com temperatura do ar constante a 60°C apresentou os menores percentuais de germinação no final do armazenamento. Esse fato pode ser explicado por este manejo ter utilizado as maiores temperaturas na secagem em relação aos demais.

Na Tabela 04, são apresentados os percentuais de plântulas normais obtidos na primeira contagem da germinação, analisada como indicativo de vigor, das sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, submetidas a secagem intermitente, sob quatro manejos da temperatura do ar de secagem e armazenadas, em sacos de polipropileno trançado, nas condições ambientais de Alegrete – RS.

**Tabela 04.** Percentuais de plântulas normais obtidos na primeira contagem da germinação (%), em sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, submetidas a quatro manejos da temperatura do ar de secagem, sob três períodos de armazenamento.

Manejo na temperatura do ar de secagem	Dias de armazenamento		
	0	90	180
1) 40°C constante	92 a	90 a	87 a
2) 60°C constante	84 b	79 b	70 c
3) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e constante a 60°C até o término da secagem	88 a	86 a	81 b
4) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e decrescente até o término da secagem	87 a	86 a	81 b

Letras minúsculas distintas na mesma coluna, correspondem a diferenças significativas, pelo teste Tukey a 5% de significância

É possível constatar que os valores obtidos na primeira contagem da germinação foram próximos aos valores da germinação, servindo como indicativo de alto vigor apresentado pelas sementes testadas.

Os resultados obtidos na primeira contagem da germinação (Tabela 04) permitem constatar que as sementes submetidas ao diferentes manejos de temperatura do ar de secagem apresentaram comportamentos semelhantes ao do teste de germinação. Os resultados obtidos indicam o menor número de plântulas normais aos sete dias de início do teste de germinação, indicando menor velocidade no desenvolvimento de plântulas normais nas sementes secadas com temperatura do ar constante a 60°C, as sementes secadas com temperatura do ar constante a 40°C apresentaram os maiores percentuais de plântulas normais e as sementes secadas com temperaturas crescentes do ar apresentaram resultados intermediários.

Os resultados demonstram que ao longo do período de armazenamento ocorreu, de uma maneira geral, redução do vigor das sementes, avaliados pela primeira contagem da germinação e mesmo no final dos 180 dias somente os resultados das sementes submetidas a secagem com temperaturas do ar constantes a 60°C não foram superiores a 80%.

Na Tabela 05, são apresentados os resultados do manejo da temperatura do ar de secagem sobre o vigor das sementes pelo teste envelhecimento acelerado.

O teste de envelhecimento acelerado, segundo Melo (1996) e Lima (1997) é eficiente na avaliação do potencial fisiológico em sementes de arroz. Seus resultados são comparados aos do teste de germinação, sendo que lotes de sementes com percentual de envelhecimento acelerado maior que 80% são classificados como de alto vigor; entre 60 e 80% médio vigor e menor que 60% baixo vigor (Tekrony, 1995). Os resultados apresentados na Tabela 05, demonstram que as sementes submetidas à secagem com temperatura do ar constante a 40°C e as secagem com temperaturas variáveis proporcionaram sementes de alto vigor. O tratamento de secagem em que foi utilizada temperatura do ar constante a 60°C proporcionou sementes classificadas como médio vigor.

**Tabela 05.** Envelhecimento acelerado (%), em sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, submetidas a quatro manejos da temperatura do ar de secagem, sob três períodos de armazenamento.

Manejo na temperatura do ar de secagem	Dias de armazenamento		
	0	90	180
1) 40°C constante	86 a	83 a	82 a
2) 60°C constante	74 b	71 b	69 c
3) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e constante a 60°C até o término da secagem	84 a	83 a	80 b
4) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e decrescente até o término da secagem	85 a	83 a	81 b

Letras minúsculas distintas na mesma coluna, correspondem a diferenças significativas, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Na Tabela 06, são apresentados os resultados de vigor, obtidos pelos percentuais de plântulas normais através do teste de frio, das sementes de arroz, submetidas a secagem intermitente, sob quatro manejos da temperatura do ar de secagem e armazenadas, em sacos de polipropileno trançado, nas condições ambientais de Alegrete – RS.

O teste do frio é classificado como um teste de resistência ao estresse que avalia o desempenho de sementes expostas a condições desfavoráveis do ambiente. Os resultados do teste do frio seriam comparáveis ou representariam a mais baixa germinação que poderia ser obtida da amostra avaliada, em contraste com a verificada no teste de germinação (Tekrony, 1995). Entretanto, embora as condições do teste de frio promovam estresse de intensidade considerável, essa observação freqüentemente não é confirmada na prática.

O teste de frio pode funcionar como um instrumento de grande valor para seleção prévia de sementes que apresentam bom potencial de emergência em solos frios e úmidos, condições estas que são normalmente encontradas em semeaduras a partir de setembro a meados de outubro na região sul do Brasil (Kryzianowsky Franç Neto, 1999).

**Tabela 06.** Teste de frio (%), em sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, submetidas a quatro manejos da temperatura do ar de secagem, sob três períodos de armazenamento.

Manejo na temperatura do ar de secagem	Dias de armazenamento		
	0	90	180
1) 40°C constante	76 a	77 a	76 a
2) 60°C constante	69 b	67 b	65 c
3) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e constante a 60°C até o término da secagem	75 a	75 a	73 b
4) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e decrescente até o término da secagem	78 a	74 a	72 b

Letras minúsculas distintas na mesma coluna, correspondem a diferenças significativas, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Verifica-se que o teste de frio apresentou sensibilidade para identificar diferenças entre os tratamentos de secagem. Esses resultados concordam com as afirmações de Peters (1992), que comenta sobre a eficiência deste teste na avaliação da qualidade de sementes de arroz.

Os resultados, apresentados na Tabela 06, demonstram que, ao final dos 180 dias de armazenamento, as sementes que foram secadas com a temperatura do ar de secagem a 40°C apresentaram os maiores percentuais de plântulas normais, as sementes secadas com temperatura do ar constante a 60°C apresentaram os menores percentuais de plântulas normais e as sementes secadas com temperaturas crescentes do ar apresentaram resultados intermediários.

As sementes que foram secadas com a temperatura do ar de secagem a 40°C e as sementes secadas com temperaturas crescentes do ar apresentaram os maiores percentuais de plântulas normais em relação as em que se utilizou temperatura do ar constante a 60°C até 90 dias de armazenamento.

Durante o armazenamento pôde-se verificar, através da análise dos valores absolutos apresentados, a redução do vigor das sementes, isto pode ser observado tanto no teste de germinação, na primeira contagem da germinação, no

teste de envelhecimento acelerados quanto no teste de frio, especialmente nos tratamentos em que se utilizaram as maiores temperaturas do ar de secagem. O tempo de exposição e as temperaturas do ar de secagem, a qual as sementes foram submetidas, explica os resultados encontrados (Villela e Peske, 1996).

Na Tabela 07, são apresentados os resultados do manejo da temperatura do ar de secagem sobre o vigor das sementes pelo teste de emergência a campo.

**Tabela 07.** Emergência a campo (%), em sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, submetidas a quatro manejos da temperatura do ar de secagem, sob três períodos de armazenamento.

Manejo na temperatura do ar de secagem	Dias de armazenamento		
	0	90	180
1) 40°C constante	90 a	89 a	87 a
2) 60°C constante	84 b	82 b	78 c
3) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e constantes a 60°C até o término da secagem	91 a	88 a	86 a
4) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e decrescentes até o término da secagem	90 a	88 a	85a

Letras minúsculas distintas na mesma coluna, correspondem a diferenças significativas, pelo teste Tukey a 5% de significância.

O teste de emergência pode fornecer uma boa previsão da potencialidade do lote, quando conduzido na época recomendada para a semeadura da espécie (Carvalho, 1994).

No decorrer do armazenamento as sementes permaneceram sofrendo as ações das condições ambientais do armazém por períodos diferentes. As sementes avaliadas antes do armazenamento foram condicionadas em câmara fria durante todo o período até a semeadura. As sementes armazenadas por 90 dias, permaneceram 90 dias no armazém e 90 dias na câmara fria e as armazenadas por 180 dias permaneceram todo o período antes do teste de emergência no armazém.

Os danos ocasionados por altas temperaturas, podem manifestar-se imediatamente após a secagem ou durante o período de armazenamento, reduzindo a qualidade fisiológica das sementes, principalmente a emergência em campo sob condições adversas de ambiente (Nellist, 1982; Popinigis, 1985). Os resultados obtidos no teste de emergência em campo mostram os efeitos prejudiciais ocasionados pelo tempo de exposição e pela temperatura do ar de secagem na qualidade das sementes no decorrer do armazenamento onde o tratamento em que se utilizou a temperatura do ar de secagem constante a 60°C obteve os menores percentuais emergência imediatamente após a secagem e no decorrer do armazenamento, os demais tratamentos apresentaram os maiores valores e foram semelhantes entre si.

Os valores encontrados estão mais próximos aos obtidos no teste de germinação do que em relação os encontrados na primeira contagem da germinação, no teste de frio e no envelhecimento acelerado. Isto se deve, provavelmente, ao fato de que as condições ambientais foram favoráveis durante a condução do teste de emergência a campo.

**Tabela 08.** Condutividade elétrica ( $\mu\text{mhos}/\text{cm/g}$ ), em sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, submetidas a quatro manejos da temperatura do ar de secagem, sob três períodos de armazenamento.

Manejo na temperatura do ar de secagem	Dias de armazenamento		
	0	90	180
1) 40°C constante	37,13	39,54	40,26
2) 60°C constante	41,53	43,70	45,78
3) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e constantes a 60°C até o término da secagem	39,37	41,19	42,05
4) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e decrescentes até o término da secagem	40,04	41,68	42,57

O teste de condutividade elétrica é classificado como um teste bioquímico, e está baseado na relação existente entre o vigor de sementes e a integridade dos

sistemas de membranas celulares. O princípio do teste estabelece que sementes menos vigorosas (ou mais deterioradas) apresentam menor velocidade de restabelecimento da integridade das membranas celulares durante a embebição e, em consequência, liberam maiores quantidades de solutos para o meio exterior. A perda de lixiviados inclui açúcares, aminoácidos, ácidos graxos proteínas, enzimas e íons inorgânicos. Sob condições de campo, essa liberação após a semeadura, além de provocar a perda da compartimentalização celular, estimula o crescimento de microorganismos nocivos à emergência das plântulas (Marcos Filho, 2005). Membranas mal estruturadas estão diretamente relacionadas com o processo de deterioração das sementes e, portanto, com sementes de baixo vigor (AOSA, 1983).

**Tabela 08.** Condutividade elétrica ( $\mu\text{mhos}/\text{cm/g}$ ), em sementes de arroz, cultivar El Paso L-144, submetidas a quatro manejos da temperatura do ar de secagem, sob três períodos de armazenamento.

Manejo na temperatura do ar de secagem	Dias de armazenamento		
	0	90	180
1) 40°C constante	37,13	39,54	40,26
2) 60°C constante	41,53	43,70	45,78
3) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e constantes a 60°C até o término da secagem	39,37	41,19	42,05
4) crescentes até 60°C nas primeiras duas horas e decrescentes até o término da secagem	40,04	41,68	42,57

Verifica-se que, através dos resultados apresentados na Tabela 08, no teste de condutividade elétrica aplicado não foi possível constatar os efeitos do manejo da temperatura do ar de secagem intermitente nas sementes de arroz antes e no decorrer do armazenamento. Porém, é possível constatar que o tratamento de secagem com temperatura do ar constante a 60°C apresentou os maiores valores absolutos da condutividade, as sementes que foram secas com a temperatura do ar de secagem a 40°C apresentaram os menores valores e as secadas com

temperatura variáveis apresentaram resultados intermediários. A não distinção entre tratamentos, no teste de condutividade elétrica através de análise estatística, observada neste trabalho, também foi constatada por Lima (1997). Essa ocorrência, provavelmente, se deve ao fato de que a metodologia dos testes a ainda não é completamente padronizada, bem como a características das próprias sementes que apresentam envoltórios (lema e pálea), que dificultam a liberação dos lixiviados das sementes e a avaliação da integridade das membranas celulares durante a realização do teste. Cabe salientar, entretanto, que alguns autores tais como Mello (1996) apontam esse teste como sensível para avaliar o processo de deterioração, durante o armazenamento em sementes de arroz, o que também foi observado neste trabalho, considerando os valores absolutos, para cada um dos tratamentos, encontrados.

## **5. CONCLUSÕES**

Em escala industrial, para secadores intermitentes de bandejas, nas condições em que o experimento foi executado, os resultados permitem concluir que:

- (1) a secagem intermitente de semente de arroz com temperatura constante do ar a 60°C afeta a qualidade fisiológica;
- (2) a secagem intermitente com temperaturas crescentes do ar propicia uma constante remoção de água nas sementes de arroz;
- (3) na secagem intermitente as sementes de arroz resistem a temperaturas do ar constantes a 40°C;
- (4) o uso de temperaturas crescentes na secagem intermitente de sementes de arroz proporciona a manutenção da qualidade fisiológica.

## **6. REFERÊNCIAS**

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS – AOSA. **Seed vigour testing handbook.** Lincoln: AOSA, 1983. 93p. (contribution 32).

AZAMBUJA, I. H. V. *et al.* **Importância sócio-econômica da lavoura de arroz irrigado.** In: MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de & FAGUNDES, P.R. R.; ED Agricultura real: arroz irrigado. Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1996. p.P.7-8. (EMBRAPA-CPACT. Documentos, 20).

BAUDET, L. M. L. Armazenamento de sementes de arroz. In: Peske, S. T.; Nèdel, J. L.; Barros, A. C. S. A. **Produção de sementes de arroz.** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1996. p.475-496.

BIAGI, J.D.; BERTOL, R.; CARNEIRO, M.C. Armazéns em unidades centrais de armazenamento. In: LORINI, I.; MIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de grãos.** Campinas: IBG, p.157-175, 2002.

BOEMEKE, L.R.S. **Desempenho energético e qualidade de grãos nas secagens estacionária e intermitente de arroz.** Pelotas, 2000. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Comissão Técnica de Normas e Padrões. **Normas de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do arroz.** Brasília, 1988. 25f.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Secretaria Nacional da Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes.** Brasília, 1992. 365p.

CARVALHO, N. M. O conceito de vigor em sementes. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de Vigor em sementes.** Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 1-25.

CARVALHO, N.M. & NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção.** Jaboticabal: FUNEP, 542p. 2000.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento.** Disponível em: <http://conab.gov.br>. Acesso em: abril de 2006.

DANIELL, J. W. CHAPPEL, W. E.; COUCH, H. B. Effect of sublethal and lethal temperatures an plant cells. **Plant Phy siology.** Rochville. n. 44p. 1684-1698. 1969.

ELIAS, M.C. **Secagem e armazenamento de grãos, em média e pequena escala.** 1 ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2000. p.22-38.

ELIAS, M.C. **Armazenamento e conservação de grãos em médias e pequenas escalas.** Pelotas, 2002. Pólo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul. UFPEL-FAEM-DCTA, 2002a. 218p.

ELIAS, M.C. Aeração em armazenamento de grãos. In: LORINI, I.; MIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de grãos.** Campinas: IBG, p.311-359, 2002b.

**ELIAS, M.C. Efeitos da espera para secagem e do tempo de armazenamento na qualidade das sementes e grãos do arroz irrigado.** Pelotas, 1998. 164f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 1998.

ELIAS, M.C. Rice: quality and industry. In: **Rice Yearbook, 2003.** Pelotas: Editora Gazeta, 2003. 147f.

**FAO. Arroz Híbrido para Contribuir a la Seguridad Alimentaria.** Disponível em: <<http://www.fao.org/rice2004/es/rice2.htm>>. Acesso em Janeiro de 2006.

FERGUSON, J. Introduction to seed vigour testing. In: SEED VIGOUR TESTING SEMINAR, 1995, Copenhagen. **Proceedings...** Zurich: International Seed Testing Association, 1995. p.1-9.

GALLI, J. Origem, distribuição e domesticação do arroz **Lavoura Arrozeira.** Porto Alegre, IRGA, v. 31, n 306, p.63-8, mai/jun. 1978.

GARAY, A. Qualidade total em sementes. In: SEMINARIO PANAMERICANO DE SEMILLAS, 14, WORKSHOP SOBRE MARKETING EM SEMENTES E MUDAS, 3, 1996, Gramado, **Memórias...** Gramado, 1996, p. 28.

HARA, T. Sistema de aeração de grãos. In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de grãos.** Campinas: IBG, p.361-377, 2002.

HERTER, V. & BURRIS, J. S. Evaluating drying injure on corn seed with conductivity test. **Seed Science and Technology.** Zurich. v. 17, p. 625-638, 1989.

INFELD, J. A.; SILVEIRA Jr., P.; SANTOS, E.C. Rendimento de grãos inteiros em função da umidade na colheita de duas cultivares de arroz irrigado. In: **Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 13.** Florianópolis, 1987, Anais... Florianópolis: EMPASC, p.361-368, 1987.

INIA – Instituto Nacioal de Investigación Vegetal, Site <http://www.inia.org.uy>, Acesso em abril de 2006.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. Handbook of vigour test methods. 3. Ed. ISTA, 1995. P. 97-103.

IRGA - Instituto Riograndense do Arroz, Site <http://www.irqa.rs.gov.br>, Acesso em abril de 2006.

KRZYZANOWSKY, F. C.; FRANÇA NETO, J. B. Testes de vigor em sementes. In: **Encontro sobre avanços em tecnologia de sementes. Pelotas:** FAEM/UFPel, 1999. 111p.

KOTLER, P., ARMSTRONG, G. **Princípios de marketing.** 7 ed., Tradução Vera Whately, Rio de Janeiro: Editora Prentice-hallo do Brasil, 1998. 527 p.

KUNZE, O. R. Fissuring of rice grain heated air dring. **Tranactions of the ASAE.** St. Joseph. v. 22, n. 5, p. 1197-1201, 1979.

LASSERAN, J.S. Princípios gerais de secagem. Revista Brasileira de Armazenamento. Viçosa: CETREINAR, n.3, p.17-46, 1978.

LIMA. D. **Influência da alta temperatura de secagem em sementes de arroz.** 1997. 92f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 1997.

LOPES, V. **Condições de secagem e qualidade tecnológica de trigo,** Pelotas, 1999. 21f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 1999.

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

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

MELLO, V. D. C. **Qualidade fisiológica de sementes de arroz sob condições de secagem estacionária e contínua.** 1996. 98f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 1996.

MILMAN, M. J. **Manejo da relação de intermitênci a e da temperatura do ar na secagem industrial do arroz.** 2001. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas.

MONTAÑES, A.J. Evaluacion de calidad de molineña y cociuna en la selección de variedades. In: **Reunião do Programa Nacional de Arroz, 5.** Coreté, 1973. Anais... Coreté, p.30-5, 1973.

MOTTA, W. A.; VILLELA, F. A. e ZIMMER, G. J. Adaptação do método contínuo de secagem para sementes de arroz. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 4. p. 1019-1025, out/dez, 1999.

NELLIST, M. E.; HUGHES, M. Physical and biological processes in the drying of seed. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.1, p. 613-643, 1973.

NELLIST, M.E. Developments in continuous flow grain driers. **The Agricultural Engineer**, p. 74-80, 1982

PARK, K.J. **Fundamentos de secagem**. Curso de Aperfeiçoamento em Tecnologia de Alimentos. Campinas: Centro Nestlé de Treinamento, 1988. 25p.

PARRISH, D. C. & LEOPOLD, A. C On the mechanism of ageing of soybean seeds. **Plant Physiology**, Rockville, 61: 365-8, 1978.

PEREIRA, J.A.M. & QUEIROZ, D.M. de. **Psicrometria**. Viçosa: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem – CENTREINAR, 1986. 36p.

PERES, W.B. **Manutenção da qualidade de grãos**. Pelotas: Editora e gráfica da UFPEL, 2001. 78p.

PEROZZI, M. No ritmo da produtividade. **Planeta Arroz**, Cachoeira do Sul, v.5, n.14, p.23, mai. 2005.

PESKE, S.T. & BARROS, A.S.S.A. Produção de Sementes de Arroz. In: **Produção de arroz irrigado**. Pelotas. UFPel, 1998. 659p.

PETERS, A. C. **Avaliação de testes de vigor em sementes de arroz (cv BR IRGA 414) e suas relações com a emergência a campo**. 1992. 44f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 1992.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília, DF., 2º ed., 1985. 289p.

**PORTO, A.G. Avaliação da qualidade de sementes de arroz (*Oryza sativa L.*) secas e armazenadas em silos metálicos.** 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Fundação Universidade Federal de Rio Grande, 2001.

**PUZZI, D. Abastecimento e armazenamento de grãos.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 603p.

**RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Departamento de Produção Vegetal. CESM/RS. Normas e padrões de produção de sementes e mudas para o Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 2000. 156p.

**ROBERTS, E. H. Physiology of ageing and its application to drying and storage. Seed Science end Technology**, Zurich, 9: 359-72, 1981.

**ROMBALDI, C. V. Condições de secagem e tempo de armazenamento da qualidade industrial do arroz (*Oryza sativa L.*).** 1988. 124f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 1988.

**ROSA, O. S. Temperaturas recomendadas para a secagem de sementes de trigo e arroz utilizando o método intermitente.** In SEMINÁRIO PANAMERICANO DE SEMILLAS, 5., Maracay, 1966. **Anais do... MARACAY**, 1966. 27 p.

**SANTOS, G. L. Manejo térmico na tempo de secagem, na eficiência energética e nas características industriais e de consumo do arroz.** 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2004.

**SASSERON, J.C. Umidade e temperatura dos grãos armazenados.** In: **Curso de Armazenamento de Grãos.** Pelotas: Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, UFPEL-CETREISUL, p.81-173, 1980.

SILVA, J.S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. 502p.

SILVEIRA, A.J. Arroz: o grão universal. **Planeta Arroz 2000.** Cachoeira do Sul, 2000. 130p.

STEFFE, J.F. & SINGH, R.P. Theoretical and practical aspects of rough rice tempering. **Transactions of the ASAE.** St. Joseph, Michigan: ASAE, v.23,n.3,p.775-782, 1980.

TEKRONY, M. A. S. Accelerated ageing. In: HAMPTON, J. G.; TEKRONY, D. M. **Handbook of vigour test methods.** 1995. p. 35-50.

VASCONSELLOS, J.C. **O arroz.** Lisboa: Ministério da Economia de Portugal, 1963. 307p.

VILLELA, F.A. & PERES, W.B. Coleta, beneficiamento e armazenamento. In: **Germinação do básico ao aplicado.** Porto Alegre: Artmed, p. 265-281, 2004.

VILLELA, F. A. e PESKE, S. T. Secagem e beneficiamento de sementes de arroz irrigado. In. PESKE, S. T.; NEDEL, J. L.; BARROS, A. C. S. A. **Produção de Arroz.** Pelotas: UFPel, p. 435-473, 1996.

VILLELA, F.A.; SILVA, W.R. **Curvas de secagem de milho utilizando o método intermitente.** Scientia Agrícola, v.1, n.49, p.145-153, 1992.