



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA "ELISEU MACIEL"
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROINDUSTRIAL

**UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS E PARÂMETROS HIDROTÉRMICOS SOBRE A
ÁGUA DE ENCHARCAMENTO E O DESEMPENHO INDUSTRIAL DO ARROZ NA
PARBOILIZAÇÃO**

LEOMAR HACKBART DA SILVA
Engenheiro Agrônomo

Pelotas - RS - Brasil, 2003

LEOMAR HACKBART DA SILVA
Engenheiro Agrônomo

**UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS E PARÂMETROS HIDROTÉRMICOS SOBRE A
ÁGUA DE ENCHARCAMENTO E O DESEMPENHO INDUSTRIAL DO ARROZ NA
PARBOILIZAÇÃO**

DISSERTAÇÃO apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

ORIENTAÇÃO:

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias – FAEM – UFPel

Prof. Dr. Alvaro Renato Guerra Dias – FAEM - UFPel

Pelotas - RS - Brasil, 2003

Dados de catalogação na fonte:

(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

S486u Silva, Leomar Hackbart da
Umidade inicial dos grãos e parâmetros hidrotérmicos sobre a
água de encharcamento e o desempenho industrial do arroz na
parboilização / Leomar Hackbart da Silva; orientador Moacir
Cardoso Elias; co-orientador Alvaro Renato Guerra Dias . –
Pelotas, 2003. –61 f. Dissertação (Mestrado). Ciência e
Tecnologia Agroindustrial. Faculdade de Agronomia Eliseu
Maciel. Universidade Federal de Pelotas,. Pelotas, 2003.

1.arroz 2. Parboilização 3. Água de encharcamento I .
Elias, Moacir Cardoso (orientador) II .Título.

CDD 633.18

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Alvaro Renato Guerra Dias – FAEM - UFPel

Prof^a Dra. Luciana Bicca Dode - UCPel

Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski – CEPA - UPF

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias – FAEM – UFPel

AGRADECIMENTOS

Aos professores Alvaro Renato Guerra Dias e Moacir Cardoso Elias, pela orientação, amizade, e valiosa experiência, sempre repassada com simplicidade.

Ao professor Cesar Valmor Rombaldi e aos demais docentes do D.C.T.A., pelos ensinamentos ministrados e agradáveis momentos de convivência.

Aos laboratoristas do DCTA, pela colaboração dispensada.

Aos colegas de curso, bolsistas e estagiários do Laboratório de Pós-Colheita e Industrialização de Grãos, em especial ao Elvio Aosani, Eurico G. C. Neves, Flavio M. Pereira, Galileu Rupollo, Geverson L. dos Santos, Iure R. Martins, Leonor Marini, Lírio Haas, Lucas B. Marchioro, Luiz A. R. Ustra, Mateus B. Cardoso, Maurício de Oliveira, Rubi Münchow e Vandeir J. D. Conrad, pela excelente convivência e colaboração.

À empresa Palma Agroindustrial Ltda. e ao Eng^o Agr^o Rômulo Fagundes Barbosa, pela atenção e cedência dos grãos para o experimento.

À CAPES, pelo auxílio financeiro através de bolsa de mestrado.

À UFPel, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, pela oportunidade e pelas facilidades oferecidas para a execução desta dissertação.

À minha família, pela compreensão e pelo apoio nas horas mais difíceis, em especial à minha namorada Paula Fernanda P. da Costa, pela valiosa ajuda nos trabalhos e pelo carinhoso incentivo.

A todos que de alguma forma contribuíram para a execução deste trabalho, aqui não mencionados, mas não esquecidos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	xi
SUMMARY	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Características dos grãos de arroz	3
2.2. Colheita do arroz	5
2.3. Industrialização do arroz	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Material.....	13
3.2. Metodologia.....	14
3.2.1 Operações de beneficiamento industrial.....	14
3.2.2. Análises da matéria-prima	16
3.2.3. Análises na água de encharcamento	19
3.2.4. Delineamento experimental.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1. Comportamento hidrotérmico dos grãos	21
4.2. Parâmetros físicos e químicos da água de encharcamento.....	28
4.3. Integridade física e tempo de encharcamento dos grãos na parboilização.....	37
4.4. Desempenho industrial	40
4.5. Tratamento hidrotérmico e intensidade de gelatinização dos grãos.....	49
5. CONCLUSÕES	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

TABELAS

	Página
TABELA 1 - DISPERSÃO ALCALINA E TEMPERATURA DE GELATINIZAÇÃO DO ARROZ.....	17
TABELA 02 - PROPRIEDADES FUNCIONAIS EM GRÃOS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, BENEFICIADO PELO PROCESSO CONVENCIONAL ¹	20
TABELA 03 - RENDIMENTO DE GRÃOS INTEIROS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS AO ENCHARCAMENTO A 60°C COM DIFERENTES UMIDADES INICIAS ¹	37
TABELA 04 - RENDIMENTO DE GRÃOS INTEIROS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS AO ENCHARCAMENTO A 65°C COM DIFERENTES UMIDADES INICIAIS DOS GRÃOS ¹	38
TABELA 05 - RENDIMENTO DE GRÃOS INTEIROS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS AO ENCHARCAMENTO A 70°C COM DIFERENTES UMIDADES INICIAIS DOS GRÃOS ¹	39
TABELA 06 - GRÃOS INTEIROS SEM DEFEITOS EM ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO A 60°C, COM QUATRO UMIDADES INICIAIS ¹	41
TABELA 07 - GRÃOS INTEIROS SEM DEFEITOS EM ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO A 65°C, COM QUATRO UMIDADES INICIAIS ¹	41
TABELA 08 - GRÃOS INTEIROS SEM DEFEITOS EM ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO A 70°C, COM QUATRO UMIDADES INICIAIS ¹	42

TABELA 09 - GRÃOS INTEIROS SEM DEFEITOS EM ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO COM UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS DE 20%, EM TRÊS TEMPERATURAS ¹	42
TABELA 10 - GRÃOS INTEIROS SEM DEFEITOS EM ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO COM UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS DE 18%, EM TRÊS TEMPERATURAS ¹	43
TABELA 11 - GRÃOS INTEIROS SEM DEFEITOS EM ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO COM UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS DE 16%, EM TRÊS TEMPERATURAS ¹	43
TABELA 12 - GRÃOS INTEIROS SEM DEFEITOS EM ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO COM UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS DE 13%, EM TRÊS TEMPERATURAS ¹	44
TABELA 13 - INCIDÊNCIA DE DEFEITOS EM GRÃOS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO A 60°C, COM DIFERENTES UMIDADES INICIAIS ¹	45
TABELA 14 - INCIDÊNCIA DE DEFEITOS EM GRÃOS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO A 65°C, COM DIFERENTES UMIDADES INICIAIS ¹	45
TABELA 15 - INCIDÊNCIA DE DEFEITOS EM GRÃOS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO A 70°C, COM DIFERENTES UMIDADES INICIAIS ¹	46
TABELA 16 - INCIDÊNCIA DE DEFEITOS EM GRÃOS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO COM UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS DE 20%, EM TRÊS TEMPERATURAS ¹	46
TABELA 17 - INCIDÊNCIA DE DEFEITOS EM GRÃOS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO COM UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS DE 18%, EM TRÊS TEMPERATURAS ¹	47
TABELA 18 - INCIDÊNCIA DE DEFEITOS EM GRÃOS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO COM UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS DE 16%, EM TRÊS TEMPERATURAS ¹	47
TABELA 19 - INCIDÊNCIA DE DEFEITOS EM GRÃOS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS, AO ENCHARCAMENTO COM UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS DE 13%, EM TRÊS TEMPERATURAS ¹	48

FIGURAS

	Página
FIGURA 01 - ISOTERMAS DE HIDRATAÇÃO DO ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDO AO ENCHARCAMENTO A 60°C, DURANTE 360 MINUTOS, A PARTIR DE QUATRO UMIDADES INICIAIS.....	21
FIGURA 02 - ISOTERMAS DE HIDRATAÇÃO DO ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDO AO ENCHARCAMENTO A 65°C, DURANTE 360 MINUTOS, A PARTIR DE QUATRO UMIDADES INICIAIS.....	22
FIGURA 03 - ISOTERMAS DE HIDRATAÇÃO DO ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDO AO ENCHARCAMENTO A 70°C, DURANTE 360 MINUTOS, A PARTIR DE QUATRO UMIDADES INICIAIS.....	22
FIGURA 04 – ISOTERMAS DE HIDRATAÇÃO DO CULTIVAR SUPREMO I, COM UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS DE 20%, SUBMETIDAS AO ENCHARCAMENTO EM TRÊS TEMPERATURAS.	23
FIGURA 05 - ISOTERMAS DE HIDRATAÇÃO DO CULTIVAR SUPREMO I, COM UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS DE 18%, SUBMETIDOS AO ENCHARCAMENTO EM TRÊS TEMPERATURAS.	23
FIGURA 06 - ISOTERMAS DE HIDRATAÇÃO DO CULTIVAR SUPREMO I, COM UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS DE 16%, SUBMETIDOS AO ENCHARCAMENTO EM TRÊS TEMPERATURAS.	24
FIGURA 07 - ISOTERMAS DE HIDRATAÇÃO DO CULTIVAR SUPREMO I, COM UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS DE 13%, SUBMETIDOS AO ENCHARCAMENTO EM TRÊS TEMPERATURAS.	24

FIGURA 08 - ÍNDICE DE ABERTURA EXCESSIVA DE CASCA EM GRÃOS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDO AO ENCHARCAMENTO A 60°C, DURANTE 360 MINUTOS, A PARTIR DE QUATRO UMIDADES INICIAIS.....	26
FIGURA 09 – ÍNDICE DE ABERTURA EXCESSIVA DE CASCA EM GRÃOS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDO AO ENCHARCAMENTO A 65°C, DURANTE 360 MINUTOS, A PARTIR DE QUATRO UMIDADES INICIAIS.....	26
FIGURA 10 – ÍNDICE DE ABERTURA EXCESSIVA DE CASCA EM GRÃOS DE ARROZ, CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDO AO ENCHARCAMENTO A 70°C, DURANTE 360 MINUTOS, A PARTIR DE QUATRO UMIDADES INICIAIS.....	27
FIGURA 11 - SÓLIDOS TOTAIS NA ÁGUA DE ENCHARCAMENTO DO ARROZ, REALIZADO COM QUATRO UMIDADES INICIAIS DOS GRÃOS A 60°C.....	28
FIGURA 12 - SÓLIDOS TOTAIS NA ÁGUA DE ENCHARCAMENTO DO ARROZ, REALIZADO COM QUATRO UMIDADES INICIAIS DOS GRÃOS A 65°C.....	29
FIGURA 13 - SÓLIDOS TOTAIS NA ÁGUA DE ENCHARCAMENTO DO ARROZ, REALIZADO COM QUATRO UMIDADES INICIAIS DOS GRÃOS A 70°C.....	29
FIGURA 14 - SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS NA ÁGUA DE ENCHARCAMENTO DO ARROZ, REALIZADO COM QUATRO UMIDADES INICIAIS DOS GRÃOS A 60°C.....	30
FIGURA 15 - SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS NA ÁGUA DE O ENCHARCAMENTO DO ARROZ, REALIZADO COM QUATRO UMIDADES INICIAIS DOS GRÃOS A 65°C.....	31
FIGURA 16 - SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS NA ÁGUA DE ENCHARCAMENTO DO ARROZ, REALIZADO COM QUATRO UMIDADES INICIAIS DOS GRÃOS A 70°C.....	31
FIGURA 17 - PH DA ÁGUA DURANTE O ENCHARCAMENTO DO ARROZ A 60°C, EM GRÃOS COM QUATRO UMIDADES INICIAIS.....	33
FIGURA 18 - PH DA ÁGUA DURANTE O ENCHARCAMENTO DO ARROZ A 65°C, EM GRÃOS COM QUATRO UMIDADES INICIAIS.....	33
FIGURA 19 - PH DA ÁGUA DURANTE O ENCHARCAMENTO DO ARROZ A 70°C, EM GRÃOS COM QUATRO UMIDADES INICIAIS.....	34
FIGURA 20 - TURBIDEZ DA ÁGUA DURANTE O ENCHARCAMENTO DO ARROZ A 60°C, EM GRÃOS COM QUATRO UMIDADES INICIAIS.....	35
FIGURA 21 - TURBIDEZ DA ÁGUA DURANTE O ENCHARCAMENTO DO ARROZ A 65°C, EM GRÃOS COM QUATRO UMIDADES INICIAIS.....	35

FIGURA 22 - TURBIDEZ DA ÁGUA DURANTE O ENCHARCAMENTO DO ARROZ A 70°C, EM GRÃOS COM QUATRO UMIDADES INICIAIS.....	36
FIGURA 23 - PERCENTAGEM DE GRÃOS GELATINIZADOS DO CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS AO ENCHARCAMENTO A 60°C, COM DIFERENTES UMIDADES INICIAIS.	51
FIGURA 24 - PERCENTAGEM DE GRÃOS GELATINIZADOS DO CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS AO ENCHARCAMENTO A 65°C, COM DIFERENTES UMIDADES INICIAIS.	52
FIGURA 25 - PERCENTAGEM DE GRÃOS GELATINIZADOS DO CULTIVAR SUPREMO I, SUBMETIDOS AO ENCHARCAMENTO A 70°C, COM DIFERENTES UMIDADES INICIAIS.	53

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

AUTOR: Engenheiro Agrônomo Leomar Hackbart da Silva

**TÍTULO: UMIDADE INICIAL DOS GRÃOS E PARÂMETROS HIDROTÉRMICOS
SOBRE A ÁGUA DE ENCHARCAMENTO E O DESEMPENHO
INDUSTRIAL DO ARROZ NA PARBOILIZAÇÃO**

ORIENTADORES: Prof. Dr. Moacir C. Elias e Prof. Dr. Alvaro R. Guerra Dias

**Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial DCTA-FAEM-UFPeI
Fevereiro – 2003**

RESUMO

As dificuldades operacionais na época da colheita, devidas à sazonalidade de produção, à perecibilidade do produto e à má distribuição do volume colhido com ampla faixa de umidade em curto tempo, dificultam os processos de secagem e armazenamento do arroz, induzindo as indústrias, na safra, a submeterem parte dos grãos às operações da parboilização sem secagem e armazenamentos prévios, embora não se tenha embasamento técnico suficiente para uma segura tomada de decisão nesse aspecto. No trabalho, estudou-se a influência da umidade inicial dos grãos e dos parâmetros hidrotérmicos na operação de encharcamento sobre o desempenho industrial do arroz parboilizado e sobre as características da água utilizada na hidratação. Foram utilizados grãos de arroz, classe longo fino, cultivar Supremo I, colhidos com cerca de 21% de umidade, limpos em máquina de ar e peneira, sendo agrupados nas faixas de umidade de $20 \pm 0,5\%$, $18 \pm 0,5\%$, $16 \pm 0,5\%$ e $13 \pm 0,5\%$ e submetidos ao encharcamento a 60, 65 e 70°C, ao longo de 6 horas. A cada 30 minutos foram retiradas amostras, sendo avaliados o grau de umidade para determinar o comportamento hidrotérmico, seguido de imediata autoclavagem a 110°C, $0,45\text{kgf.cm}^{-2}$, por 10 minutos, procedendo-se a secagem com ar aquecido a $45 \pm 5^\circ\text{C}$. As variáveis estudadas foram subdivididas em dois grupos: a) análises da água de encharcamento (sólidos totais; sólidos dissolvidos totais; pH e turbidez); b) desempenho industrial (índice de abertura de casca, rendimento de grãos inteiros; incidência de defeitos; percentagem de grãos não gelatinizados). Conclui-se que: a) a umidade inicial dos grãos interfere mais no tempo de hidratação e na incidência de defeitos, enquanto a temperatura da água e o tempo de encharcamento interferem mais nos rendimentos de grãos inteiros e de inteiros sem defeitos; b) a parboilização de arroz sem secagem prévia permite reduções de meia a uma hora no encharcamento realizado na mesma temperatura usada para grãos secados a 13% de umidade; c) a umidade inicial dos grãos no processo de parboilização não interfere nas lixiviações de sólidos totais e de sólidos dissolvidos totais, nem nas variações de turbidez e de pH da água durante o encharcamento; d) o aumento da temperatura e do tempo de encharcamento promove incrementos nos teores de sólidos totais, de sólidos dissolvidos totais e na turbidez, com redução nos valores de pH da água durante a operação; e) no processo de parboilização, aumentos do tempo e da temperatura no encharcamento propiciam incrementos nos índices de abertura excessiva de casca, ocasionando deformações nos grãos de arroz; f) para o cultivar Supremo I, a combinação de temperatura e tempo de encharcamento que permite melhor potencial de desempenho industrial ocorre em operações a 65°C, durante 5 horas e meia a 6 horas.

Palavra-chave: Arroz, parboilização, água de encharcamento.

MASTER OF SCIENCE DISSERTATION

AUTHOR: Agronomist Engineer Leomar Hackbart da Silva

TITLE: INITIAL MOISTURE OF HYDROTHERMAL GRAINS AND PARAMETERS ABOUT THE SOAKING WATER AND THE INDUSTRIAL PERFORMANCE OF THE RICE IN THE PARBOILIZATION

ADVISORS: Prof. Dr Moacir Cardoso Elias and Prof Dr Alvaro R. Guerra Dias

**Departament of Agroindustrial Science and Tecnology DCTA-FAEM-UFPeI
February of 2003**

SUMMARY

The operational difficulties at the time of the harvesting, due to the production seasonality, the product's wastefulness and the bad distribution of the harvested quantity with a broad moisture line in a short term, make difficult the drying process and the storage of the rice, making the industries, in the harvest, subject part of the grains to parboilization operations without previous drying and storage; although it does not have enough technical basis to a sure decision making in this aspect. In this paper, it was studied the influence of the initial humidity of the hydrothermal grains and parameters in the operation of soaking about the industrial performance of the parboilized rice and about the water characteristics used in the hydration. It has been used grains of rice, long fine class, Supreme I cultivar, harvested with about 21% of moisture, cleaned in air machine and sieve, being put in groups in the moisture lines of $20 \pm 0,5\%$, $18 \pm 0,5\%$, $16 \pm 0,5\%$ and $13 \pm 0,5\%$ and subjected to the soaking at 60, 65 and 70°C for 6 hours. In each 30 minutes, it has been collected samples, being evaluated the humidity degree to determine the hydrothermal behavior, followed by an immediate autoclaving at 110°C, 0,45Kgf.cm⁻² for 10 minutes, making the drying with heated air at $45 \pm 5^\circ\text{C}$. The variables studied were subdivided in two groups: a) analysis of the soaking water (total solids; total dissolved solids; pH and cloudiness); b) industrial performance (husk opening rate, entire grains income; defects incidence; non-gelatinized grains percentage). It is concluded that: a) the initial humidity of the grains interferes more in the hydration time and in the defects incidence, while the temperature of the water and the soaking time interfere more in incomes of the entire grains and of the entire without defects; b) the parboilization of the rice without previous drying allows reductions of 30 to 60 minutes in the soaking done in the same temperature used to dried grains at 13% of moisture; c) the initial humidity of the grains in the parboilization process does not interfere in the lixiviation of the total solids and the total dissolved solids, or in the variations of cloudiness and the water's pH during the soaking; d) the raising of the temperature and of the time of the soaking provides an increasing in the content of the total solids, of total dissolved solids and in the cloudiness, with reduction in the water's pH values during the soaking; e) in the process of parboilization, raisings of time and temperature in the soaking provide increasing in the husk opening rate, provoking deforming in the rice grains; f) to the Supreme I cultivar, the combination of temperature and time of soaking that allows a better potential of industrial performance occurs in operations the 65°C for 5 hours and 30 minutes the 6 hours.

Key words: Rice, parboilization, soaking water.

1. INTRODUÇÃO

O arroz é um cereal que está presente na dieta de 50% da população mundial, sendo responsável por 12% das proteínas e 18% das calorias da dieta básica do brasileiro, representando em torno de 15% do gasto total com alimentos. Tomando-se por base o arroz com casca, o consumo nacional anual é de 74kg, *per capita*. O futuro é promissor e, havendo poder aquisitivo pelo consumidor, deverá ser ampliada a oferta, em função de aumentos de produtividade, graças a novos cultivares que estão sendo lançados e modernas técnicas de industrialização. A produção de arroz no Brasil é de aproximadamente 11 milhões de toneladas anuais, como na safra 2001/2002, sendo que a região sul contribui com 58% desse total produzindo 6.468,5 mil toneladas (Conab, 2002).

O estado do Rio Grande do Sul é o primeiro produtor nacional, com 46% da produção total. Apresenta uma produtividade média de 5.472kg.ha⁻¹, que representa quase o dobro da média brasileira de 3.374kg.ha⁻¹ obtida na safra 2001/2002. O maior centro beneficiador de arroz da América Latina está localizado em Pelotas, industrializando cerca de 19% da produção do Rio Grande do Sul com 26 indústrias de beneficiamento instaladas (IRGA, 2002).

O arroz tem sua composição química variável, em função das características genéticas, dos fatores ambientais, das condições de pré-armazenamento, como as etapas de recepção, pré-limpeza e secagem, das de armazenamento, do sistema e do método de beneficiamento industrial empregado.

No beneficiamento industrial convencional do arroz, após a limpeza os grãos são submetidos às operações de descascamento e polimento, seguindo-se a

seleção e posteriormente a embalagem do produto já industrializado. No processo de parboilização, antes de ser descascado e polido, os grãos sofrem tratamentos hidrotérmicos, que constam de três operações, a hidratação, a autoclavagem ou a estufa, e as secagens.

Nos tratamentos hidrotérmicos ocorrem a gelatinização e a retrogradação do amido, o que possibilita a recuperação de fissuras nos grãos, reduzindo os índices de grãos quebrados no processo convencional. Além da redução das perdas de industrialização dos grãos, há incremento do valor nutricional do arroz, aumento da estabilidade no armazenamento e no transporte, assim como modificações nas características de consumo, representadas pelo aumento de volume na cocção e do índice de solubilidade (Elias, 1998, Amato *et al.*, 2002). Atualmente, representa cerca de 25% do total de arroz industrializado no país atingindo 95% da industrialização em Santa Catarina, e já passa de 30% do arroz industrializado no Rio Grande do Sul (ABIAP, 2003).

As etapas de encharcamento e autoclavagem, quando mal conduzidas, podem modificar as características sensoriais, como cor, sabor e odor do arroz parboilizado, além de influenciar na lixiviação de sólidos para água de encharcamento, alterando a intensidade de cor da água, propiciando atividade microbiológica e reações de fermentação, o que significa possibilidade de interferência deletéria na qualidade do produto final (Gutkoski & Elias, 1994).

A sazonalidade da produção e o curto espaço de tempo para a colheita e a secagem, além da indisponibilidade de estruturas adequadas para o pré-armazenamento do arroz, forçam algumas indústrias na época da colheita, a submeterem uma parte do arroz diretamente às operações da parboilização, sem secagem e armazenamento prévios, embora ainda faltem estudos científicos que embasem uma segura tomada de decisão nesse aspecto.

No trabalho, estudou-se a influência da umidade inicial dos grãos, do tempo e da temperatura de encharcamento sobre o comportamento hidrotérmico do cultivar Supremo-I, o desempenho industrial do arroz parboilizado e as características da água utilizada na hidratação, com vistas a serem estabelecidos parâmetros operacionais que propiciem maior rendimento e melhor qualidade do produto final em função das características da matéria-prima.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características dos grãos de arroz

O grão de arroz é um fruto, denominado cariopse, no qual o pericarpo está fundido com o tegumento da semente propriamente dita. A casca, material que envolve o grão e constitui cerca de 20% do peso do arroz, é formada por duas folhas modificadas (pálea e lema), apresentando, na sua composição básica, celulose (25%), lignina (30%), pentoses (15%) e cinzas (21%), sendo esta última formada por 95% de sílica. O arroz descascado ou esbramado é formado por pericarpo, tegumento e camadas de aleurona, gérmen e endosperma, sendo este o maior constituinte do grão (Hoseney, 1991).

A operação de polimento retira as camadas periféricas do grão, permanecendo o endosperma, parte mais utilizada na alimentação humana, em cuja constituição predominam grânulos de amido poligonais, com tamanho de 2 a 4 μ (Bechtell e Pomeranz, 1980), juntamente com proteínas, gorduras, compostos minerais e outros.

O acúmulo de grânulos de amido nos grãos ocorre através do transporte de assimilados e fotossintetizados durante o desenvolvimento do arroz. Havendo interrupção desse transporte, antes da maturação, pode ocorrer produção de grãos chochos, de enchimento incompleto ou com integridade biológica comprometida, ou ainda serem causadas imperfeições na estrutura morfológica do endosperma, produzindo grãos com partes brancas no centro ou na face ventral do endosperma, sendo chamados de centro branco ou barriga branca, que provocam alterações na qualidade do arroz cozido (Matsuda apud Horigane *et al.*, 2001). O gessamento do

endosperma é causado por fatores adversos tais como a colheita de grãos imaturos e com alto grau de umidade ou por danos oriundos do ataque de percevejos-do-grão, ou ainda por deficiência hídrica, carência ou desequilíbrio nutricional, frio e características genéticas do cultivar e/ou manejo inadequado na cultura (Castro *et al.*, 1999).

O amido é composto por dois polissacarídeos, a amilose e a amilopectina. A amilose é um polímero linear formado predominantemente pelo encadeamento de unidades de glicose através de ligações alfa 1-4. O teor de amilose no grão será considerado baixo quando for inferior a 20%, médio quando estiver entre 20 e 25% e alto quando for superior a 25%. A amilopectina é uma fração do amido altamente ramificada, formada predominantemente por 20 a 25 unidades de glicose unidas através de ligações alfa 1-4. Essas cadeias, por sua vez, estão ligadas entre si por ligações alfa 1-6 em proporções que variam na mesma espécie de acordo com o grau de maturação e condições ambientais como temperatura média na maturação dos grãos (Guimarães, 1989; Bobbio e Bobbio, 1992).

A relação amilose/amilopectina é fator preponderante na diferenciação dos cultivares para o encharcamento. Enquanto os cultivares com teores de amilose abaixo de 30% apresentam mais facilidade de hidratação, aqueles com teores acima oferecem maior dificuldade de absorver água, além de proporcionalmente reterem menor quantidade de água no seu interior (Tavares *et al.*, 1998; Müller, 1999; Monks, 2001).

A variação nos teores de amilose e amilopectina não afeta o valor nutritivo do arroz, mas influi grandemente nas qualidades culinárias, de tal forma que, quanto maior o teor de amilose, tanto mais secos e mais separados ficarão os grãos depois de cozidos (Chandier, 1994; Infeld & Silveira, 1983).

As alterações que sofre o amido durante o processo de parboilização, como gelatinização e retrogradação, são responsáveis pelas suas características de viscosidade e textura da pasta. Os grânulos de amido podem reter cerca de 30% de seu peso seco em água sem sofrer alterações estruturais (Bobbio e Bobbio, 1992; Carvalho *et al.*, 1992)

A temperatura de gelatinização é medida pela temperatura na qual 90% dos grânulos de amido são gelatinizados ou modificados irreversivelmente em água quente, podendo variar de 55 a 79°C. Ela está relacionada com o tempo necessário para o cozimento do arroz. No aquecimento do amido em presença de água, a

elevação gradual da temperatura promove rupturas das pontes de hidrogênio, incorporando moléculas de água entre as moléculas de amilose e de amilopectina, provocando o intumescimento e até ruptura dos grânulos de amido (Guimarães, 1989).

O conteúdo de proteína bruta do grão depende de fatores genéticos, ambientais e também de manejo de cultivo (Jennings *et al.*, 1981). As proteínas influem nas propriedades mecânicas do grão, pois cultivares de arroz com alto conteúdo de proteína bruta são provavelmente mais resistentes a abrasividade no beneficiamento e tendem a produzir maior rendimento de grãos inteiros (Toro, 1981; Hosney, 1991).

As proteínas são sintetizadas durante todo o período de frutificação da planta; já o amido é sintetizado após a frutificação, tendo o processo acelerado próximo à maturação. A glutenina (*oryzenina*) representa 80% das proteínas do arroz, enquanto as prolaminas correspondem a teores entre 3 e 5% (Martin & Fitzgerald, 2002).

O processo de industrialização interfere na quantidade de proteínas do arroz. Deste modo, o arroz integral contém aproximadamente 8% de proteína e o branco 7% (Amato *et al.*, 2002). A perda proporcional de proteína através do processamento é maior em arroz com baixo teor de proteína bruta do que em cultivares com alto valor protéico.

2.2. Colheita do arroz

A umidade de colheita está diretamente associada com a qualidade e com o rendimento industrial dos grãos. A colheita realizada em umidades inadequadas pode prejudicar a qualidade e ocasionar redução na conservabilidade e no rendimento do produto, bem como promover uma maior ocorrência de defeitos, os quais se intensificam durante o armazenamento, prejudicando a tipificação na classificação comercial dos grãos, reduzindo sua qualidade e seu valor (Elias, 2000).

O excesso de umidade nos grãos durante o armazenamento representa um dos fatores que resultam na perda do produto, devido à sua associação a outros fatores, como temperatura, umidade relativa e o próprio grão, proporcionando substrato ideal para a proliferação de microrganismos e de insetos (Lamic, 2002).

Fan *et al.* (2000), estudando efeitos da umidade de colheita, do local de cultivo, dos cultivares e das condições de secagem com ar aquecido na qualidade dos grãos, utilizando cultivares de grãos longos (*Kaybonnet* e *Cypress*) e de grãos médios (*Bengal*), colhidos na faixa de 16 a 26% de umidade em dois locais (Stuttgart e Keiser, Arkansas), secos em temperaturas do ar de 43,5; 51,7 e 60°C, observaram que o cultivar, a umidade de colheita, as condições de secagem e a duração da secagem têm efeito significativo na redução do rendimento de grãos inteiros.

Segundo Puzzi (1986), a água contida nos grãos apresenta-se sob três diferentes formas. A primeira é chamada de água adsorvida e encontra-se aderida à superfície sólida do grão; a segunda denomina-se água absorvida, apresentando-se retida por forças capilares nos micro-interstícios do material sólido, enquanto a terceira é denominada água de constituição e encontra-se associada à matéria seca por ligações químicas.

Na prática, não existe um valor específico de conteúdo de água no grão que delimite a separação entre as águas adsorvida e absorvida. Quando da determinação do grau de umidade, a água adsorvida e a água absorvida são consideradas como uma só fração, denominada água livre, passível de ser separada do material sólido sem promover alterações em sua constituição.

O desempenho industrial e a incidência de defeitos nos grãos de arroz são influenciados pelo cultivar e pela umidade de colheita, sendo que a colheita antecipada ou retardada reduz o rendimento de grãos inteiros e provoca aumentos no percentual de grãos com defeitos no beneficiamento convencional (Dias, 1993).

A umidade adequada para realizar a colheita do arroz está entre 18 e 23%, coincidindo entre 28 e 32 dias após a floração. Se o arroz permanecer no campo com umidade abaixo de 15%, o rendimento de grãos inteiros pode baixar a 20% (Chandier, 1994; Elias *et al.*, 2001).

Os grãos são produtos higroscópicos. Por isso, sofrem variações no seu conteúdo de água, de acordo com as condições do ar ambiente que os circundam. A permanência dos grãos na lavoura após a completa maturação fisiológica faz com que fiquem expostos à ação do sol e do orvalho, e/ou chuvas, em processos naturais, alternados, de secagem e reumedecimento, que podem levar a fissuras e trincamentos, comprometendo sua qualidade, favorecendo a aceleração metabólica dos próprios grãos, assim como a ação microbiana, de ácaros e de insetos (Elias, 2000)

O trincamento e a quebra de grãos, especialmente na colheita e na movimentação, mesmo antes da secagem, são fatores que reduzem o seu valor comercial e diminuem a sua conservabilidade durante a estocagem, favorecendo o desenvolvimento de fungos e toxinas, com sérios riscos à saúde humana e dos animais quando do consumo (Elias, 2002a).

O grau de umidade dos grãos pode ser determinado por vários métodos, classificados em diretos e indiretos. Os métodos diretos têm boa exatidão, mas sua execução exige tempo prolongado. A determinação é baseada na perda de peso sofrida pelos grãos de uma amostra de peso conhecido, devido à retirada de toda a água livre que contém, obtendo-se o resultado pela relação entre o peso da água removida e o peso da amostra inicial expressa em percentagem. Os principais métodos diretos são o de estufa, o de destilação e o infravermelho. O de maior importância é o da estufa, devido à sua precisão e à exatidão (Puzzi, 1986).

O método da estufa a $105^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$, com circulação natural de ar, durante 24 horas, sem trituração do material, é o oficial para determinação da umidade de sementes e de grãos no Brasil (Brasil, 1992).

Nos métodos indiretos destacam-se os elétricos, principalmente por sua ampla utilização nas áreas de produção, de beneficiamento e de armazenamento de sementes e de grãos, pois são de fácil manuseio, de leitura direta e apresentam rapidez na operação, medindo o grau de umidade sempre em base úmida, embora sejam menos precisos do que os diretos. Baseia-se no princípio de que as propriedades elétricas das sementes e dos grãos são dependentes, em grande parte, do seu teor de umidade (Puzzi, 1986; Lorini *et al.*, 2002).

Independentemente do método e do aparelho utilizado, a amostragem, a calibragem do equipamento e o seu correto uso são fundamentais para a confiabilidade do resultado (Elias, 2000).

2.3. Industrialização do arroz

No Brasil, o arroz é consumido, principalmente, na forma de grãos inteiros, em três subgrupos de produto: arroz beneficiado polido, arroz parboilizado e arroz integral (Castro *et al.*, 1999).

A primeira operação do beneficiamento do arroz é a limpeza, na qual são retirados as impurezas e materiais estranhos que prejudicam o fluxo do produto no processo, danificando os equipamentos e reduzindo a qualidade do produto final.

No beneficiamento convencional, após a limpeza, os grãos são desprovidos das glumelas (lema e pálea), na operação denominada de descascamento, realizada por máquinas com rolos que giram em sentidos contrários e com velocidades diferentes. Os grãos que não forem descascados são denominados marinheiros e os descascados recebem a denominação de esbramados. Estes podem ser brunidos e/ou polidos, para comercialização como grãos brancos obtidos pelo processo convencional, ou comercializados como arroz integral. Contudo, o período de validade para o consumo desse último é reduzido em relação ao arroz polido devido à maior degradação de seus componentes lipídicos, que ocasionam rancificação e odor desagradável ao produto (Elias, 1998).

A parboilização é um processo hidrotérmico que altera a forma do amido, de cristalina para amorfa, devida ao intumescimento irreversível e à fusão. O processo contribui na redução das perdas de industrialização dos grãos, bem como no incremento do valor nutricional do arroz, além de aumentar a estabilidade no armazenamento e no transporte (Amato *et al.*, 2002).

As técnicas utilizadas no início do processo de parboilização no país eram deficientes em conhecimentos científicos, as quais acarretavam em produtos de baixa qualidade, com a intensificação de algumas características sensoriais indesejadas, como cor, sabor e odor. Esses fatores acabaram limitando a aceitação do arroz parboilizado junto ao consumidor (Luz, 1991). Atualmente essa técnica vem sendo desenvolvida e melhorada através da pesquisa e das atividades das próprias indústrias, mas ainda faltam estudos mais aprofundados no melhoramento das técnicas para que o processo tenha um alto índice de eficiência, resultando com isso um produto final com boa aceitação.

Segundo a legislação brasileira (Brasil, 1988), o arroz parboilizado é definido com “um produto que, ao ser beneficiado, os grãos apresentam uma coloração amarelada, em decorrência do tratamento hidrotérmico”.

O encharcamento dos grãos, no processo de parboilização, tem recebido atenção especial das pesquisas e a sua correta aplicação é elemento fundamental para que se consiga produzir arroz de excelente qualidade, exigência de um número cada vez maior de consumidores. Em alguns cultivares de arroz já se tem determinada a melhor combinação de tempo e temperatura de hidratação, sendo recomendado às indústrias evitar a mistura varietal na parboilização, justamente por haver diferenças significativas no comportamento hidrotérmico de cada cultivar (Elias *et al.*, 2001).

A finalidade do encharcamento é a hidratação adequada do arroz, para permitir a gelatinização do amido (Amato *et al.*, 2002). Na maioria dos cultivares, este teor se situa na faixa de 30 a 36% de umidade (b.s.). O amido contribui grandemente para esta absorção, pois, pela sua estrutura granular, é capaz de sorver água até 30% do seu peso, sem aumentar o volume (Bobbio & Bobbio, 1984).

A operação de encharcamento deve ser rápida, para evitar os processos fermentativos e enzimáticos, que contribuem com características indesejáveis no sabor, na cor e no odor do produto. O encharcamento promove difusão das substâncias solúveis, tornando-as uniformemente distribuídas no grão, bem como para facilitar a transmissão de calor na operação subsequente (Elias, 1988; Amato *et al.*, 2002).

No processo de parboilização quando se realiza o encharcamento com água aquecida evita-se a formação de substâncias pútridas e as fermentações, possibilitando que a água quente possa ser recirculada ou filtrada. O tempo de encharcamento é definido em função das características do arroz, as quais dependem do cultivar, das condições de cultivo e do tempo de armazenamento. O aumento da temperatura da água é um meio para diminuir o tempo da operação, que também pode ser realizado pelo emprego de vácuo ou uso de compostos tensoativos. A gelatinização não ocorre nas camadas internas enquanto a umidade não atingir o centro do endosperma, tornando o produto mais quebradiço durante o beneficiamento (Gutkoski, 1991; Amato *et al.*, 2002).

O beneficiamento do arroz por parboilização possibilita recuperar em parte danos causados aos grãos durante a secagem, como trincamentos e

desestruturação do amido, diminuindo o percentual de grãos quebrados, além de reduzir as perdas de valor nutritivo e aumentar a digestibilidade. Entretanto, intensifica o aparecimento de defeitos gerais e graves (Rombaldi *et al.*, 1998; Silveira, 2000; Elias *et al.*, 2002b).

Segundo Amato *et al.* (2002), as enzimas, concentradas na camada de aleurona e no gérmen, são ativadas pela umidade. Assim as enzimas lipolíticas, atuando sobre os lipídios, proporcionam a rancificação hidrolítica; já as amilolíticas rompem ligações das moléculas de amido e favorecem o acréscimo da intensidade da cor característica do arroz parboilizado, por promoverem um acréscimo de açúcares de baixo peso molecular, os quais são convertidos em açúcares redutores e reagem com os aminoácidos, desencadeando as reações de Maillard, responsáveis pelo escurecimento não-enzimático. Os aminoácidos são liberados pela ação das enzimas proteolíticas sobre as cadeias polipeptídicas.

Alary *et al.* (1977), estudando o efeito da amilase em algumas características do arroz parboilizado, verificaram a existência de uma correlação positiva entre o aumento do teor de amilase e a cor do arroz parboilizado, com reduções dos valores industrial e comercial do produto.

O desenvolvimento da cor do arroz parboilizado é influenciado pela temperatura de parboilização e pelo tempo de autoclavagem, pois a parboilização por longo tempo intensifica a coloração amarelada no grão. A utilização de baixas pressões para a obtenção de arroz parboilizado de coloração clara, associada, contudo, a altas pressões (304kpa equivalente a $3,04\text{kgf.cm}^{-2}$) pode ser usada, mas o tempo de autoclavagem deve ser de poucos minutos, pois nessas condições a cor pode ser bruscamente intensificada (Bhattacharya, 1996).

Os pigmentos presentes na casca também podem ser elementos contribuidores para o incremento da cor através de um processo de difusão, acompanhando a movimentação da água para o interior do endosperma (Wedzicha & Vakalis, 1988).

Büttow (1984) observa que, com o aumento da temperatura da água de encharcamento, a absorção de água e a perda de sólidos solúveis são maiores, diminuindo a percentagem de grãos com casca inteira. Gutkoski (1991) obtém resultados similares. Por outro lado, o tempo de encharcamento torna-se um fator importante em temperaturas acima de 70°C.

Lequerica & Tortosa apud Amato *et al.*, 1991, pesquisando, em nível de laboratório, a parboilização de 6 cultivares de arroz produzidas na Espanha, concluem que a transferência de sólidos solúveis para a água de encharcamento é baixa, em torno de 0,3 a 0,6%. Nestes sólidos, o teor de proteínas é de 7%, representando somente 0,5% das proteínas totais do grão. A abertura de cascas situa-se entre 0,5 a 12%, sendo considerada de magnitude pequena.

O índice de abertura de casca tende a ser mais intenso quando a temperatura no encharcamento estiver acima da temperatura de gelatinização do amido, pois a hidratação será mais rápida e a quantidade de água absorvida será maior. Por outro lado, sob temperaturas baixas diminui a absorção, segundo estudos realizados por Witt *et al.* apud Amato *et al.*, 1991.

Na água de encharcamento são encontrados vários compostos, além de nitrogênio na forma amoniacal, de nitritos, nitratos e matéria orgânica, sendo esta última a principal forma de nitrogênio na água, além de fosfatos, sulfatos e outros nutrientes (Queiroz & Koetz, 1997).

Em estudos realizados nos efluentes das indústrias de arroz parboilizado foi constatado a ocorrência de variações nos valores de pH, fósforo e nitrogênio total por kjeldahl, situando-se em média de 5,76, 100mg.L⁻¹ e 91 mg.L⁻¹ respectivamente, sendo também alterado os valores de carga orgânica (Schulz, 2001; Santos *et al.*, 2002).

Estudos realizados por Nunes (2000), utilizando controle de pH na operação de encharcamento a 60°C, verificaram que a lixiviação de nitrogênio total aumentou com o tempo da operação, sendo a intensidade de lixiviação maior entre duas e quatro horas de encharcamento, diminuindo entre quatro e seis horas, apresentando maior lixiviação deste nutriente quando utilizou água destilada em comparação aos tratamentos com controle de pH, sendo testados valores entre 2 e 6.

Segundo Araújo (1995), o pH ácido facilita a destruição de microrganismos pelo calor, permitindo que se utilize um tempo menor de esterilização ou pasteurização e, portanto, minimizando os efeitos negativos na qualidade do produto.

O pH da água é um fator que influi na coloração dos grãos, pois o arroz tem propriedades que tamponam o pH ao redor de 5. Valores maiores ou menores do que esses intensificam a coloração do arroz. Em pH muito baixo, pode haver

hidrólise de alguns compostos, produzindo açúcares e aldeídos, que afetam o sabor (Gutkoski, 1991; Nunes, 2000).

A intensidade da reação de Maillard aumenta quase que linearmente na faixa de pH 3 a 8 e atinge descoloração máxima na faixa alcalina (pH 9 a 10).

Segundo Gutkoski (1991), em casos de conduções inadequadas do processo, são anuladas as vantagens do arroz parboilizado, podendo ocorrer à redução dos valores industrial e comercial do produto.

O produto resultante da parboilização é um arroz mais resistente à cocção, de cor amarelada e sabor típico. Embora o valor nutricional deste arroz seja maior em função do maior teor de vitaminas hidrossolúveis, as características sensoriais ainda ocasionam uma certa resistência por parte dos consumidores (Elias, 1998; Amato *et al.*, 2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

O experimento foi realizado no Laboratório de Pós-colheita e Industrialização de Grãos, do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” da Universidade Federal de Pelotas.

Foram utilizados grãos de arroz (*Oryza sativa* L.) do cultivar Supremo I, pertencente à classe grão longo fino, produzido na região sul do Rio Grande do Sul, na safra 2001/2002, colhidos com 21% de umidade, cedidos pela empresa Palma Agroindustrial Ltda., município de Capão do Leão.

Esse cultivar é recomendado pela pesquisa para cultivo irrigado em sistema submerso e suas principais características são: bom vigor inicial, alta capacidade de afilamento, estatura média (85cm), resistente ao acamamento, ciclo médio (121-135 dias) e potencial de produtividade acima de 8.000 kg.ha⁻¹. Os grãos desse cultivar apresentam em média 6,9 mm de comprimento, 1,9 mm de largura, relação comprimento/largura de 3,6 mm, apresenta aparência vítrea e grãos gessados de 0,25 em escala de (0 a 5).

3.2. Metodologia

3.2.1 Operações de beneficiamento industrial

3.2.1.1. Limpeza e seleção

Os grãos, ao darem entrada no Laboratório de Grãos foram inicialmente limpos em máquina de ar e peneira cilíndrica marca Intecnial modelo Sintel, e imediatamente agrupados em quatro faixas de umidade, sendo três delas sem que os grãos fossem secados artificialmente, respectivamente, ao redor de $20\pm 0,5$, $18\pm 0,5$, $16\pm 0,5\%$. A quarta parcela foi constituída por grãos colhidos com 21% e secados a $13\pm 0,5\%$ de umidade, em processo estacionário, com ar na temperatura de 40°C . As isotermas de hidratação foram obtidas por metodologia desenvolvida no Laboratório de Industrialização e Pós-Colheita de Grãos, Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” da Universidade Federal de Pelotas (Elias, 1998).

3.2.1.2 Encharcamento

Após limpas e selecionadas, as amostras de cada faixa de umidade foram acondicionadas em sacos de filó, com 60g de arroz com casca.

As amostras de 60g foram colocadas em recipientes de alumínio, sendo então completada a quantidade de água a uma relação mássica real grão/água de 1:1,5, a uma temperatura 2°C acima da temperatura da água de encharcamento e imediatamente colocada no tanque, contando-se, a partir daí, o tempo de imersão.

No encharcamento das amostras, foram utilizados protótipos de tanques de encharcamento dotados com resistência elétrica e termostato, sendo que a temperatura da água ajustada para $60\pm 2^{\circ}\text{C}$, $65\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $70\pm 2^{\circ}\text{C}$. Durante as 6 horas de encharcamento foram retiradas amostras em triplicata a cada 30 min.

3.2.1.3. Escorrimento e centrifugação

O escorrimento foi realizado assim que terminou o tempo de imersão, sendo então as amostras retiradas dos tanques e colocadas sobre telas por dois minutos, para promover o escorrimento da água. Após a etapa de escorrimento, as amostras passavam por uma centrifugação para retirada de toda a água em excesso na superfície do grão.

A centrifugação foi realizada em centrífuga FANEM modelo 206 MP, onde era colocado um chumaço de algodão no fundo de cada cápsula, encoberto por uma cápsula menor, evitando que a água centrifugada ficasse em contato com a amostra. Eram necessários 2 minutos e 30 segundos, a 2.700rpm, para eliminação da água externamente aderida ao grão.

O comportamento hidrotérmico dos grãos foi avaliado segundo a metodologia desenvolvida no Laboratório de Industrialização e Pós-Colheita de Grãos (Elias, 1998), sendo a água sorvida pelas cariopses determinada a partir da diferença de peso após centrifugação, em cada tempo de coleta, enquanto as isotermas de hidratação foram obtidas por regressão polinomial.

3.2.1.4. Autoclavagem

A autoclavagem foi realizada em autoclave horizontal modelo FABBE -104C, a $110 \pm 1^\circ\text{C}$, em pressão de $0,4 \pm 0,05 \text{kgf.cm}^{-2}$, equivalente a $40 \pm 5 \text{kpa}$, por 10 minutos para cada amostra.

3.2.1.5. Secagem

A secagem foi realizada em protótipo de secador estacionário modelo Vitória, o qual é dotado de motor bifásico e resistências elétricas. A temperatura do ar no secador foi ajustada para não ultrapassar 40°C e as amostras permaneceram no secador até atingirem a faixa de 13% de umidade.

3.2.1.6. Temperagem

Na temperagem, as amostras permaneceram em repouso, por 48 a 72 horas, para permitir o completo equilíbrio termo-hídrico dos grãos antes do descascamento.

3.2.2. Análises da matéria-prima

3.2.2.1. Umidade

A determinação da umidade dos grãos foi realizada pelo método da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, com circulação natural de ar, por 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992). Foram utilizadas três repetições, com 10g, para cada amostra. Os resultados foram expressos em percentagem de umidade.

3.2.2.2. Determinação do teor de amilose

A determinação do teor de amilose nas amostras foi realizada através do método colorimétrico, sendo utilizado espectrofotômetro digital marca Micronal modelo B 342 II, ajustando o comprimento de onda para 610nm. O método se fundamenta na capacidade da amilose de formar complexos com o iodo. Estes complexos produzem coloração azul, que poderá ser de maior ou menor intensidade dependendo da quantidade de amilose, podendo ser lida pelo aparelho. Foi utilizada uma adaptação do método proposto por Martinez y Cuevas (1989).

A amostra foi descascada, polida e a seguir moída e peneirada em malha de 60mesh. Pesou-se três repetições de 0,1g para cada amostra e 0,04g de amilose pura, as quais foram colocadas em balões de 100mL, sendo acrescentados 1mL de álcool etílico e 9mL de NaOH a 1%N. A seguir, as amostras foram colocadas em banho-maria a 100°C por 10 minutos. Quando resfriadas, foram diluídas com água e depois de retirada uma alíquota de 5mL para outro balão, foram acrescentados 1mL de ácido acético e 2mL de iodo e novamente diluídos, completando-se o volume do balão com água destilada. Do balão com amilose foram tiradas alíquotas de 1, 2, 3,

4 e 5mL, acrescentando-se 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1mL de ácido acético e 0,4, 0,8, 1,2, 1,6 e 2mL de iodo, respectivamente, completando os balões com água destilada.

A leitura no espectrofotômetro ocorria no comprimento de onda de 610nm e os resultados das absorvâncias foram multiplicados pelo fator obtido com a média dos valores lidos com as amostras de amilose pura.

3.2.2.3. Temperatura de gelatinização

Foi utilizado o teste de dispersão alcalina (Martinez & Cuevas, 1989), adaptado, que consiste na distribuição uniforme de 10 grãos de arroz em placas de Petri identificadas. Sobre os grãos agrega-se 10mL de hidróxido de potássio na concentração de 1,7%, levando-se à estufa a 30°C, durante 23 horas.

A temperatura de gelatinização foi determinada através de atribuições de notas de 1 a 7 aos grãos de acordo com o grau de dispersão apresentado. O grau de dispersão da amostra é a média ponderada obtida entre as notas dos 10 grãos.

TABELA 1 - Dispersão alcalina e temperatura de gelatinização do arroz

Autor da Escala	Dispersão alcalina (graus de dispersão)	Temperatura gelatinização (°C)	Classe
Guimarães (1989)	1 - 2	75 - 79	Alta
	3 - 4 - 5	70 - 74	Intermediária
	6 - 7	55 - 69	Baixa
Martinez & Cuevas (1989)	1 - 2 - 3	74 - 80	Alta
	4 - 5	69 - 73	Intermediária
	6 - 7	63 - 68	Baixa
Toro <i>et al.</i> (1990); Jennings <i>et al.</i> , (1981)	1 - 2 - 3	>74	Alta
	4 - 5	70 - 74	Intermediária
	6 - 7	<70	Baixa

O grau de dispersão é classificado em escala de 1 a 7, de acordo com a seguinte convenção:

- 1 – grãos não afetados;
- 2 – grãos inchados;
- 3 – grãos inchados, com ligeiras aberturas e ligeira dispersão ao redor;
- 4 – grãos inchados, um pouco abertos com dispersão ao redor;

5 – grãos totalmente abertos, com formação de uma larga dispersão ao redor;

6 – grãos quase totalmente dispersos, quase não se observando sua forma;

7 – grãos totalmente desintegrados, freqüentemente só se observa o embrião.

3.2.2.4. Índice de abertura de casca

O índice de abertura de casca foi avaliado a cada 30 minutos de encharcamento após o processo de parboilização, sendo observados grãos com abertura excessiva de casca em amostras de 15g, realizando-se em triplicata as pesagens em balança analítica com precisão de quatro casas, segundo metodologia previamente determinada através de testes operacionais no próprio laboratório.

É considerada abertura normal a representada pela existência de fenda de qualquer dimensão, desde que a casca encubra toda a cariopse quando, pressionada manualmente. Quando, por compressão manual, qualquer parte da cariopse permanece se descoberta é considerado abertura excessiva de casca.

3.2.2.5. Desempenho industrial

A renda de descascamento, o rendimento de grãos inteiros e a incidência de defeitos foram avaliados de acordo com os termos oficiais das portarias nº 269, de 17 de novembro de 1988 e nº 1, de 09 de janeiro de 1989, do Ministério da Agricultura (Brasil, 1988).

3.2.2.6. Percentagem de grãos não-gelatinizados

A determinação da percentagem de grãos não-gelatinizados foi realizada pelo método das placas polarizadas, onde grãos de arroz parboilizados são submetidos à ação da luz polarizada. Utilizando o conjunto de polarização: placas tipo Polaroid HN32, de 15x15cm, com fonte luminosa fluorescente de 20W.

Os grãos que se apresentam totalmente opacos ou leitosos são considerados como não-gelatinizados, sendo estes expressos em percentagem do total amostrado (Amato, 1989), com adaptações. Avaliou-se também a intensidade de gelatinização, através de uma escala representada pela percentagem dos grânulos de amido

gelatinizados no grão, os quais foram agrupados em grãos 100% translúcido, 50% do grão translúcido, 25% do grão translúcido e totalmente opaco (não-gelatinizado), correspondendo, respectivamente a grãos com 100, 50, 25 e 0% da cariopse gelatinizada.

3.2.3. Análises na água de encharcamento

3.2.3.1 Sólidos solúveis totais

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado a cada 30 minutos usando-se o método descrito pela APHA (1998).

3.2.3.2 Sólidos dissolvidos totais

O teor de sólidos dissolvidos totais foi determinado a cada 30 minutos usando-se o método descrito pela APHA (1998).

3.2.3.3 pH

O pH foi determinado a cada 30 minutos, em peagâmetro digital marca Micronal modelo B 374 II de acordo com o método 4.7.2 das Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (Pregnoatto & Pregnoatto, 1985).

3.2.3.4 Turbidez

A turbidez foi determinada a cada 30 minutos, utilizando-se amostra filtrada em papel de filtro qualitativo (Ref: 300,087), Realizavam-se leituras de absorbância em espectrofotômetro digital marca Micronal, modelo B 342 II, ajustando o comprimento de onda para 400nm, sendo este previamente determinado através de testes operacionais, tendo a água destilada como parâmetro de referência.

3.2.4. Delineamento experimental

O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x3x12 (umidade inicial x temperatura de encharcamento x tempo de encharcamento), sendo utilizadas três repetições para cada tratamento. As comparações entre as médias foram realizadas através do teste de Tukey, a 5% de significância. Utilizando o software para análises estatísticas Winstat, desenvolvido na UFPEl (Machado, 2003).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 02, são apresentados os resultados correspondentes aos parâmetros tecnológicos, amilose e dispersão alcalina dos grãos de arroz, cultivar Supremo I, submetido ao processo de beneficiamento convencional.

TABELA 02 - Propriedades funcionais em grãos de arroz, cultivar Supremo I, beneficiado pelo processo convencional¹

Amilose (%)	Amilose/ amilopectina	Dispersão alcalina*
32	0,47	7,0

1 – O valores apresentados são médias aritméticas de três repetições.

* corresponde a nota média de três repetições com 10 grãos, avaliados pela dispersão alcalina em solução de 1,7% de KOH.

O teor de amilose obtido permite enquadrar o cultivar Supremo I na classe alta de conteúdo de amilose. O conteúdo de amilose no grão é considerado baixo, quando inferior a 22%; médio, entre 23 e 27%; e alto quando superior a 28% (Martinez & Cuevas, 1989). Segundo a metodologia utilizada, o cultivar apresenta temperatura de gelatinização considerada baixa, situando-se entre 63 a 68°C.

A relação amilose/amilopectina é fator preponderante na diferenciação dos cultivares no encharcamento, sendo esta que determina a quantidade de água absorvida pelos grãos. Grãos com teores de amilose abaixo de 30% apresentam maior facilidade de absorção de água quando comparados com teores superiores. Os valores apresentados são semelhantes aos relatados por outros autores (Müller, 1999; Monks, 2001).

4.1. Comportamento hidrotérmico dos grãos

Os resultados das isotermas de hidratação do arroz, cultivar supremo I, em função da umidade inicial dos grãos, do tempo e da temperatura na operação de encharcamento, estão apresentados nas Figuras 01 a 07.

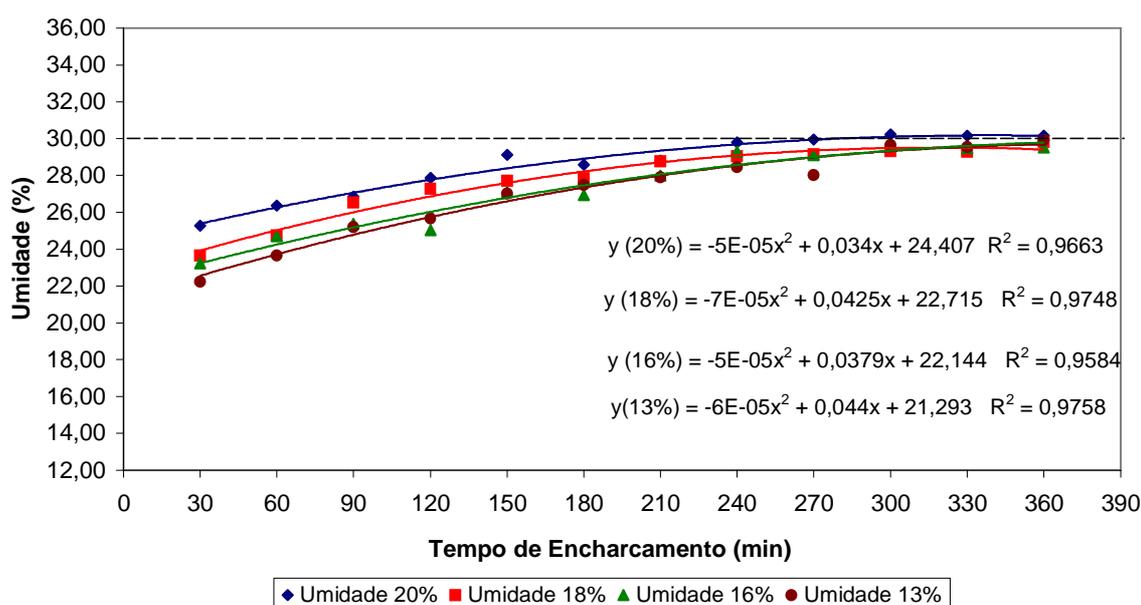


Figura 01 - Isotermas de hidratação do arroz, cultivar Supremo I, submetido ao encharcamento a 60°C, durante 360 minutos, a partir de quatro umidades iniciais.

As isotermas de hidratação indicam o comportamento hidrotérmico do cultivar no processo de parboilização. De acordo com os resultados, observa-se que a umidade inicial e a temperatura de encharcamento influenciam o tempo necessário para os grãos atingirem o equilíbrio hídrico em valor técnico operacional.

No encharcamento a 60°C (Figuras 01, 04 a 07), a umidade dos grãos do cultivar Supremo I atinge o equilíbrio técnico operacional em valores próximos a 30%. Em operação a 65°C (Figuras 02, 04 a 07) esse valor se aproxima de 32% e quando a 70°C (Figuras 03, 04 a 07) ele se encontra próximo a 34%. Mudam, nesses casos, os tempos de operação, em função também da umidade inicial dos grãos (Figuras 01 a 07).

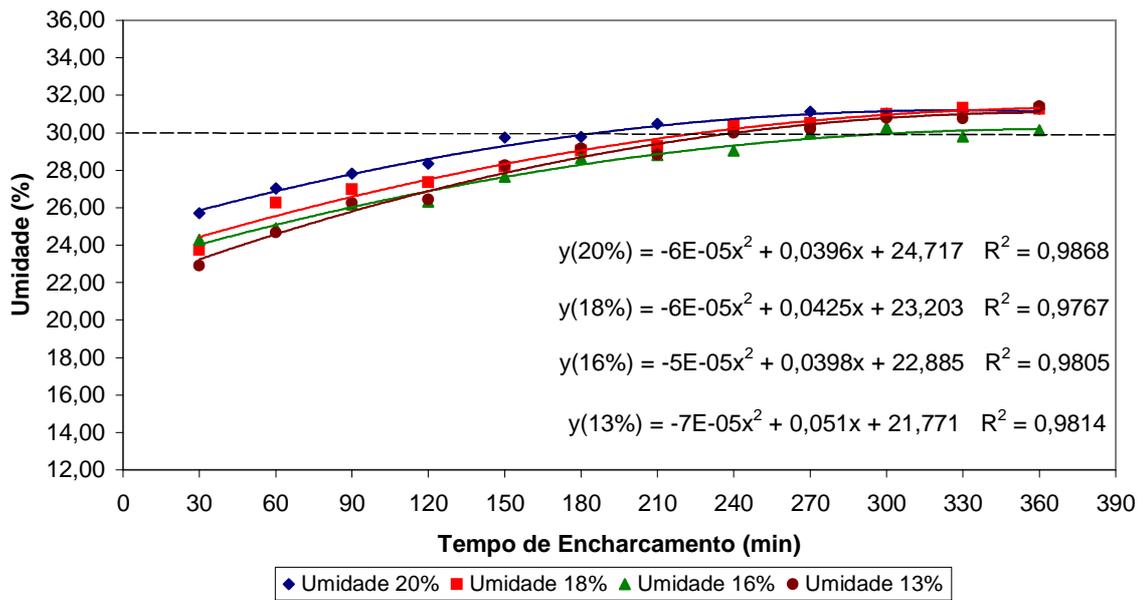


Figura 02 - Isotermas de hidratação do arroz, cultivar Supremo I, submetido ao encharcamento a 65°C, durante 360 minutos, a partir de quatro umidades iniciais.

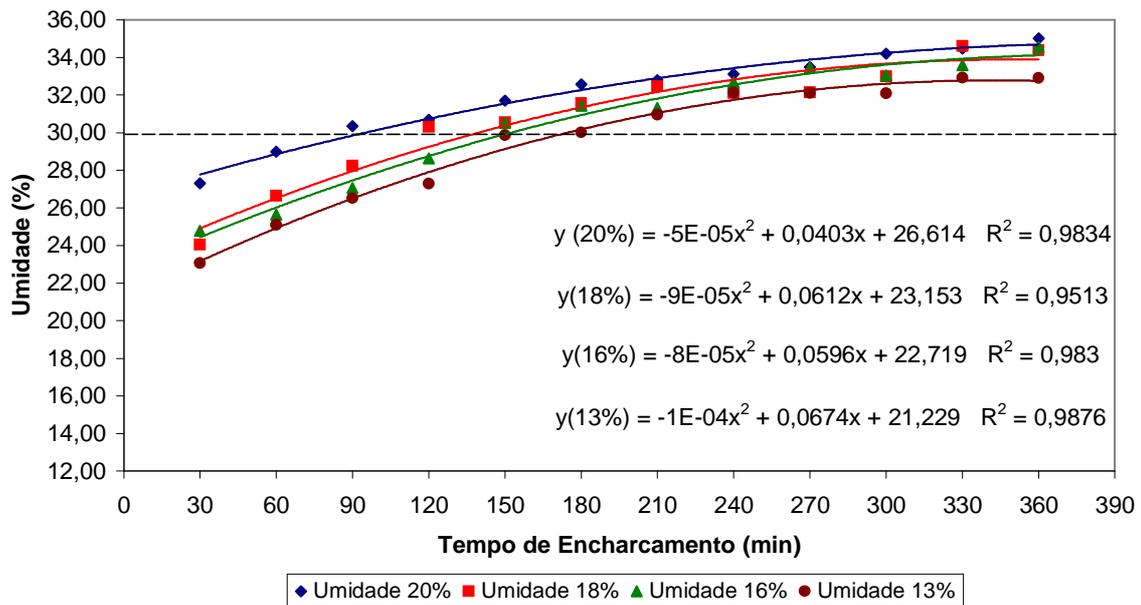


Figura 03 - Isotermas de hidratação do arroz, cultivar Supremo I, submetido ao encharcamento a 70°C, durante 360 minutos, a partir de quatro umidades iniciais.

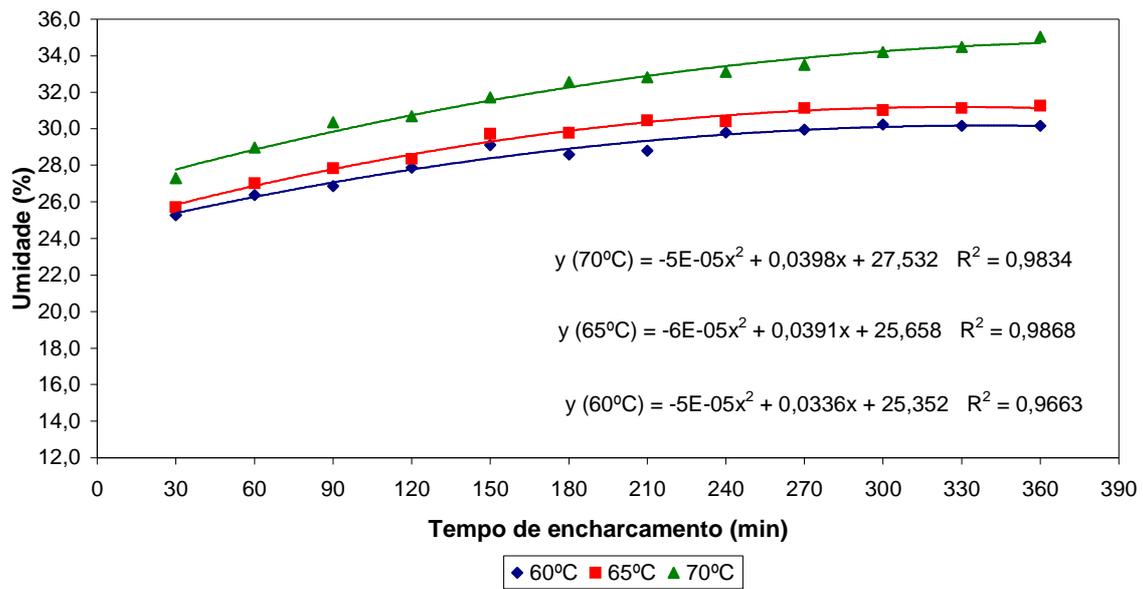


Figura 04 – Isotermas de hidratação do cultivar Supremo I, com umidade inicial dos grãos de 20%, submetidas ao encharcamento em três temperaturas.

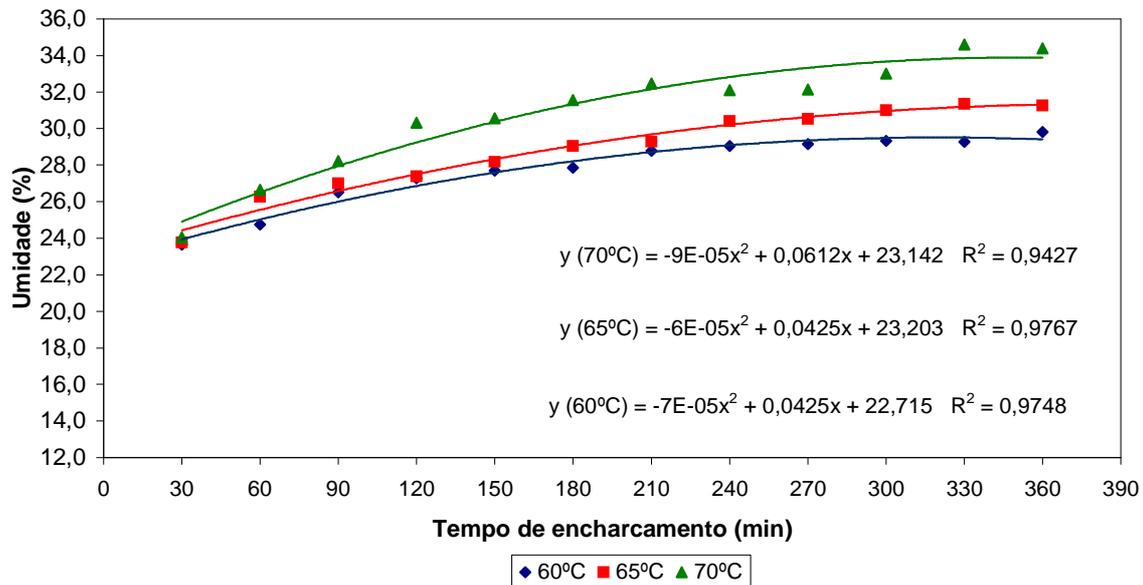


Figura 05 - Isotermas de hidratação do cultivar Supremo I, com umidade inicial dos grãos de 18%, submetidos ao encharcamento em três temperaturas.

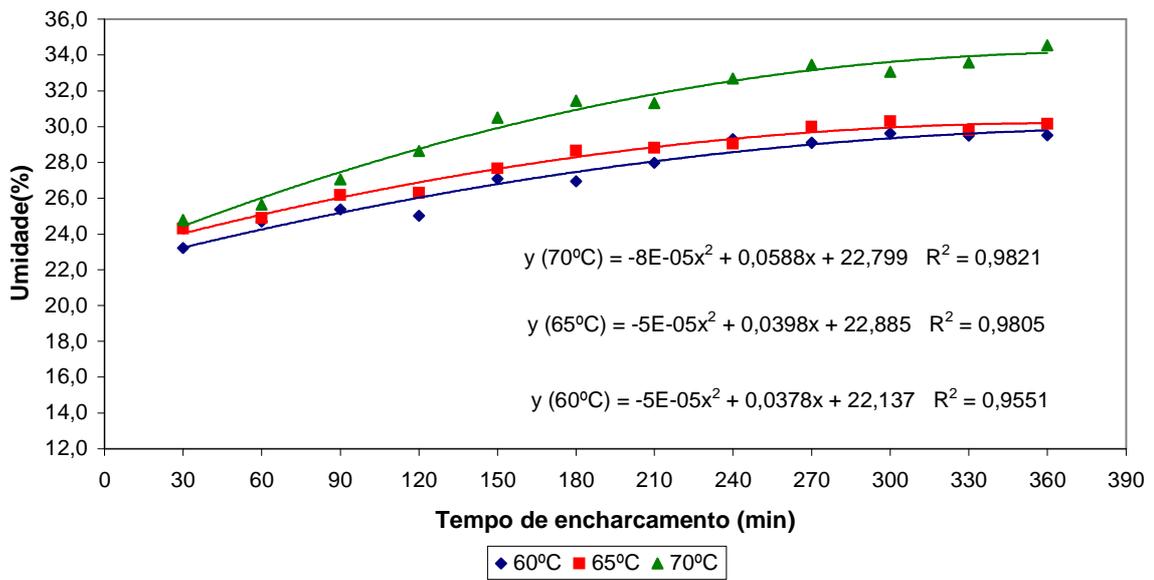


Figura 06 - Isotermas de hidratação do cultivar Supremo I, com umidade inicial dos grãos de 16%, submetidos ao encharcamento em três temperaturas.

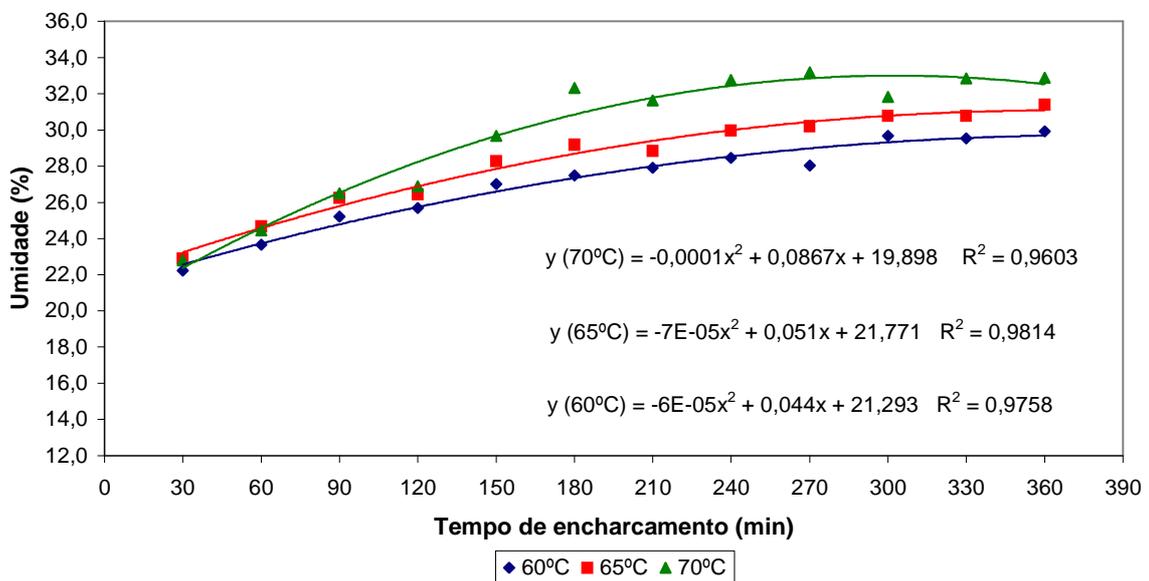


Figura 07 - Isotermas de hidratação do cultivar Supremo I, com umidade inicial dos grãos de 13%, submetidos ao encharcamento em três temperaturas.

Nos grãos com umidade superior a 18%, verificou-se que podem ser submetidos à operação de encharcamento em tempo menor (aproximadamente 1 hora) do que o utilizado para grãos secados a 13% (Figura 01). Para o cultivar

Supremo I, o tempo de encharcamento de 4h30min é suficiente para a hidratação técnica dos grãos com umidade inicial superior a 18%, enquanto grãos com umidade entre 13 e 18% necessitam 5h30min, no encharcamento a 60°C. Em operação a 65°C o comportamento dos grãos é semelhante, mas com tempos menores e umidades maiores.

Na temperatura de 70°C, os grãos tenderam a atingir o equilíbrio hídrico com umidades elevadas, mais distantes entre si. Também houve o rompimento excessivo da casca (Figuras 08 a 10), propiciando maior lixiviação de compostos para a água de encharcamento (Figuras 11 a 16), além de afetar a estrutura dos grânulos de amido e causar deformações aos grãos.

Nas Figuras 08, 09 e 10 estão apresentados os resultados do índice de abertura excessiva de casca, nas diferentes condições de encharcamento dos grãos de arroz. Observa-se que o aumento do tempo e da temperatura na operação de encharcamento resulta no acréscimo do percentual de grãos com abertura excessiva de casca. A temperatura e tempo de encharcamento também interferem na quantidade de água absorvida e na velocidade de difusão desta (Figuras 01 a 07). Quanto maiores forem esses parâmetros, mais intensa é as deformações e isso se reflete na abertura de casca e nos defeitos (Tabelas 13 a 19), principalmente em grãos danificados.

A casca do arroz é composta predominantemente de pentoses, celulose, lignina e cinzas. Essas substâncias formam uma estrutura rígida, ou seja de pouca elasticidade, ocasionando um rompimento da casca quando o grão absorve água e aumenta o seu volume. Além disso, como a casca do arroz é formada pelas brácteas pálea e lema unidas por soldadura imperfeita, quando das dilatações resultantes da absorção de água aquecida e a higroscopicidade é diferente na casca e na cariopse, o encharcamento dos grãos tendem a ser acompanhados de abertura de casca, se excessiva, há problemas no processo.

Índices aceitáveis de abertura de casca estão em torno de 5 a 12% relato de Amato (1991). Comportamentos similares foram observados no encharcamento a 60°C (Figura 08) independente da umidade inicial dos grãos. Já nas temperaturas de 65 e 70°C (Figura 09 e 10), esses índices máximos foram ultrapassados após 4 e 3 horas de encharcamento, respectivamente, em qualquer que seja a umidade inicial considerada.

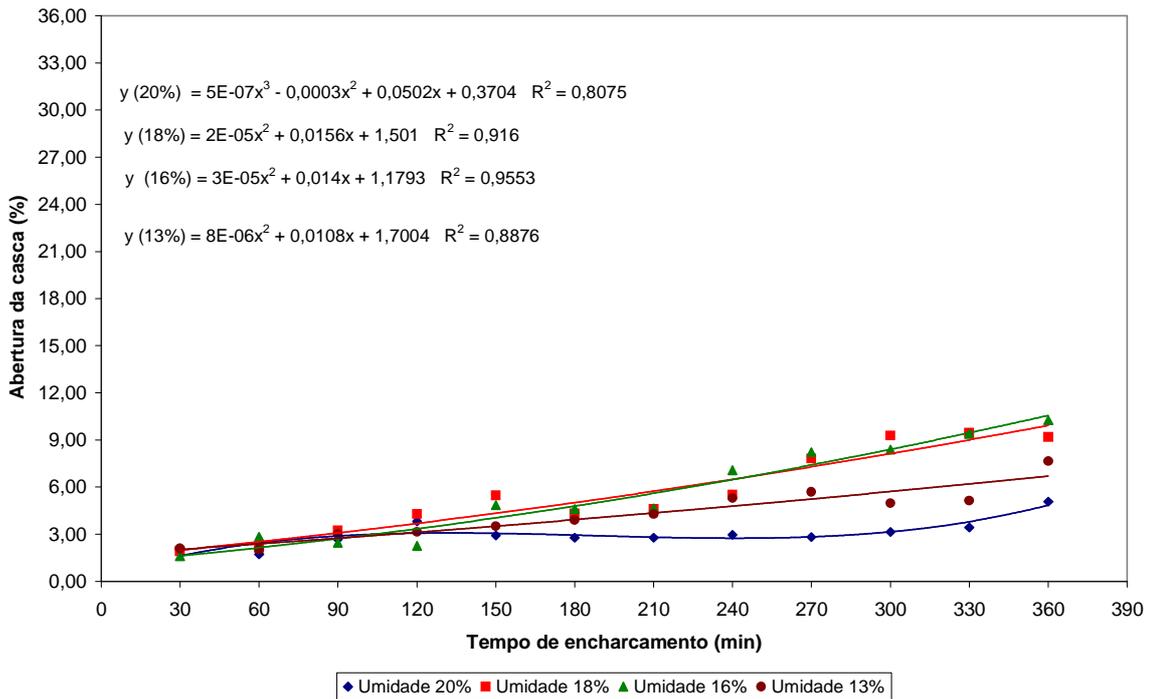


Figura 08 - Índice de abertura excessiva de casca em grãos de arroz, cultivar Supremo I, submetido ao encharcamento a 60°C, durante 360 minutos, a partir de quatro umidades iniciais.

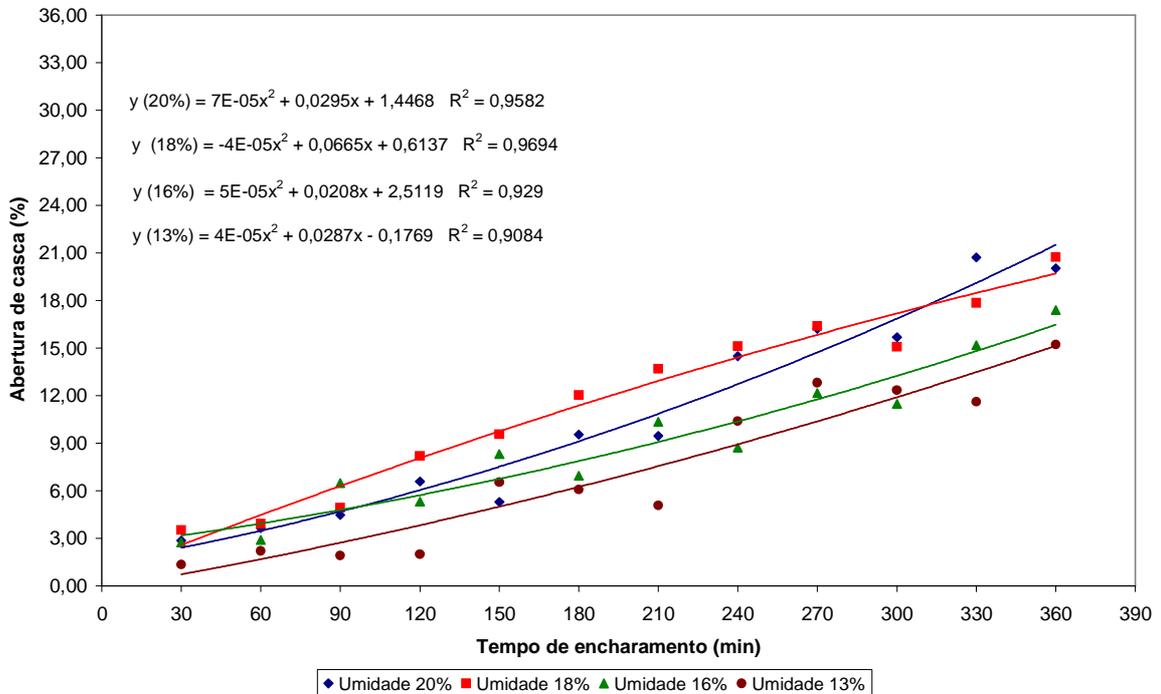


Figura 09 – Índice de abertura excessiva de casca em grãos de arroz, cultivar Supremo I, submetido ao encharcamento a 65°C, durante 360 minutos, a partir de quatro umidades iniciais.

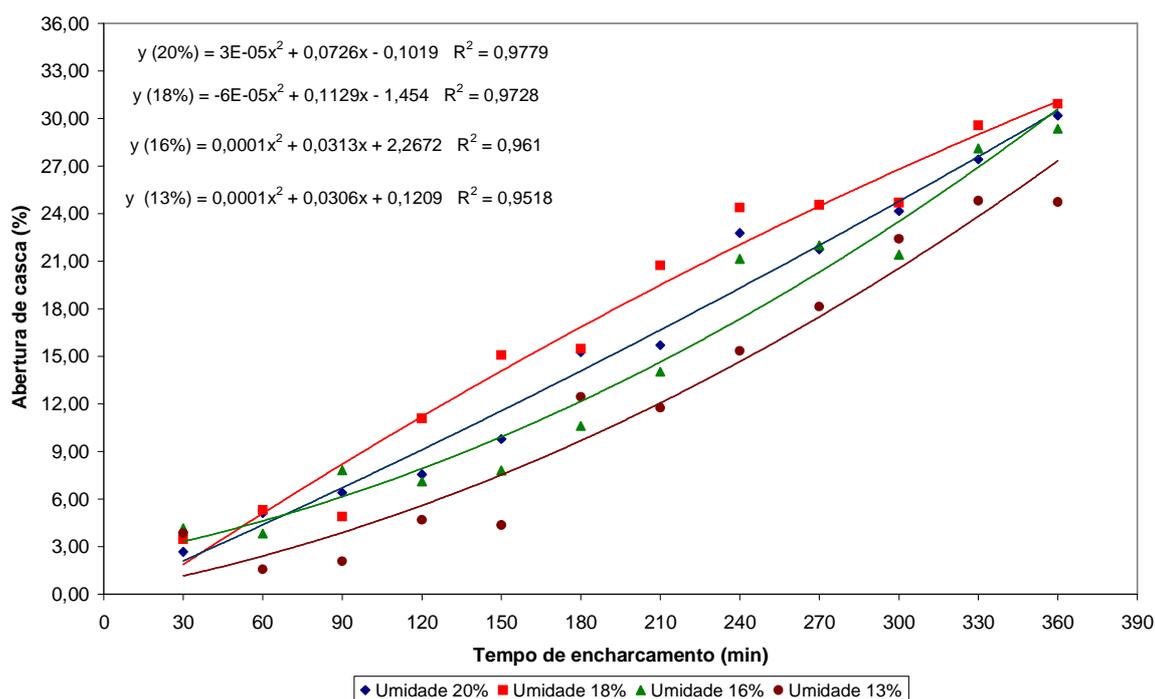


Figura 10 – Índice de abertura excessiva de casca em grãos de arroz, cultivar Supremo I, submetido ao encharcamento a 70°C, durante 360 minutos, a partir de quatro umidades iniciais.

Os índices elevados de abertura de casca em grãos de arroz encharcados com temperaturas acima de 60°C podem ser explicados pela velocidade de absorção de água dos grãos. Além disso as elevadas temperaturas propiciam absorção intensa de água, acima da capacidade de absorção do amido, podendo ocorrer deformação dos grânulos. Isso é mais evidente nas operações de encharcamento com temperaturas próximas à de gelatinização do amido.

Outros autores (Amato *et al.*, 2002) fazem referências ao fato de que a redução do tempo de encharcamento é obtida pelo acréscimo da temperatura, no entanto, pode ocorrer aumento da abertura de casca nos grãos, fenômeno conhecido internacionalmente pela palavra inglesa *splitting*.

4.2. Parâmetros físicos e químicos da água de encharcamento

Os resultados das análises de sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, pH e turbidez da água de encharcamento, nas diferentes condições de parboilização, estão apresentados nas Figuras de 11 a 22. Esses parâmetros são importantes no monitoramento da qualidade do arroz parboilizado e também podem ser utilizados na caracterização do efluente, definindo os métodos para controlá-los.

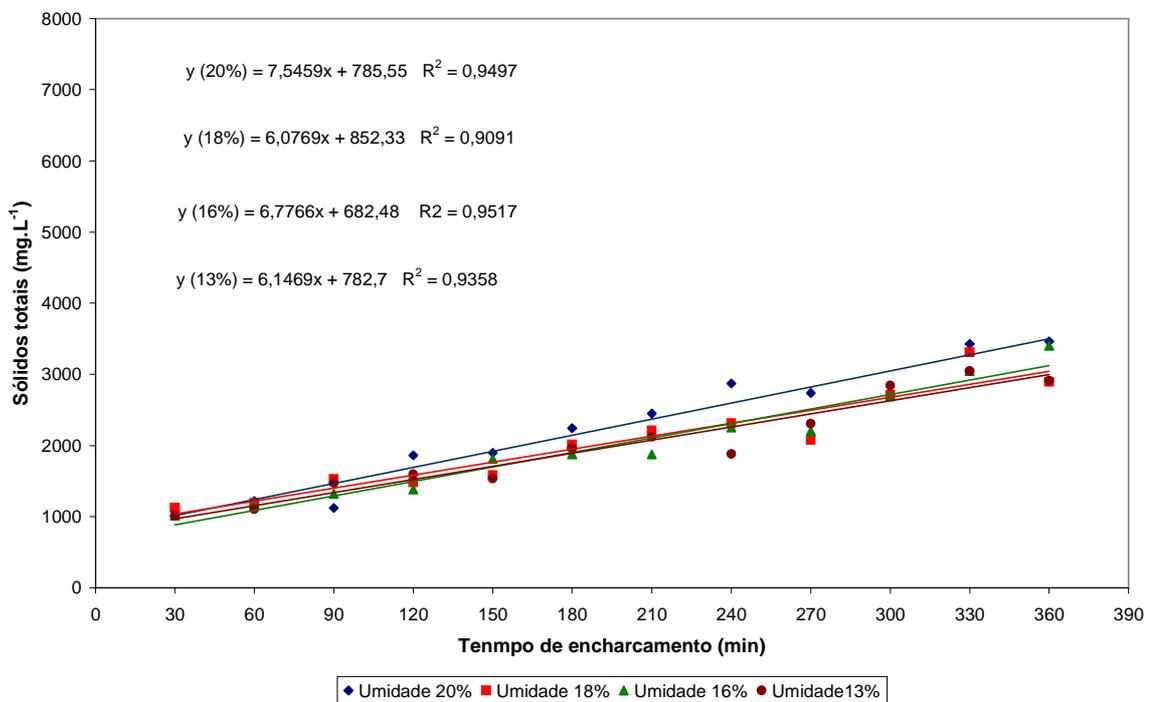


Figura 11 - Sólidos totais na água de encharcamento do arroz, realizado com quatro umidades iniciais dos grãos a 60°C.

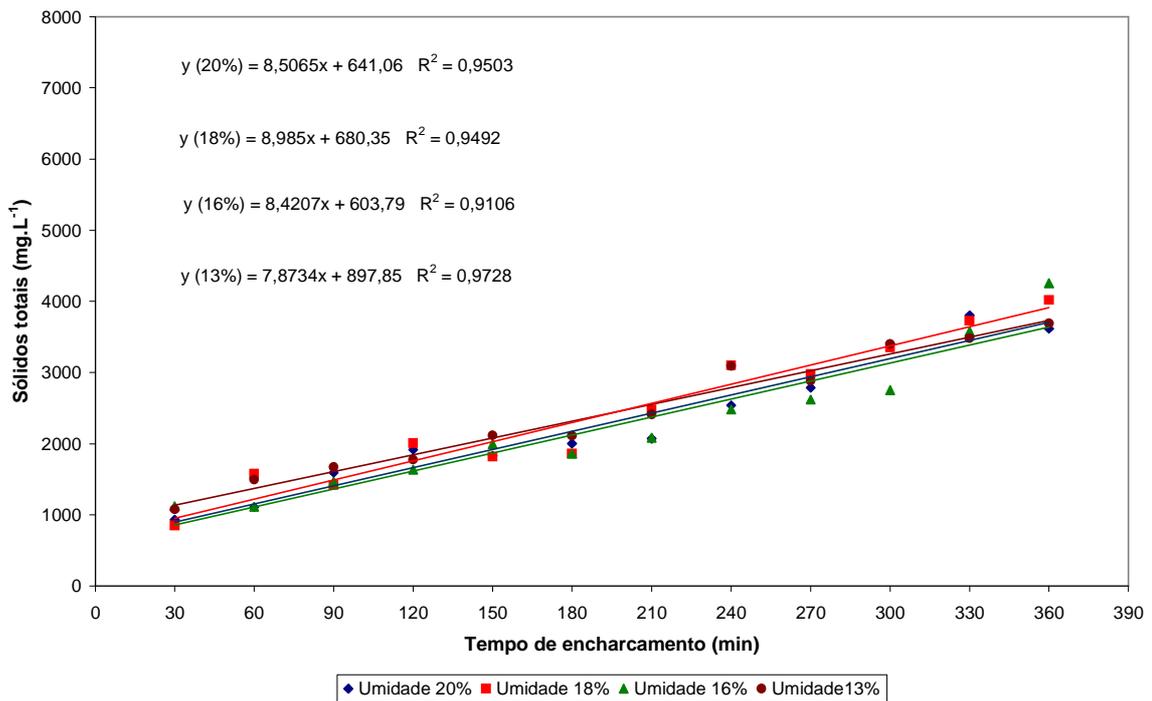


Figura 12 - Sólidos totais na água de encharcamento do arroz, realizado com quatro umidades iniciais dos grãos a 65°C.

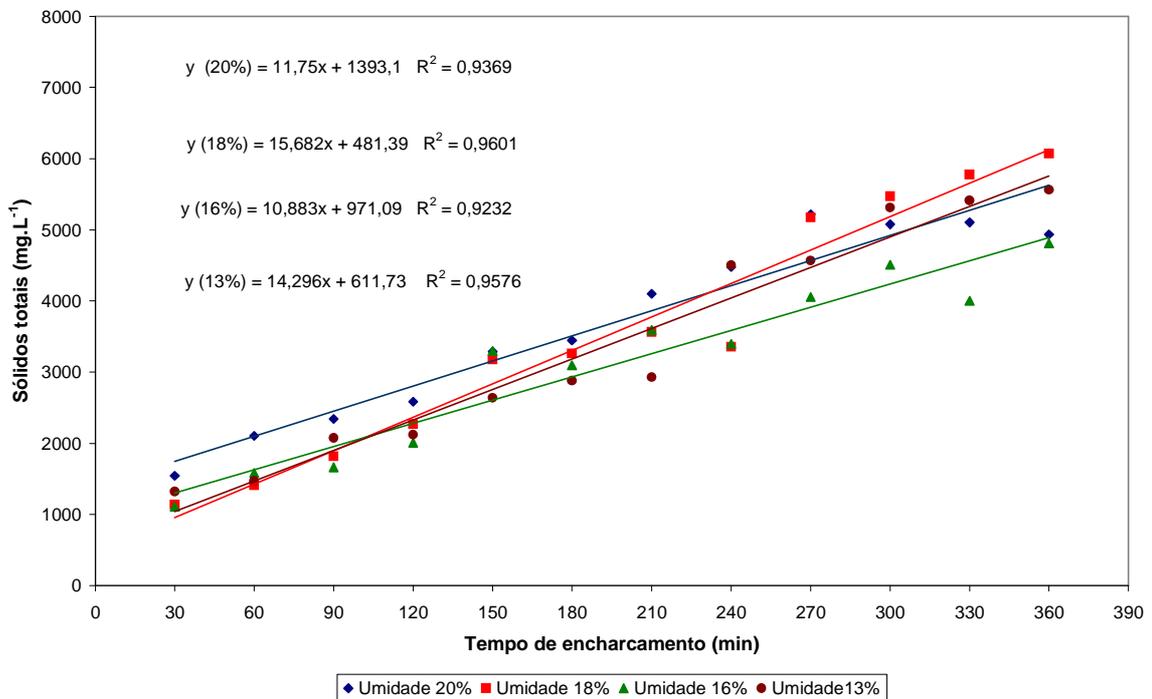


Figura 13 - Sólidos totais na água de encharcamento do arroz, realizado com quatro umidades iniciais dos grãos a 70°C.

Os teores de sólidos totais indicam o total de resíduos orgânicos e minerais presentes na água de encharcamento. De acordo com os resultados (Figuras 11 a 13), observa-se um incremento desses teores em função do aumento do tempo e da temperatura na operação de encharcamento, sendo que a intensidade da lixiviação é maior nas temperaturas maiores (Figura 13), o que é explicado pelo aumento da difusão da água no grão, e conseqüentemente, a transferência de compostos hidrossolúveis para o meio líquido. Observa-se também que a umidade inicial não influencia na intensidade de lixiviação.

O aumento de temperatura provoca também aumento de arraste de compostos não hidrossolúveis para a água de encharcamento.

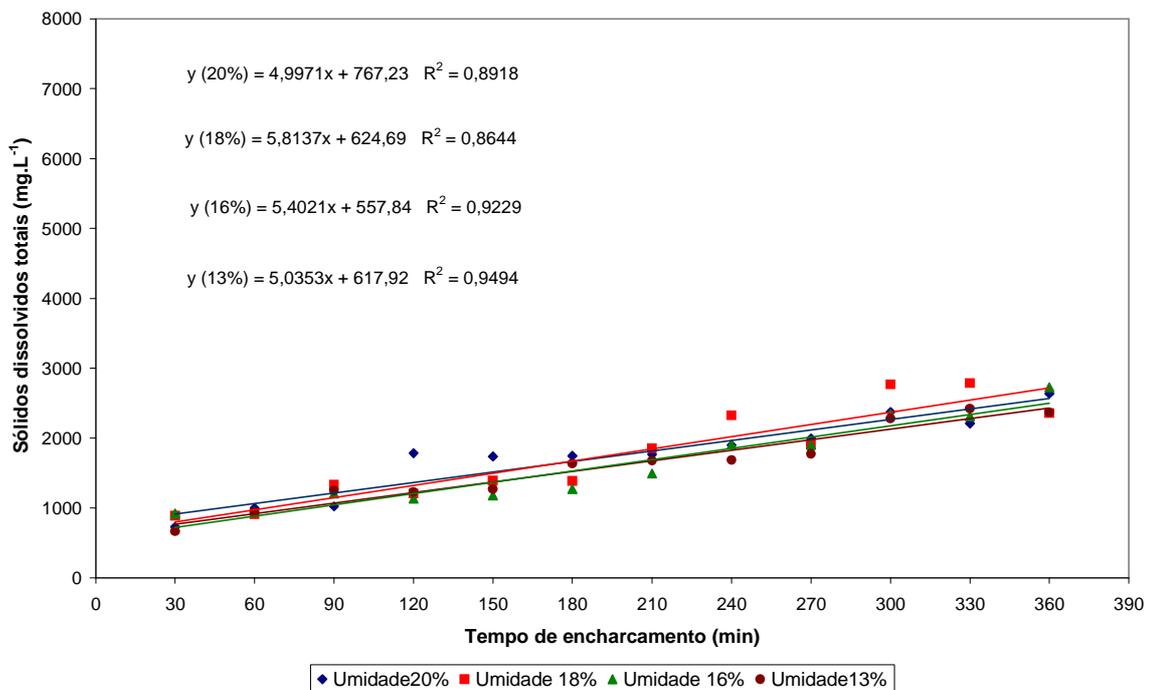


Figura 14 - Sólidos dissolvidos totais na água de encharcamento do arroz, realizado com quatro umidades iniciais dos grãos a 60°C.

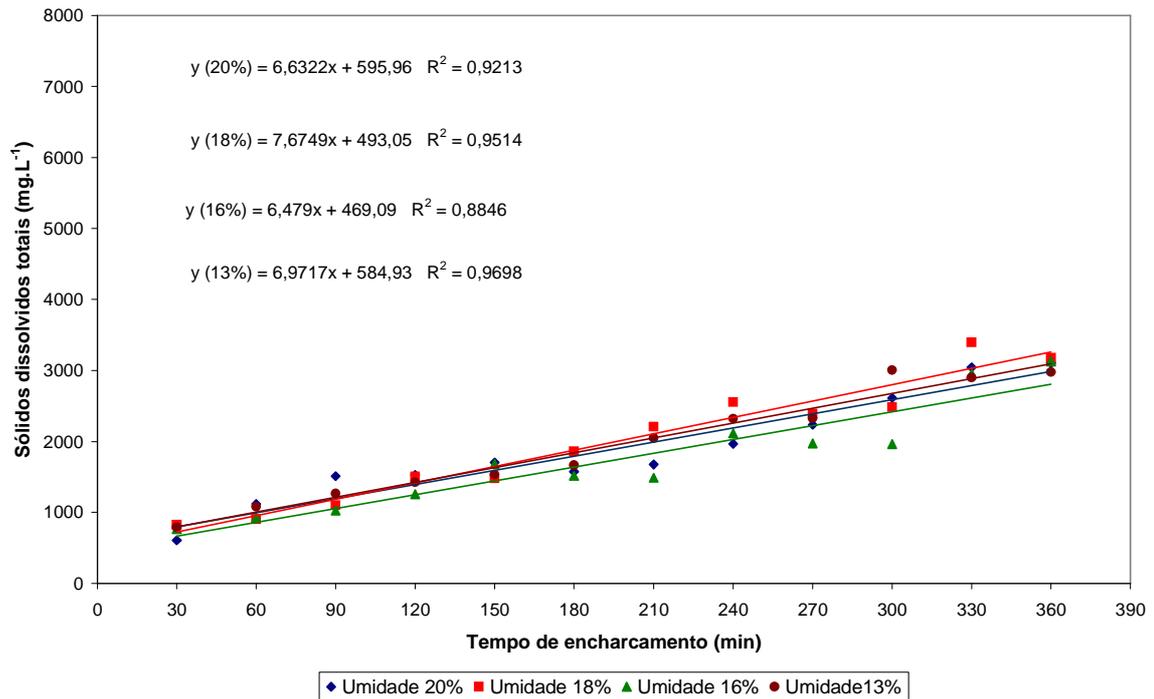


Figura 15 - Sólidos dissolvidos totais na água de o encharcamento do arroz, realizado com quatro umidades iniciais dos grãos a 65°C.

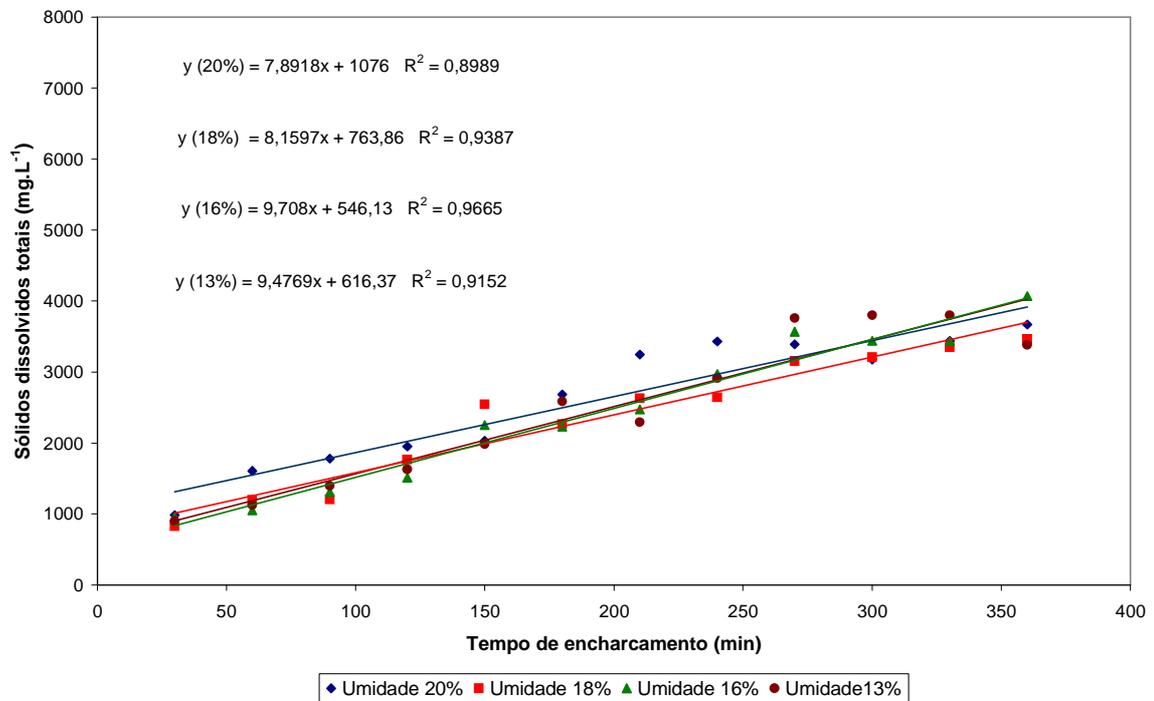


Figura 16 - Sólidos dissolvidos totais na água de encharcamento do arroz, realizado com quatro umidades iniciais dos grãos a 70°C.

Observa-se aumento do teor de sólidos dissolvidos totais em função do aumento do tempo e da temperatura na operação de encharcamento, o que representa a perda de componentes hidrossolúveis para a água, sendo a intensidade de lixiviação maior nas temperaturas maiores. Os comportamentos similares das diferentes umidades iniciais de encharcamento indicam que essas não apresentam influência na intensidade de lixiviação.

Os resultados não diferem substancialmente das observações registradas por Amato *et al.* (2002), segundo o qual, na operação de encharcamento, os grãos de arroz recebem constituintes do meio externo e, ao mesmo tempo, aportam à água outros compostos, sendo liberados por lixiviação para o meio os mais diversos compostos químicos, como fenóis, fosfatos, hemiceluloses, aminoácidos e açúcares. Durante a operação de encharcamento ocorrem perdas de compostos, que podem atingir até 3% da massa comestível. Essas perdas são proporcionais ao tempo e à temperatura na operação.

Nas Figuras 17 a 19 podem ser observados os valores de pH da água de encharcamento em função do tempo e da temperatura de encharcamento. O tempo é a variável de maior importância para a alteração do pH, havendo um decréscimo dos valores, ao longo do período de encharcamento. A umidade inicial dos grãos e a temperatura da água não influenciaram nas alterações de pH durante o encharcamento.

Embora não haja registro na literatura consultada a respeito da influência da umidade inicial dos grãos no encharcamento sobre a variação do pH, a diminuição dos valores de pH na água de encharcamento em função do tempo de operação é um comportamento já observado por outros autores (Gutkoski, 1991; Nunes, 2000). Essa redução, além de favorecer o crescimento de fungos e leveduras, intensifica o escurecimento do arroz parboilizado, devido, principalmente, à hidrólise de compostos e à produção de açúcares e aldeídos, conforme observações de Nunes (2000), também referidas por Amato *et al.* (2002).

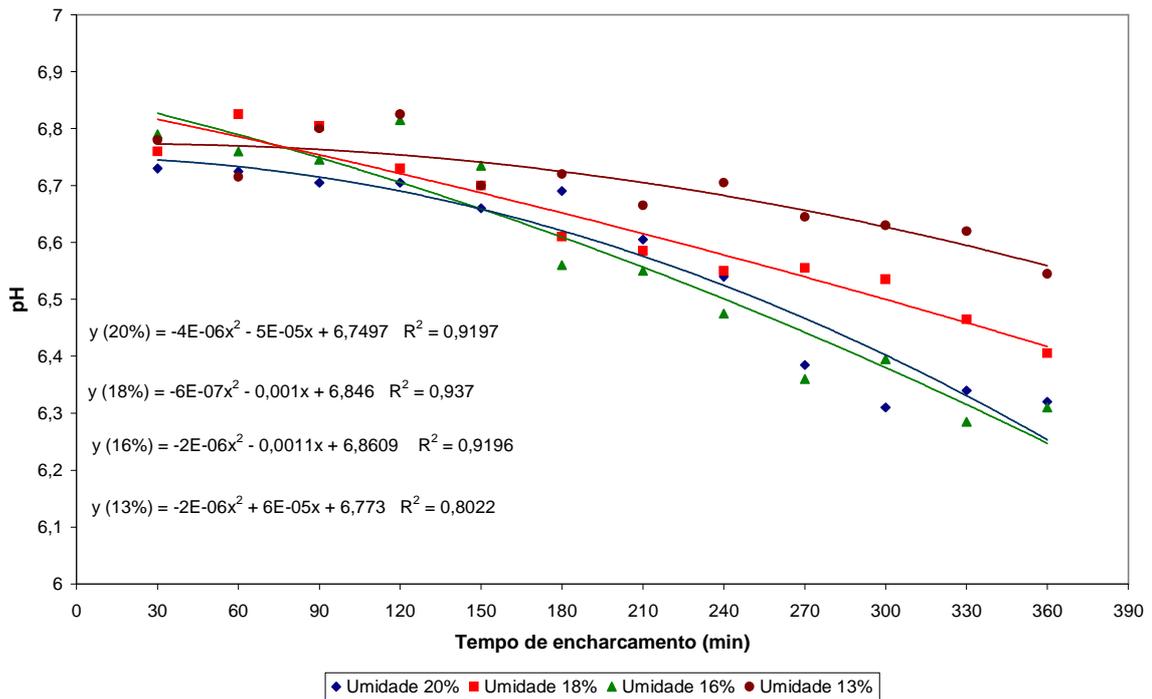


Figura 17 - pH da água durante o encharcamento do arroz a 60°C, em grãos com quatro umidades iniciais.

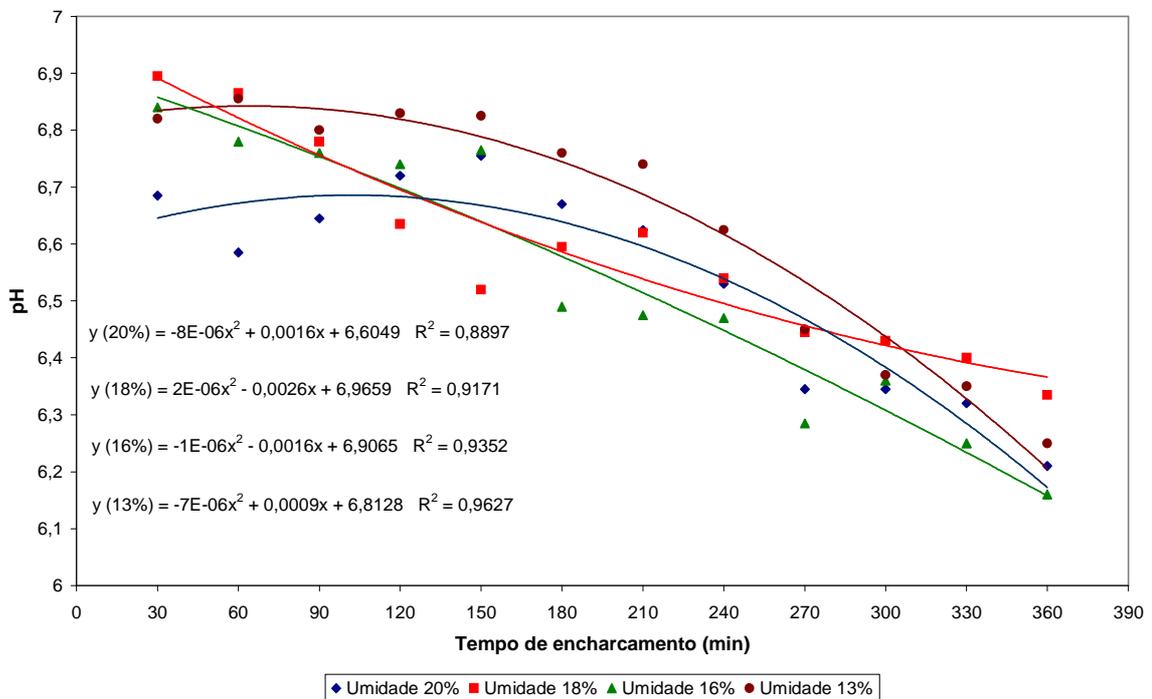


Figura 18 - pH da água durante o encharcamento do arroz a 65°C, em grãos com quatro umidades iniciais.

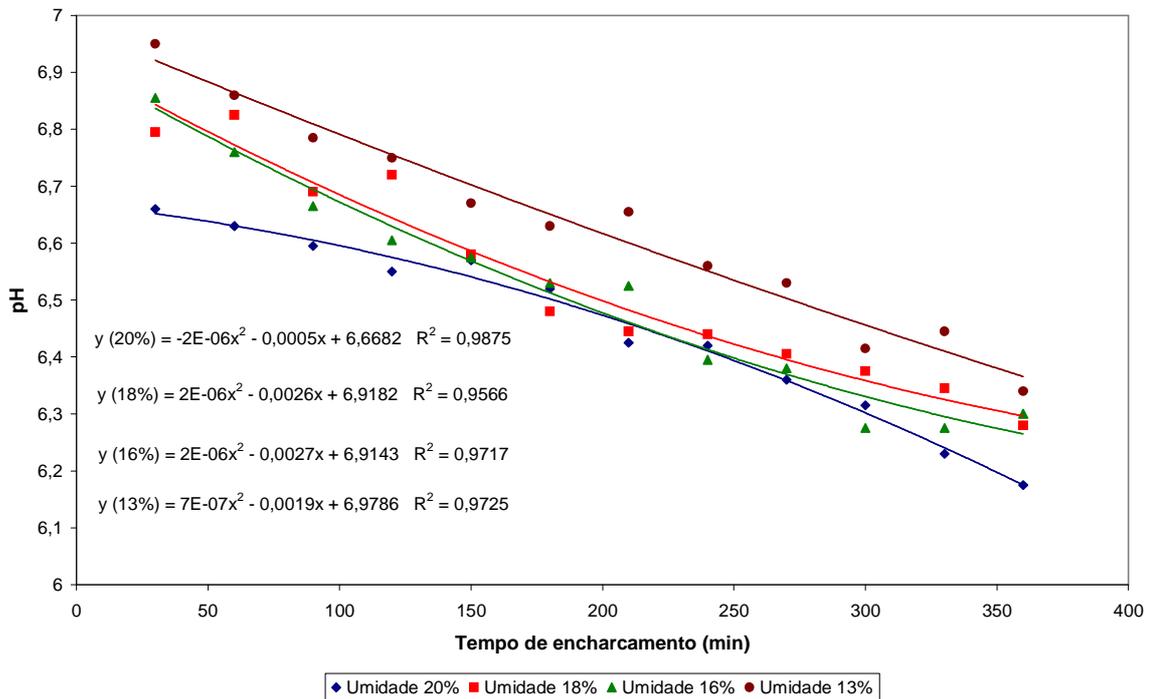


Figura 19 - pH da água durante o encharcamento do arroz a 70°C, em grãos com quatro umidades iniciais.

Estudos realizados por Nunes (2000) indicaram que a correção do pH para valores entre 5 e 6 na água de encharcamento permite aumentar o percentual de grãos inteiros sem defeitos e reduzir o desenvolvimento microbiano na água de encharcamento, sem prejudicar as características sensoriais dos grãos, em comparação com o processo tradicional de parboilização, sem correção do pH da água de encharcamento. No entanto, o encharcamento em pH inferior a 5 altera o comportamento da cocção, prejudicando a aceitabilidade do produto pelo consumidor.

Nas Figuras 20, 21 e 22 estão apresentados os resultados de turbidez da água de encharcamento do arroz, em função do tempo e da temperatura na operação. De acordo com os resultados observa-se um aumento dos valores de turbidez da água de encharcamento em função do aumento do tempo e da temperatura na operação, o que é explicado pela lixiviação de componentes hidrossolúveis para a água.

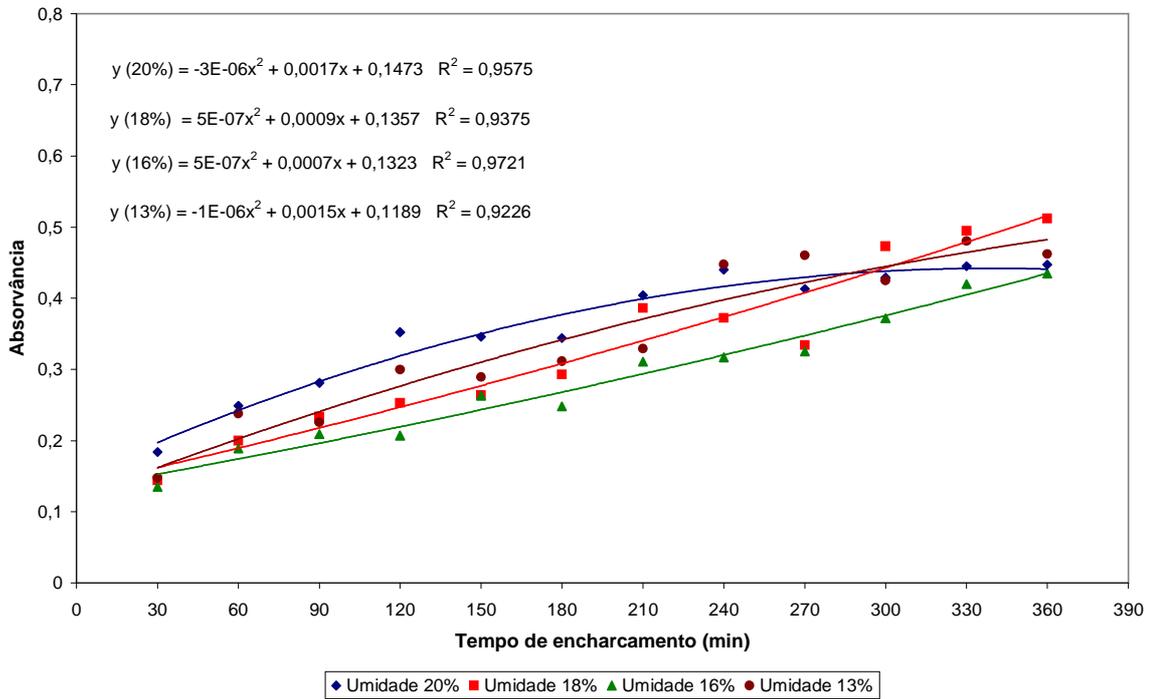


Figura 20 - Turbidez da água durante o encharcamento do arroz a 60°C, em grãos com quatro umidades iniciais.

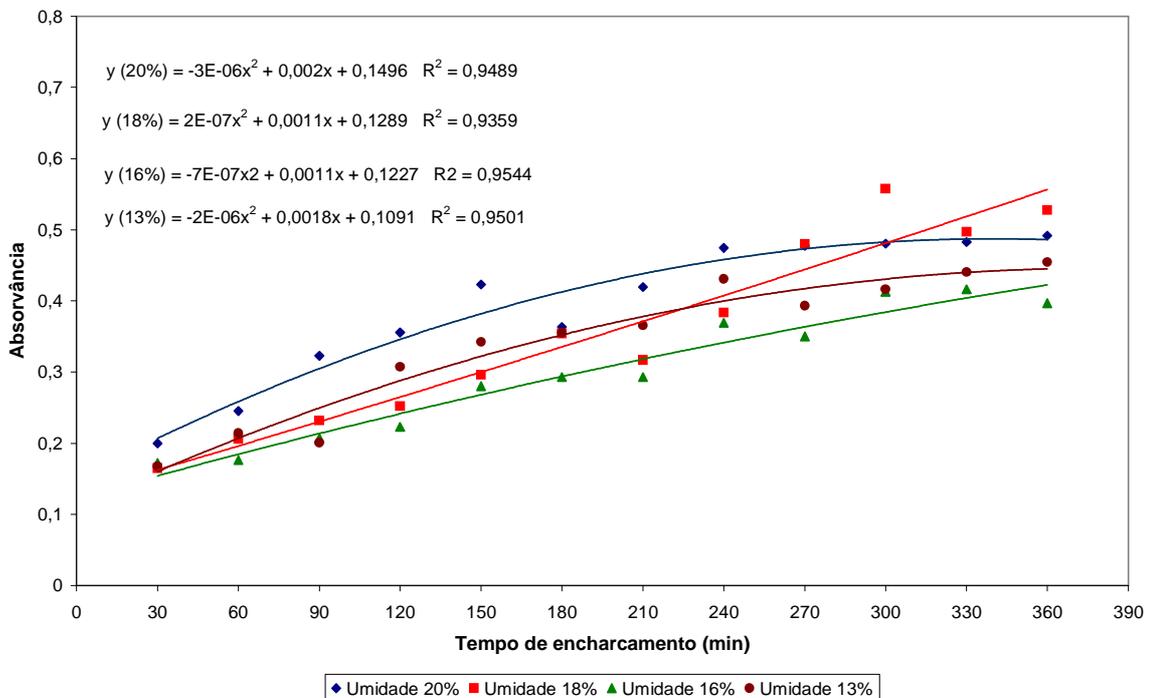


Figura 21 - Turbidez da água durante o encharcamento do arroz a 65°C, em grãos com quatro umidades iniciais.

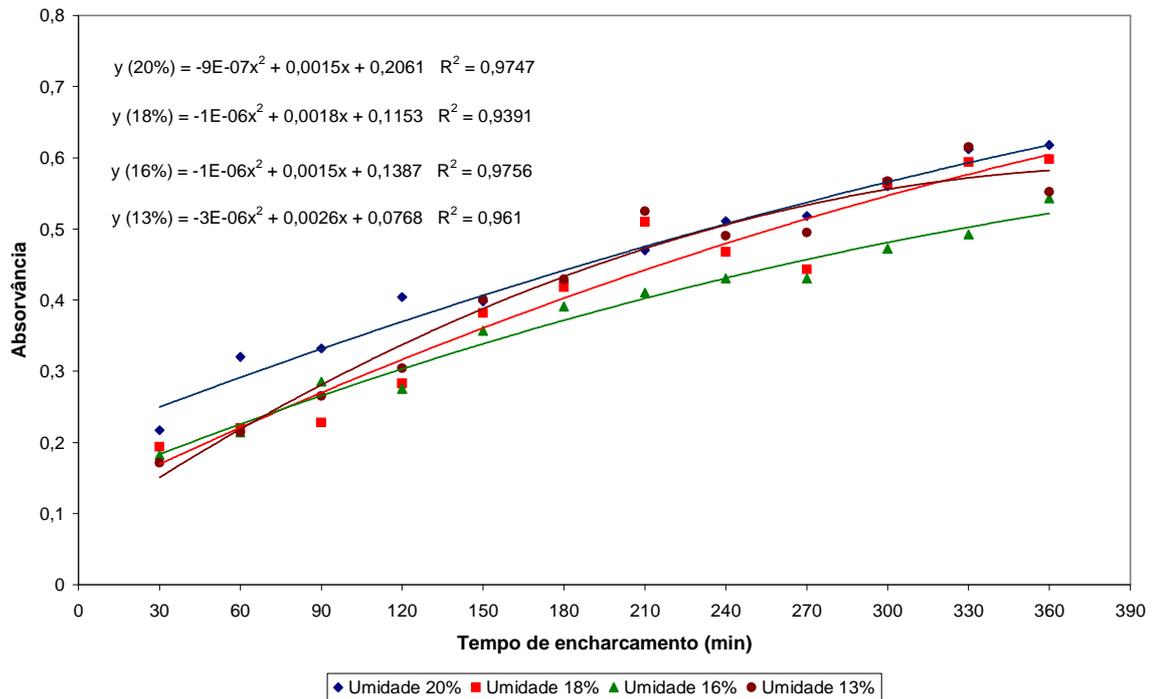


Figura 22 - Turbidez da água durante o encharcamento do arroz a 70°C, em grãos com quatro umidades iniciais.

Nas temperaturas de encharcamento de 60 e 65°C (Figuras 20 e 21) ocorreu comportamento semelhante nos valores de turbidez, mas na operação a 70°C (Figura 22) a turbidez é maior para cada umidade inicial dos grãos considerada.

O tempo e a temperatura de encharcamento foram as variáveis que mais contribuíram para o aumento da turbidez, independentemente da umidade dos grãos no início da operação.

Os maiores valores de turbidez (Figuras 20 a 22) ocorrem nas mesmas condições operacionais que exibiram maiores teores de lixiviação de sólidos solúveis para a água de encharcamento (Figuras 14 a 16), o que sugere ser a análise de turbidez uma alternativa, prática e rápida, que pode ser estudada para estimar aqueles parâmetros.

Os comportamentos observados nas lixiviações de sólidos (Figuras 11 a 16), no pH (Figuras 17 a 19) e na turbidez (Figuras 20 a 22) podem dar subsídios para os profissionais da área de tratamento de efluentes das agroindústrias de parboilização.

4.3. Integridade física e tempo de encharcamento dos grãos na parboilização

Nas Tabelas 03 a 05 estão apresentados os rendimentos de grãos inteiros de arroz, cultivar Supremo I, submetidos ao encharcamento com diferentes temperaturas e umidades iniciais dos grãos.

TABELA 03 - Rendimento de grãos inteiros de arroz, cultivar Supremo I, submetidos ao encharcamento a 60°C com diferentes umidades iniciais¹

Tempo (min)	Umidade dos grãos (%)							
	20		18		16		13	
30	A 65,47	e f	B 61,04	c	B 57,14	d	C 44,45	d
60	A 63,67	f	B 60,29	c	B 58,01	c d	C 48,56	d
90	A 64,82	e f	B 60,05	c	B 62,37	b c d	C 53,43	c
120	A 65,71	d e f	B 61,71	c	A B 63,96	b	C 53,61	c
150	A 66,03	c d e f	B 60,02	c	B 63,25	b c	C 54,96	c
180	A 65,10	e f	B 60,31	c	A 63,05	b c	C 54,82	c
210	A 66,26	b c d e f	B 61,95	c	A 64,53	a b	C 55,21	c
240	A 69,33	a b c	B 61,44	c	B 64,32	b	B 60,71	b
270	A 68,79	a b c d	B 64,62	b c	B 65,67	a b	B 64,23	a b
300	A 67,68	a b c d e	A 66,94	a b	A 66,81	a b	B 63,96	a b
330	A 69,78	a	A 67,76	a	A 67,29	a b	B 65,06	a b
360	A 69,44	a b	A 67,17	a b	A 70,09	a	B 65,68	a

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 04 - Rendimento de grãos inteiros de arroz, cultivar Supremo I, submetidos ao encharcamento a 65°C com diferentes umidades iniciais dos grãos¹

Tempo (min)	Umidade dos grãos (%)			
	20	18	16	13
30	A 63,59 c	A B 60,90 b	B 58,79 c	C 51,30 e
60	A 63,86 c	A B 62,17 b	A B 59,43 c	C 53,02 d e
90	A 66,02 b c	B 61,04 b	A B 64,64 b	C 54,07 d e
120	A 66,53 b c	B 61,77 b	A B 64,56 b	C 55,95 d
150	A 66,56 b c	B 59,95 b	A 65,60 b	C 55,44 d
180	A 66,58 b c	B 60,18 b	A 65,45 b	C 55,89 d
210	A 65,07 b c	B 61,92 b	A 65,39 b	C 57,68 c d
240	A 68,70 a b	B 64,30 a b	B 65,82 a b	C 60,70 c
270	A 68,66 a b	B 66,96 a	B 66,21 a b	B 64,78 b
300	A 68,94 a b	B 66,80 a	A 69,18 a	B 65,66 a b
330	A 71,15 a	A 67,96 a	A 68,66 a	B 65,21 a b
360	A 71,42 a	A 69,69 a	A 70,39 a	B 67,36 a

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 05 - Rendimento de grãos inteiros de arroz, cultivar Supremo I, submetidos ao encharcamento a 70°C com diferentes umidades iniciais dos grãos¹

Tempo (min)	Umidade dos grãos (%)											
	20		18		16		13					
30	A	63,10	d	A	61,17	b	A	63,63	d	B	49,07	d
60	A	63,97	c d	B	59,63	b	A	64,94	c	C	53,23	c d
90	A	64,84	c	B	58,82	b	A	64,01	c	C	54,67	c
120	A	65,21	b c	A	66,69	b	A	64,50	b c	B	56,70	b c
150	A	65,51	b c	A	67,20	b	A B	66,40	b	C	62,81	b
180	B	65,50	b c	A	67,41	a b	A	67,09	b	C	62,42	b
210	A	66,77	b	A	67,18	a b	A	66,23	b	B	62,82	b
240	A	68,79	a b c	A	67,30	a b	A	67,73	b	B	63,08	b
270	A	68,66	a b c	A	68,31	a	A	70,19	a	B	64,18	a b
300	A	69,35	a	A	68,49	a	A	70,20	a	B	64,84	a b
330	A	68,77	a b c	A	68,34	a	A	69,52	a b	A	67,67	a
360	A	69,10	a b	A	70,12	a	A	69,53	a b	B	66,68	a

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

O rendimento de grão, segundo a portaria 269 do Ministério da Agricultura (Brasil, 1988), é expresso pelos percentuais de grãos inteiros e quebrados, resultantes do benefício do arroz em casca. Já na metodologia utilizada pelo laboratório de grãos (Elias, 1998), o desempenho industrial inclui também os percentuais de defeitos, ou seja, engloba parâmetros quantitativos e qualitativos. Analisando-se os resultados (Tabelas 03 a 05), observa-se que o aumento do tempo

na operação de encharcamento, em cada temperatura, promove um incremento no rendimento de grãos inteiros.

A umidade no início do encharcamento interfere na integridade física dos grãos, independentemente da temperatura utilizada na água. Os menores valores obtidos com os grãos a 13% de umidade inicial, isso ocorreu provavelmente pela má distribuição da água no interior do grão. Embora os teores de água absorvidos sejam próximos para cada umidade inicial nas primeiras horas de encharcamento, há desuniformidade na distribuição, pois os espaços ocupados pela água nos grãos, após a secagem passam a ser ocupados pelo ar, dificultando a hidratação homogênea do grão e conseqüentemente uma deficiente gelatinização na operação de autoclavagem, o que reduz a resistência dos grãos às operações que utilizam fricção e/ou abrasão, aumentando a incidência de grãos quebrados.

Os grãos não previamente submetidos à secagem apresentaram maiores rendimentos ($p > 0,05$), quando comparados com grãos encharcados com 13% de umidade inicial.

Os resultados de evolução de rendimentos de grãos inteiros (Tabelas 03 a 05) sugerem que para a parboilização os grãos necessitam de secagem prévia às operações de hidrotérmicas apenas por necessidade de conservação.

4.4. Desempenho industrial

Nas Tabelas 06 a 08 estão apresentados os rendimentos de grãos inteiros sem defeitos. É possível observar que ocorreu incremento nos valores de rendimento em função do aumento do tempo dos grãos na operação de encharcamento nas temperaturas de 60 e 65°C (Tabelas 06 e 07), diferentemente do que ocorreu na operação a 70°C. Esses comportamentos estão relacionados com a temperatura de gelatinização e a uniformidade na distribuição da umidade no interior dos grãos, sendo que as temperaturas de 60 a 65°C são próximas da temperatura de gelatinização do cultivar estudado, enquanto 70°C a ultrapassa, possibilitando maior hidratação dos grãos e, seguramente, aumento das deformações nas estruturas dos grânulos de amido e diminuições dos rendimentos.

TABELA 06 - Grãos inteiros sem defeitos em arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento a 60°C, com quatro umidades iniciais¹

Tempo (horas)	Umidade inicial (%) dos grãos no encharcamento							
	20		18		16		13	
4	A	65,57 a	B	60,71 b	B	60,90 c	C	55,35 b
5	A	64,84 a	A	63,78 a	B	62,17 b	C	60,39 a
6	A	66,24 a	A	65,15 a	A	67,38 a	B	60,98 a

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 07 - Grãos inteiros sem defeitos em arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento a 65°C, com quatro umidades iniciais¹

Tempo (horas)	Umidade inicial (%) dos grãos no encharcamento							
	20		18		16		13	
4	A	66,67 b	B	61,22 c	B	63,79 b	C	53,43 c
5	A	66,42 b	B	63,37 b	B	63,13 b	C	62,11 b
6	A	68,90 a	B	66,84 a	B	66,06 a	C	64,60 a

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 08 - Grãos inteiros sem defeitos em arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento a 70°C, com quatro umidades iniciais¹

Tempo (horas)	Umidades iniciais (%) dos grãos no encharcamento							
		20		18		16		13
4	A	66,98 a	A	65,68 a	B	63,04 b	C	54,74 c
5	A	65,94 a	A	64,25 a	A	66,39 a	B	56,72 b
6	B	62,38 b	A	65,16 a	A	64,60 b	C	58,45 a

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 09 - Grãos inteiros sem defeitos em arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento com umidade inicial dos grãos de 20%, em três temperaturas¹

Tempo (horas)	Temperatura no encharcamento (°C)					
		60		65		70
4	A	65,57 a	A	66,67 b	A	66,68 a
5	A	64,84 a	A	66,42 b	A	65,94 a
6	B	66,24 a	A	68,90 a	C	62,38 b

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 10 - Grãos inteiros sem defeitos em arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento com umidade inicial dos grãos de 18%, em três temperaturas ¹

Tempo (horas)	Temperatura no encharcamento (°C)								
	60		65		70				
4	C	60,71	b	B	61,22	c	A	65,68	a
5	B	63,78	a	B	63,34	b	A	64,15	a
6	A	65,11	a	A	66,82	a	A	65,16	a

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 11 - Grãos inteiros sem defeitos em arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento com umidade inicial dos grãos de 16%, em três temperaturas ¹

Tempo (horas)	Temperatura no encharcamento (°C)								
	60		65		70				
4	B	60,90	c	A	63,77	b	A	63,04	b
5	B	62,17	b	B	63,60	b	A	66,39	a
6	A	67,38	a	A	66,06	a	B	64,46	b

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 12 - Grãos inteiros sem defeitos em arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento com umidade inicial dos grãos de 13%, em três temperaturas ¹

Tempo (horas)	Temperatura no encharcamento (°C)					
	60		65		70	
4	A	55,35 b	B	53,43 c	A	54,74 c
5	A	60,35 a	A	62,11 b	B	56,53 b
6	B	60,98 a	A	64,60 a	C	58,45 a

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

No encharcamento com tempo inferior a 6 horas ocorreram variações significativas de rendimentos nas diferentes condições de temperatura e umidade inicial dos grãos. As diferenças observadas indicam que a umidade inicial dos grãos interfere no rendimento, pois grãos submetidos ao encharcamento sem secagem prévia apresentaram valores maiores do que aqueles que iniciaram a operação com 13% de umidade, em todas as condições de tempos e temperaturas estudadas, considerando cada parâmetro de análise.

O processo de parboilização confere maior resistência às quebras no beneficiamento industrial dos grãos, resultando em maior percentual de inteiros durante o beneficiamento. A gelatinização do amido e a posterior retrogradação explicam esse comportamento.

Nas Tabelas 13 a 19 estão apresentados os valores de incidência de defeitos em grãos inteiros de arroz, cultivar Supremo I. A incidência de defeitos em grãos apresentou tendência a ser menor em grão com maior umidade no início do encharcamento.

TABELA 13 - Incidência de defeitos em grãos de arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento a 60°C, com diferentes umidades iniciais¹

Tempo (horas)	Umidades iniciais dos grãos no encharcamento			
	20%	18%	16%	13%
4	B 3,80 a	B 2,42 a	A 4,39 a	A 4,82 a
5	B 2,54 a	B 2,34 a	A 3,43 b	A 4,15 b
6	B C 2,38 a	C 2,21 a	B 2,81 c	A 3,35 c

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 14 - Incidência de defeitos em grãos de arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento a 65°C, com diferentes umidades iniciais¹

Tempo (horas)	Umidades iniciais dos grãos no encharcamento			
	20%	18%	16%	13%
4	C 2,22 a	B 3,70 a	B 4,65 a	A 6,34 a
5	B 1,97 a	A 3,05 b	A 3,06 b	A 3,58 b
6	B 2,05 a	A 2,46 b	A 2,56 b	A 3,19 b

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 15 - Incidência de defeitos em grãos de arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento a 70°C, com diferentes umidades iniciais¹

Tempo (horas)	Umidades iniciais dos grãos no encharcamento			
	20%	18%	16%	13%
4	B 3,08 b	C 2,40 c	B 3,46 b	A 6,81 b
5	C 4,19 b	B 3,63 b	B 3,76 b	A 6,32 b
6	B 4,60 a	B 4,62 a	B 4,97 a	A 7,94 a

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 16 - Incidência de defeitos em grãos de arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento com umidade inicial dos grãos de 20%, em três temperaturas¹

Tempo (horas)	Temperatura no encharcamento °C		
	60	65	70
4	B 3,80 a	C 2,22 a	A 3,08 b
5	B 2,54 a	C 1,97 a	A 4,19 b
6	B 2,38 a	B 2,05 a	A 4,60 a

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 17 - Incidência de defeitos em grãos de arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento com umidade inicial dos grãos de 18%, em três temperaturas ¹

Tempo (horas)	Temperatura no encharcamento °C					
	60		65		70	
4	B	2,42 a	A	3,70 a	B	2,40 c
5	B	2,34 a	A	3,05 b	A	3,63 b
6	B	2,21 a	B	2,46 b	A	4,62 a

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 18 - Incidência de defeitos em grãos de arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento com umidade inicial dos grãos de 16%, em três temperaturas ¹

Tempo (horas)	Temperatura no encharcamento °C					
	60		65		70	
4	A	4,39 a	A	4,65 a	B	3,46 b
5	A	3,43 b	A	3,06 b	A	3,76 b
6	B	2,81 c	B	2,56 c	A	4,97 a

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (P<0,05).

TABELA 19 - Incidência de defeitos em grãos de arroz, cultivar Supremo I, submetidos, ao encharcamento com umidade inicial dos grãos de 13%, em três temperaturas ¹

Tempo (horas)	Temperatura no encharcamento °C					
	60		65		70	
4	B	4,82 a	A	6,34 a	A	6,81 b
5	B	4,15 a	B	3,58 b	A	6,32 b
6	B	3,35 b	C	3,19 b	A	7,94 a

1 – Médias aritméticas de três repetições, seguidas por letras minúsculas iguais, na mesma coluna, e letras maiúsculas iguais na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

A análise de incidências de defeitos em arroz parboilizado, em função da umidade inicial dos grãos, do tempo e da temperatura da água na operação de encharcamento (Tabelas 13 a 19), permite observar que os grãos encharcados nas temperaturas de 60 e 65°C apresentaram comportamentos semelhantes. O aumento do tempo na operação de 4 para 6 horas, reduziu a incidência de grãos com defeitos, pois possibilitou maior uniformidade na distribuição da água no interior dos grãos, promovendo melhor gelatinização. Isso diminuiu o percentual de grãos não gelatinizados, os quais são avaliados como defeitos, de acordo com a legislação oficial (Brasil, 1988). Já na temperatura de 70°C o comportamento foi o inverso, pois com o aumento do tempo de 4 para 6 horas ocorreu maior percentual de grãos com defeitos, provavelmente pela intensidade de absorção de água que rompeu as estruturas dos grânulos de amido ocasionando o defeito classificado como grãos danificados.

Iniciar o encharcamento com grãos em umidades menores, sem que tenham sido submetidos à secagem prévia, significa aumento do tempo entre a maturação fisiológica e as operações hidrotérmicas. Esse tempo, em que os grãos permanecem com umidade ainda elevada, pode permitir o aumento da atividade metabólica dos grãos e dos organismos associados. A parboilização, embora reduza os danos

físicos, intensifica a incidência de defeitos de origem metabólica, segundo a literatura especializada (Rombaldi, 1988; Gutkoski, 1991; Nora, 1992, Elias, 1998, Müller, 1999; Cruz, 2001). Esses eventos podem explicar os comportamentos observados.

A observação conjunta dos efeitos sobre a integridade física dos grãos (Tabelas 3 a 12) e sobre a incidência de defeitos (Tabelas 13 a 19) permite verificar que a umidade inicial dos grãos interfere mais na incidência de defeitos e no tempo de hidratação, enquanto a temperatura da água e o tempo de encharcamento interferem mais nos rendimentos de grãos inteiros.

4.5. Tratamento hidrotérmico e intensidade de gelatinização dos grãos

O defeito mais importante para o arroz parboilizado é o grau de gelatinização, o qual pode ser avaliado pelo método de luz polarizada. Além de interferir na integridade física dos grãos, quando bem gelatinizado ocorre à fixação dos nutrientes no interior do endosperma, sendo considerado grão gelatinizado aquele que se apresenta no mínimo com a sua camada externa gelatinizada e translúcida, quando observado sob luz polarizada, segundo a legislação brasileira, expressa na portaria 269/88 (Brasil, 1988).

Os percentuais de grãos gelatinizados do cultivar Supremo I, submetidos ao encharcamento em diferentes temperaturas e umidade inicial dos grãos, estão apresentados nas Figuras 23, 24 e 25. A gelatinização do amido e o poder de retrogradação conferem aos grãos maior resistência nas operações de beneficiamento que utiliza fricção e/ou abrasão, como o descascamento e o polimento.

As variações observadas no percentual de gelatinização dos grãos (Figuras 23 a 25) são devidas às diferentes condições de parboilização, onde o aumento do tempo e da temperatura de encharcamento reduz a percentagem de grãos não gelatinizados, provavelmente pelo incremento e pela homogeneidade na distribuição da água no interior dos grãos.

O grau de umidade inicial dos grãos e o tempo de encharcamento interferem na gelatinização dos grânulos de amido do arroz. A maior gelatinização ocorreu nas operações que continham grãos com umidade inicial mais elevada e permaneceram

por maior tempo no encharcamento. Com isso a distribuição da água no interior dos grãos foi mais uniforme facilitando a gelatinização na etapa de autoclavagem.

Na gelatinização dos grãos ocorreram maiores variações em função da temperatura do que no tempo de encharcamento. Os resultados permitem observar maiores índices de grãos gelatinizados na operação com temperatura mais elevada (Figura 25), sendo menores as diferenças entre 4 e 6 horas nessa temperatura. Nas operações com temperaturas de 60 e 65°C (Figuras, 23 e 24) ocorreram maiores variações entre os resultados de grãos gelatinizados de 4 a 6 horas, pois nessas condições os grãos necessitam de maior tempo para atingir a hidratação homogênea e possibilitar a completa gelatinização dos grãos de arroz.

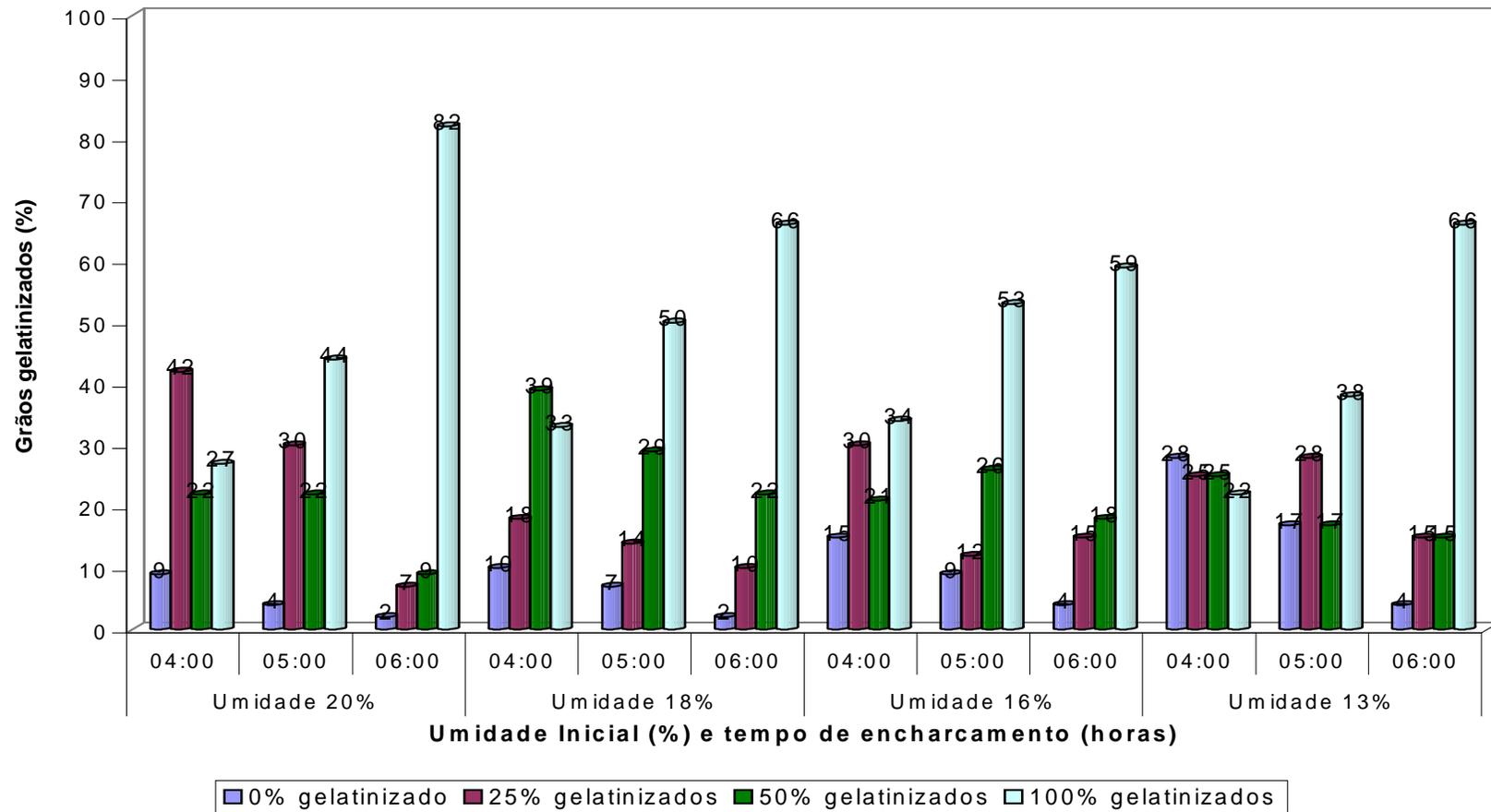


Figura 23 - Percentagem de grãos gelatinizados do cultivar Supremo I, submetidos ao encharcamento a 60°C, com diferentes umidades iniciais.

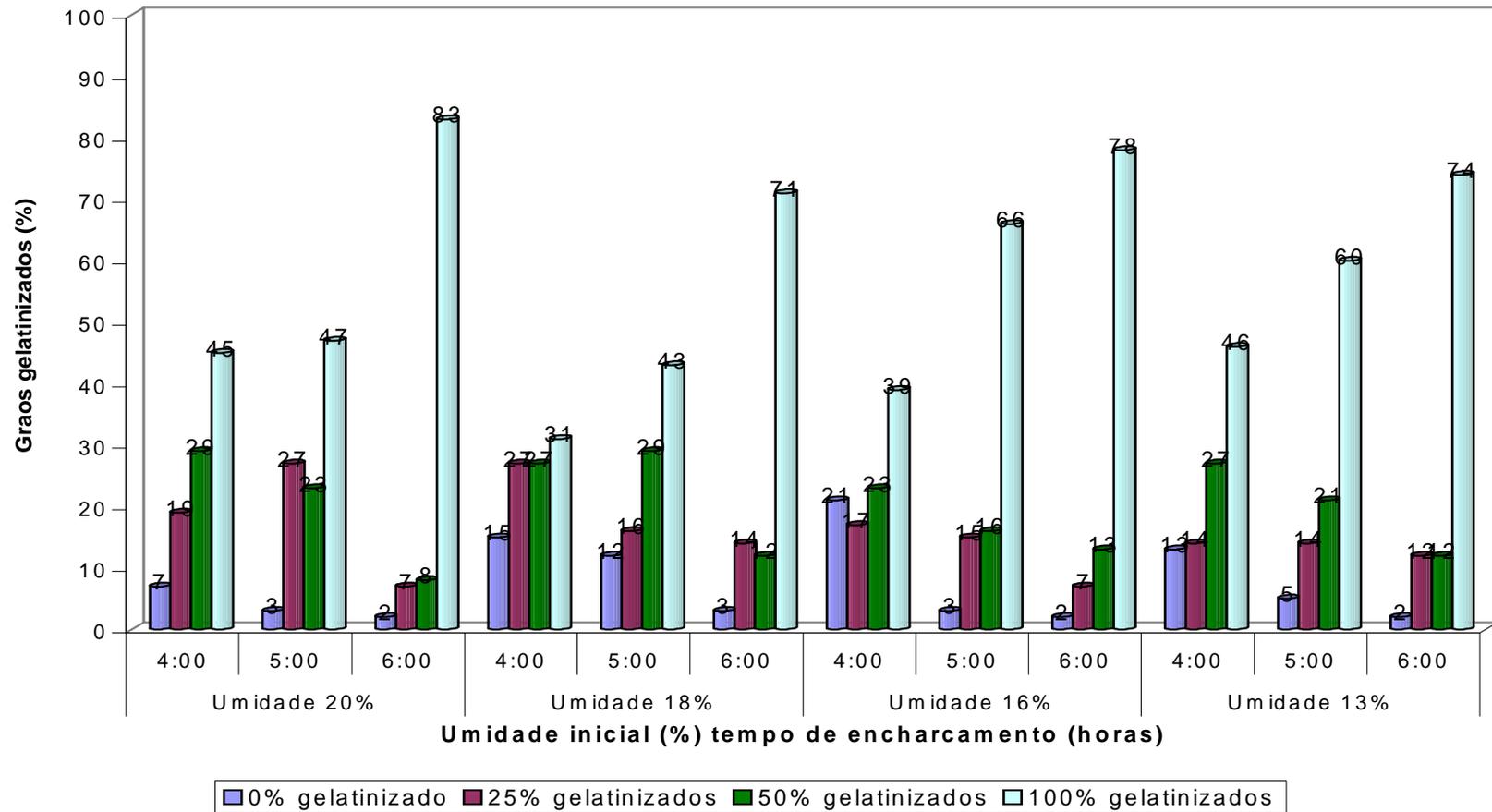


Figura 24 - Percentagem de grãos gelatinizados do cultivar Supremo I, submetidos ao encharcamento a 65°C, com diferentes umidades iniciais.

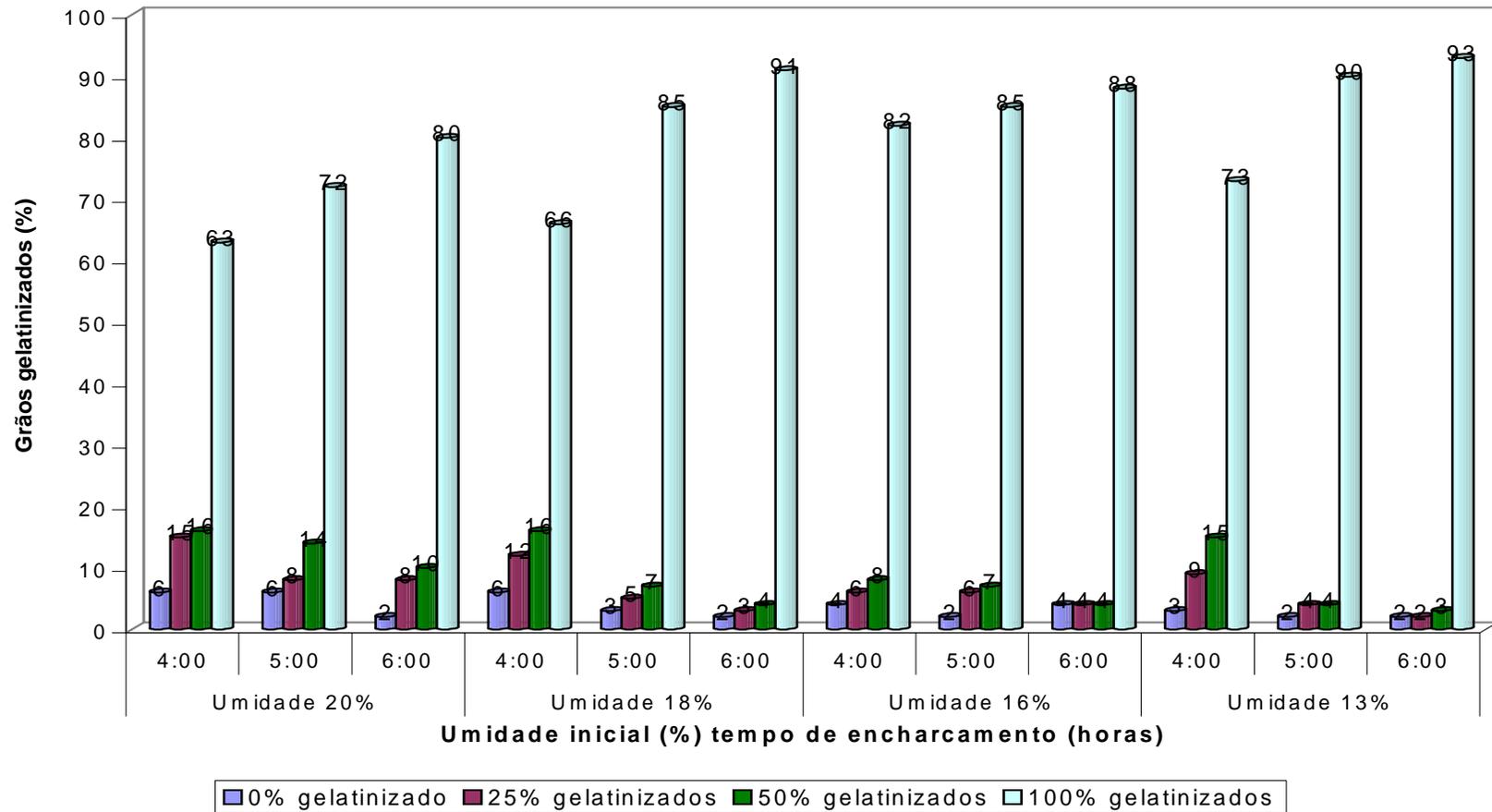


Figura 25 - Percentagem de grãos gelatinizados do cultivar Supremo I, submetidos ao encharcamento a 70°C, com diferentes umidades iniciais.

5. CONCLUSÕES

Dentro dos contornos anteriormente estabelecidos, conclui-se que:

a) a umidade inicial dos grãos interfere mais no tempo de hidratação e na incidência de defeitos, enquanto a temperatura da água e o tempo de encharcamento interferem mais nos rendimentos de grãos inteiros e de inteiros sem defeitos;

b) a parboilização de arroz sem secagem prévia permite reduções de meia a uma hora no encharcamento realizado na mesma temperatura usada para grãos secados a 13% de umidade;

c) a umidade inicial dos grãos no processo de parboilização não interfere nas lixiviações de sólidos totais e de sólidos dissolvidos totais, nem nas variações de turbidez e de pH da água durante o encharcamento.

d) o aumento da temperatura e do tempo de encharcamento promove incrementos nos teores de sólidos totais, de sólidos dissolvidos totais e na turbidez, com redução nos valores de pH da água durante a operação;

e) aumentos do tempo e da temperatura no encharcamento propiciam incrementos nos índices de abertura excessiva de casca, ocasionando deformações nos grãos de arroz;

f) para o cultivar Supremo I, a combinação de temperatura e tempo de encharcamento que permite melhor potencial de desempenho industrial ocorre em operações a 65°C, durante 5 horas e meia a 6 horas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIAP – **Associação Brasileira das Industrias de Arroz Parboilizado**. Disponível em: <http://www.abiap.com.br>. Acesso em: fevereiro de 2003.

ALARY, R.; LAIGNELET, B.; FEILLET, P. Effects of amilose content on some characteristics of parboiled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.25, n. 2, p. 261-264, 1977.

AMATO, G. W, **Grãos não-gelatinizados-GNG em arroz parboilizado: Avaliação de Método**. Porto Alegre, CIENTEC, (Boletim técnico; 15), 21 p., 1989.

AMATO, G.W.; SILVEIRA FILHO, S.; SCHIRMER, M. A. **Parboilização de Arroz no Brasil**. Porto Alegre: CIENTEC, 1991. 91p.

AMATO, G.W.; CARVALHO, J.L.V.; SILVEIRA F^o, S. **Arroz parboilizado: tecnologia limpa, produto nobre**. Ed. Ricardo Lenz, Porto Alegre, 2002. 240p.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th ed Washington, APHA,1998.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de Alimentos**. Viçosa: UFV, 1995. 150p.

BECHTELL, D.B.; POMERANZ, Y. The rice kernel. In: POMERANZ, Y. Ed **Advances in cereal science and technology**. Saint Paul, Minnessota, A.A.C.C., 1980. v.3, p. 73-109.

BHATTACHARYA, S. Kinetics on colour changes in rice due to parboiling. **Journal of Engineering**, India, v. 29, p. 99-106, 1996.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. **Introdução à química de alimentos**. São Paulo: Varela, 1992. 232p.

BOBBIO. P.A.; BOBBIO. F.O. **Química de processamento de alimentos**. Campinas, Fundação Cargill, 1984. 232p.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura. Comissão Técnica de Normas e Padrões. **Normas de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do arroz**. Brasília, v.8, nº20, 1988. 25p.

BÜTTOW, J. **Influência das condições de maceração e autoclavagem no processo de parboilização do arroz (*Oryza sativa*, L.)**. Viçosa, UFV, 1984. 86p (Dissertação de Mestrado).

CARVALHO, J.L..V. *et al.* Retenção de vitaminas B₁ e B₂ em arroz parboilizado processado em autoclave e em estufa no Brasil. **Lavoura arrozeira**. Porto Alegre, v. 45, n. 403, p.12-14.1992.

CASTRO, E. da M. de; VIEIRA, N.R. de A.; RABELO, R. R.; SILVA, S.A. da. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30p (Circular Técnica, 34).

CHANDIER, R.F. **Arroz em los trópicos**. San José, Costa Rica : CIDIA, 1994. 304p.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br> Acesso em: dezembro de 2002.

CRUZ, L.H.P., **Ácidos orgânicos e tratamentos hidrotérmicos na conservação do arroz**. Pelotas, UFPel, 2001. 30p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 2001.

DIAS, A. R. G. **Efeitos dos teores de umidade e de beneficiamento no desempenho industrial de cinco variedades de arroz (Oryza sativa L.)**. Pelotas, 1993. 86p Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 1993.

ELIAS, M. C **Armazenamento e conservação de grãos em médias e pequenas escalas**. Pelotas: Edigraf UFPel, 2002a. 219p.

ELIAS, M. C **Secagem e armazenamento de grãos em médias e pequenas escalas**. Pelotas: Edigraf UFPel, 2000. 147p.

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

ELIAS, M.C.; LOECK, A.E.; MÜLLER, M.M. **Recomendações técnicas para colheita, secagem, armazenamento e industrialização de arroz para o sul do Brasil**. Pelotas: Ed. UFPel, 2001. 40p.

ELIAS, M.C.; ROMBALDI, C.V.; MARCHIORO, L.B.; PEREIRA, F.M.; SILVA, L.H. Efeitos da espera na secagem e do tempo de armazenamento no desempenho industrial do arroz para parboilização. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., 2002, Porto Alegre. **Anais do** Porto Alegre: CBCTA, 2002b. CD-ROM.

FAN, F.; SIEBENMORGEN, T. J.; YANG, W. A study of head rice yield reduction of long- and medium-grain rice varieties in relation to various harvest and drying conditions. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 43, n.6, p. 1709-1714. 2000.

GIUSTI, C. L. L.; GOMES, Z. M. F.; OLIVEIRA, A. A. **Manual para elaboração de trabalhos monográficos: Dissertações, Teses e Trabalhos Acadêmicos**. Disponível em: <http://www.ufpel.tche.br/prg/sisbi>. Acesso em: janeiro de 2003.

GUIMARÃES, E. P. **Reunião técnica do arroz irrigado da região**, 7. Campinas, São Paulo – Brasil. 22 a 25 de agosto de 1989.

GUTKOSKI, L.C. **Efeitos das condições de maceração e de autoclavagem na qualidade industrial e comercial dos grãos de arroz (*Oryza sativa*, L.) parboilizados**. Pelotas, UFPEL, 1991. 122p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 1991.

GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M.C. Estudos da água de maceração de arroz, a 60°C em diferentes condições de manejo. **Lavoura arrozeira**. Porto Alegre, v. 47 n. 414, p. 6 - 10.1994.

HORIGANE, A.K.; ENGELAART, W.M.H.G.; MARUYAMAT, S.; YASHIDA, M.; OKUBO, A.; NAGATA, T. Visualisation of moisture distribution during development of rice caryopses (*Oryza sativa* L.) by nuclear magnetic resonance microimaging. **Journal of Cereal Science**, v.33, p. 105 – 114. 2001.

HOSENEY, R.C.; **Princípios de ciencia y tecnología de los cereales**. Zaragoza: Acribia,1991. 321 p.

JENNINGS, P.R.; COFFMAN, W.R.; KAUFFMAN, H.E. **Mejoramiento del arroz**. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT., 236 p, 1981.

INFELD, J. A., SILVEIRA Jr., P. **Rendimento de grãos inteiros em função da umidade na colheita de duas cultivares e uma linhagem em arroz irrigado.** In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 12, Porto Alegre, 1983, **Anais.** Porto Alegre : IRGA, 1983. p. 103-105.

IRGA – **Instituto Riograndense do Arroz.** Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br>
Acesso em: Dezembro 2002.

LAMIC. **Laboratório de Análises Micotoxicológicas. Atividade de Água.**
<http://www.ufsm.br/lamic/Aw.html>. Acesso em : Junho 2002.

LORINI, I.; MIKE, L. H.; SCUSSEL, M.V. **Armazenamento de grãos.** Campinas: IBG, 2002. 1000p.

LUZ, M.L.G.S da. **Efeitos das condições de secagem complementar a parboilização de arroz (*Oriza sativa* L.) sobre suas características industrial, comercial e de consumo.** Pelotas, UFPEL, 1991. 123p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 1991.

MACHADO, A.A.; CONCEIÇÃO, A.R. **Winstat – Sistema de Análise Estatística para Windows,** Versão 1.2, NIA-UFPEL, Pelotas, 2002. Disponível em: <http://www.ufpel.tche.br/~amachado>, Acesso em: Janeiro 2003.

MARTIN, M.; FITZGERALD, M. A. Proteins in rice grains influence cooking properties. **Journal of Cereal Science**, v. 36, p. 285–294. 2002.

MARTINES Y CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz.** Guia de estudos. Cali, CIAT, 75p. 1989.

MONKS, J. L. F. **Influência das propriedades funcionais e reológicas no desempenho industrial e nas características de consumo em grãos de arroz irrigado.** Pelotas, UFPEL, 2001, 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência e

Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 2001.

MÜLLER, M.M. **Comportamento hidrotérmico do arroz na operação de encharcamento para parboilização.** Pelotas: UFPEL, 1999. 31p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 1999.

NORA, L. **Secagem intermitente e parboilização de arroz (*O. sativa* L.) de sequeiro.** Pelotas, UFPel, 1992. 130p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 1992.

NUNES, B. R.; **Efeito do pH da água de encharcamento na parboilização de arroz.** Pelotas, UFPEL, 2000, 31p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 2000.

PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N. P. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz . Métodos Químicos e Físicos para análise de Alimentos.** São Paulo, 3ed, 1985.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos.** Campinas, SP: I.C.E.A., 1986. 602p.

QUEIROZ, M. I.; KOETZ, P. R. Caracterização do efluente da parboilização do arroz. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 3, n. 3, p. 139-143, set./dez. 1997.

ROMBALDI, C.V.; BARBOSA,F.F.; FERREIRA,M.R.; SILVA, M.S.; SILVA, L.H.; ELIAS, M.C. Tempo de armazenamento e qualidade do arroz para parboilização. **Revista da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 16 n. 3, p.1987-1990.1998.

SANTOS, I. M. B.; SANTOS, M. S.; SILVA, F. G.; KOETZ, P. R. **Caracterização físico-química de efluentes das indústrias de: arroz parboilizado, conservas vegetais, óleos vegetais e de curtume do município de pelotas, RS.** Congresso de iniciação científica, 11.; Encontro de pós-graduação, 4.; 2002, Pelotas. Anais do 11 CIC e 4 ENPÓS, Pelotas, UFPEL, 2002. CD-ROM.

SCHULZ, C. K. **Remoção biológica de carbono do efluente da parboilização de arroz utilizando reatores EGSB.** Pelotas, UFPel, 2001. 40p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 2001.

SILVEIRA, R. S. **Manejo da temperatura do ar na secagem estacionária e efeitos no desempenho industrial e nas propriedades funcionais do arroz parboilizado.** Pelotas, UFPel, 2000. 40p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, 2000.

TAVARES, A.F.S.; ELIAS, M.C.; ROMBALDI, C.V.; NORA, L. Grau de polimento e propriedades funcionais do arroz. **Revista da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 8, n.16, p.1871-1874. 1998.

TORO, D.C. **El grano de arroz: características fisicoquímicas de sus almidones relacionadas con las propiedades mecánicas y de cocción.** Parte I, p. 76, parte II, p. 71. Universidad de La Habana, Cuba. 1981. Tese de Doutorado.

TORO, D.C.; LOPES, A.A.H.; GALLARD, I.D. Propriedades físico-químicas de grano de arroz y su calidad. In. Reunião Nacional de pesquisa de arroz, 4.,1990, Goiânia. **Anais do Goiânia, 1990. p.47.**

WEDZICHA, B. L.; VAKALIS, N. Kinetics of the sulphite-inhibited Maillard reaction: the effect of the sulphite ion. **Food Chemistry**, v. 18, p. 230–236, 1988.