



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS - FEA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS - DEA

APLICAÇÃO DE MICROONDAS NA PARBOILIZAÇÃO DE ARROZ

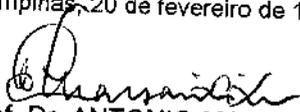
Aluno Pesquisador: Carlos Roberto Rocha

Professor Orientador: Prof. Dr. Antonio Marsaioli Junior

PARECER

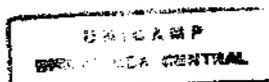
Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por CARLOS ROBERTO ROCHA aprovado pela Comissão Julgadora em 20 de fevereiro de 1998.

Campinas, 20 de fevereiro de 1998.


Prof. Dr. ANTONIO MARSAIOLI
JÚNIOR
Presidente da Banca

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos

Campinas, fevereiro de 1998



UNIDADE	BC		
N.º CHAMADA:			
V. F.			
NUMERO B	135007		
EXCC.	395/98		
C	<input type="checkbox"/>	D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$.11,00		
DATA	11/09/98		
N.º GPD			

CM-00115950-B

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

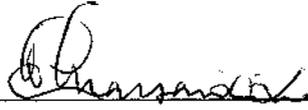
R582a

Rocha, Carlos Roberto
Aplicação de microondas na parboilização de arroz / Carlos
Roberto Rocha. – Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Orientador: Antonio Marsaioli Junior
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Microondas. 2.Tratamento. 3.Arroz, parboilizado.
4.Aquecimento. I.Marsaioli Junior, Antonio. II.Universidade
Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.
III.Título.

BANCA EXAMINADORA

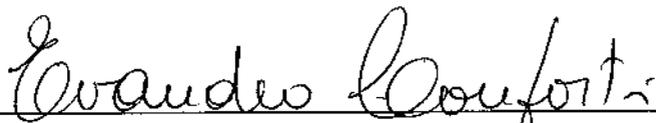


Prof. Dr. Antonio Marsaioli Junior
(Orientador)



Dr. Cândido Ricardo Bastos
(Membro)

Prof. Dr. Cláudio Bianor Sverzut
(Membro)



Prof. Dr. Evandro Conforti
(Membro)

Campinas, 20 de fevereiro de 1998

Ao meu pai: "In Memoriam"

Adilon Celso Rocha

e a minha mãe:

Maria Aparecida Rocha

"Tudo devo a eles"

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Antonio Marsaioli Junior pela orientação, incentivo, paciência e dedicação dispensadas durante todas as etapas de realização do mestrado.

Aos Prof. Dr. Evandro Conforti, Prof. Dr. Cláudio Bianor Sverzut e Dr. Cândido Ricardo Bastos pelas correções e sugestões dadas na fase de revisão deste trabalho.

Ao Sr. Elias Gardenalli, pelo seu incentivo e apoio financeiro através da empresa Bioceres, que foi fundamental à conclusão deste trabalho.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado

À Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia "André Tosello", pela administração do convênio com a empresa Bioceres que possibilitou apoio financeiro à conclusão deste trabalho.

Ao IAC - Instituto Agrônomo de Campinas, pelo fornecimento dos cultivares de arroz.

Aos Professores e Funcionários do Departamento de Engenharia de Alimentos, em especial à Dalila, Izafas, Reginaldo e ao Prof. Vivaldo.

À funcionária da Secretaria de Pós-Graduação Margarete.

Ao técnico de laboratório Leonardo.

Aos funcionários da biblioteca, Cláudia, Cleuza, Geraldo, José, Marli e Toninho

Aos amigos Marcelo, Naylson e Rogério.

À Fabiana, por sua colaboração, apoio, carinho, paciência e incentivo.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	i
ÍNDICE DE TABELAS.....	ii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	iv
RESUMO.....	vii
Capítulo 1 - INTRODUÇÃO.....	1
Capítulo 2 - OBJETIVOS.....	3
Capítulo 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 - Importância mundial do cultivo do arroz.....	4
3.2 - Estrutura e composição do grão de arroz.....	5
3.3 - Etapas do pré processamento agroindustrial do arroz.....	7
3.3.1 - Colheita.....	7
3.3.2 - Secagem.....	7
3.3.3 - Armazenamento.....	7
3.3.4 - Beneficiamento.....	7
3.4 - Processos de parboilização convencional do arroz.....	10
3.4.1 - Maceração do arroz em casca.....	12
3.4.2 - Gelatinização do arroz.....	15
3.4.3 - Secagem do arroz parboilizado.....	16
3.4.4 - Beneficiamento do arroz parboilizado.....	16
3.4.5 - Principais processos industriais modernos de parboilização de arroz.....	17
3.5 - Aquecimento por microondas.....	19
3.5.1 - Introdução às ondas eletromagnéticas.....	19
3.5.2 - Espectro de frequências eletromagnéticas.....	19

3.5.3 - Como as ondas eletromagnéticas produzem calor.....	20
3.5.3 - Propriedades dielétricas dos alimentos.....	23
3.5.4 - Modelagem das características de aquecimento por microondas.....	24
3.5.5 - Acoplamento energético.....	25
3.5.6 - Absorção de energia.....	26
3.5.7 - Propriedades térmicas dos alimentos.....	30
3.6 - A utilização das microondas na parboilização de arroz.....	30
Capítulo 4 - MATERIAL E MÉTODO.....	35
4.1 - Material.....	35
4.1.1 - Matéria-prima.....	35
4.1.2 - Equipamentos.....	35
4.2 - Método.....	40
4.2.1 - Metodologia utilizada nos experimentos.....	40
Capítulo 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1 - Curva de maceração dos cultivares de arroz.....	43
5.2 - Tabelas dos resultados dos experimentos.....	44
5.3 - Análises dos resultados segundo o planejamento fatorial.....	53
Capítulo 6 - CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	63
ABSTRACT.....	70
APÊNDICE.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do grão de arroz.....	5
Figura 2 - Detalhes da película do grão de arroz.....	6
Figura 3 - Onda eletromagnética.....	19
Figura 4 - a) Molécula de água, b) Ângulo entre átomos de hidrogênio, c) Momento Polar....	21
Figura 5 - a) Molécula dipolar orientada em uma direção qualquer, b) Molécula dipolar orientada segundo a direção do campo elétrico.....	21
Figura 6 - Capacitor submetido a uma tensão “U”.....	22
Figura 7 - a) Moléculas polares entre placas descarregadas, b) Moléculas polares submetidas a uma diferença de potencial.....	22
Figura 8 - Transmissão e reflexão da energia de microondas.....	26
Figura 9 - Forno aplicador de microondas.....	36
Figura 10 - Controle de temperatura do forno.....	37
Figura 11 - Sensor de temperatura.....	37
Figura 12 - Recipientes para preparação de amostras.....	38
Figura 13 - Beneficiado padrão para arroz.....	39
Figura 14 - Curva de maceração a 70°C para os cultivares IAC 102 e IAC 165.....	43
Figura 15 - Interpretação dos resultados da porboilização por microondas.....	57
Figura 16 - Curva de aquecimento por microondas do arroz a 95°C com rampa de 3 minutos e tempo de residência de 3 minutos.....	58
Figura 17 - Curva de aquecimento por microondas do arroz a 95°C com rampa de 3 minutos e tempo de residência de 1 minutos.....	58
Figura 18 - Curva de aquecimento por microondas do arroz a 85°C com rampa de 3 minutos e tempo de residência de 3 minutos.....	59
Figura 19 - Curva de aquecimento por microondas do arroz a 85°C com rampa de 3 minutos e tempo de residência de 1 minutos.....	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Os maiores produtores mundiais de arroz	4
Tabela 2 - Composição do arroz integral e polido.	11
Tabela 3 - Composição de arroz brunido comum e parboilizado	11
Tabela 4 - Espectro de frequências eletromagnética.....	20
Tabela 5 - Parâmetros dielétricos, profundidade de penetração das microondas em função da umidade e frequência (MUDGET, 1985).....	29
Tabela 6 - Resultados do processamento por microondas (MARSAIOLI, 1991)	32
Tabela 7 - Resultados do tratamento por microondas (ROBERTS, 1977).....	33
Tabela 8 - Resultado comparativo para o arroz com e sem tratamento por microondas (ROBERTS, 1977)	33
Tabela 9 - Variáveis de controle do processo de parboilização para o ensaio 1.	44
Tabela 10 - Resultados do beneficiamento do ensaio 1	44
Tabela 11 - Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 2.....	45
Tabela 12 - Resultados do beneficiamento do ensaio 2	45
Tabela 13 - Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 3	46
Tabela 14 - Resultados do beneficiamento do ensaio 3	46
Tabela 15 - Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 4.....	47
Tabela 16 - Resultados do beneficiamento do ensaio 4	47
Tabela 17 - Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 5.....	48
Tabela 18 - Resultados do beneficiamento do ensaio 5	48
Tabela 19 - Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 6.....	49
Tabela 20 - Resultados do beneficiamento do ensaio 6	49
Tabela 21 - Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 7.....	50
Tabela 22 - Resultados do beneficiamento do ensaio 7	50
Tabela 23 - Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 8.....	51
Tabela 24 - Resultados do beneficiamento do ensaio 8	51
Tabela 25 - Rendimento de grãos inteiros para arroz IAC 165 e IAC 102 (<i>in natura</i>).....	52
Tabela 26 - Níveis de cores para os cultivares IAC 165 e IAC 102.....	52

Tabela 27 - Resultados do planejamento fatorial 2^2 para o arroz IAC 165	53
Tabela 28 - Resultados do planejamento fatorial 2^2 para o arroz IAC 102	53
Tabela 29 - Estimativa do erro experimental.....	55
Tabela 30 - Efeitos do planejamento fatorial 2^2 para o arroz IAC 165	56
Tabela 31 - Efeitos do planejamento fatorial 2^2 para o arroz IAC 102	56

SÍMBOLOS

Latinos

a	Constante empírica de acoplamento [-]
b	Constante empírica de acoplamento [-]
c	Velocidade da luz $\approx 3 \times 10^8$ [m/s]
c_p	Calor específico a pressão constante [J/kgK]
e	Base do sistema neperiano de algarítmicos $\approx 2,71828$ [-]
E	Vetor intensidade de campo elétrico [V/m]
E_V	Eficiência de acoplamento volumétrico = $100 P_o/P_m$ [%]
f	Frequência [Hz]
H	Vetor intensidade de campo magnético [A/m]
k	Condutividade térmica [W/mK]
k_m	Constante empírica de acoplamento [-]
m_f	Massa final [kg]
m_i	Massa inicial [kg]
P_v	Potência por unidade de volume [W/m ³]
P_o	Potência acoplada pela carga não casada [W]
P_m	Potência acoplada pela carga casada [W]
P_i	Potência incidente na superfície do dielétrico [W]
P_r	Potência refletida na superfície do dielétrico [W]
P_t	Potência transmitida na superfície do dielétrico [W]
P_V	Potência dissipada por unidade de volume do dielétrico [W/m ³]
P_z	Potência não atenuada a distância z da superfície [W]
N	Número de elementos da amostra [-]
R_n	Coefficiente de reflexão [-]
s^2	Variância amostral [-]
s	Desvio padrão [-]
T	Efeito principal da temperatura [°C]

T	Temperatura [°C]
R_n	Coefficiente de transmissão [-]
V_s	Velocidade de fase no dielétrico [m/s]
w_f	Umidade final [%]
w_i	Umidade inicial [%]
x_i	i-ésimo elemento da amostra
\bar{x}	Média amostral [%]
y_i	i-ésimo elemento da média de rendimentos [%]
\bar{y}	Média dos valores de rendimento [%]

Gregos

α	Fator de atenuação [1/m]
α_T	Difusividade térmica [m ² /s]
β	Fator de fase [1/m]
γ	Fator de propagação complexo = $\alpha + j\beta$ [1/m]
δ	Ângulo de fase [rad]
ϵ_0	Constante dielétrica do vácuo $\approx 8,854 \times 10^{-12}$ [F/m]
ϵ^*	Permissividade complexa [F/m]
ϵ'	Permissividade ou constante dielétrica [F/m]
ϵ''	Fator de perda dielétrica [F/m]
ϵ_r''	Fator de perda dielétrica relativa = ϵ''/ϵ_0 [F/m]
ϵ^*	Permissividade complexa = $\epsilon' + j\epsilon''$ [F/m]
ϕ	Ângulo da potência incidente na superfície [rad]
Ψ	Ângulo da potência refratada no dielétrico [rad]
η_0	Impedância intrínseca do ar [Ω]
η	Impedância intrínseca do dielétrico [Ω]
λ	Comprimento de onda [m]
μ_0	Permeabilidade magnética no vácuo $\approx 1,257 \times 10^{-10}$ [H/m]
θ	Tempo [s]
θ	Efeito principal de tempo [s]
θT	Efeito de interação tempo temperatura
ρ	Densidade [kg/m ³]
ω	Velocidade angular [rad/s]
$\tan \delta$	Tangente de perda = $\tan \epsilon'/\epsilon''$ [-]

RESUMO

A parboização dos grãos de arroz é, basicamente, um processo hidrotérmico onde o arroz em casca é hidratado a um teor de umidade próximo aos 30 %, por imersão em água potável a uma temperatura acima de 58 °C, seguido de gelatinização parcial ou total do amido pela aplicação de calor e posterior secagem, resultando em vantagens significativas no rendimento de grãos inteiros após o beneficiamento e aumento do valor nutritivo do arroz.

Este trabalho estudou os efeitos da aplicação da energia de microondas na parboilização do arroz, na etapa de gelatinização do amido, em substituição a autoclave utilizada no processo convencional. A utilização da energia de microondas foi baseada no aproveitamento das suas características intrínsecas de aquecer muito rapidamente tanto a superfície quanto o interior dos grãos, reduzindo assim drasticamente o tempo de processamento de 20 a 30 minutos no processo convencional para 2 a 5 minutos no tratamento por microondas.

Foram estudadas as condições de processamento que resultaram nos melhores rendimentos de grãos inteiros, atuando principalmente na temperatura máxima alcançada pelos grãos durante o processamento e o tempo de residência nesta temperatura. Os melhores resultados no rendimento de grãos inteiros, para ambos os cultivares estudados IAC 165 e IAC 102, foram obtidos na temperatura máxima de 95 °C e no tempo de residência de 1 minuto após 3 minutos gastos na rampa de aquecimento dos grãos de arroz, da temperatura ambiente até a temperatura máxima. Os resultados alcançados sob estas condições foram o aumento de rendimento de 60,9 % do cultivar IAC 165 “in natura” para 68,1 % e de 23,1 % do cultivar IAC 102 “in natura” para 59,9 % após a parboilização pela aplicação de microondas, e também resultando em uma cor dos grãos parboilizados por microondas bem mais clara com relação à dos grãos parboilizados pelo processo convencional.

1 - INTRODUÇÃO

A parboilização do arroz em casca é um processo que visa minimizar a quebra de grãos durante o beneficiamento e evitar a remoção excessiva de nutrientes. Durante o beneficiamento a casca, as camadas periféricas e o germe são removidos transformando o arroz em um produto translúcido e de grande estabilidade de armazenamento. A parboilização consiste em três etapas: maceração em água, cozimento e secagem. Na maceração, a água difunde-se para o interior do grão arrastando compostos hidro-solúveis e fornecendo as condições necessárias à gelatinização do amido durante o cozimento. A gelatinização “emenda” as fissuras e retém os compostos hidro-solúveis no interior do grão de arroz. Na secagem, os grãos tornam-se mais resistentes às tensões que surgem durante o beneficiamento, resultando em aumento de rendimento de grãos inteiros.

Atualmente têm-se buscado um constante aprimoramento nos processos produtivos com o objetivo de melhorar a qualidade dos produtos e reduzir os custos de produção. Este aprimoramento baseia-se na utilização de novas tecnologias, entre outras, a técnica de aplicação de microondas. As microondas podem ser vantajosas quando aplicadas aos processos de aquecimento e secagem, em virtude de algumas características específicas, tais como a sua instantânea penetração no produto tratado, com rápida conversão da energia em calor, reduzindo-se os tempos de secagem, com melhoria da produtividade e a absorção seletiva da energia pelas zonas mais úmidas, que se traduz em aquecimento e umidade final mais uniformes.

Tratando-se a parboilização do arroz em casca de um processo hidrotérmico, em que no procedimento convencional encontram-se algumas etapas de transporte de massa e calor de execuções demoradas, as microondas possuem um grande potencial de aplicação no sentido da substituição e/ou assistência a uma ou mais etapas da parboilização. Pois a consulta a literatura vem exatamente confirmar esta tendência, através de um número cada vez maior de publicações nesta área (VELUPILLAI *et al.*, 1986; CRAIG *et al.*, 1990; WADSWORTH *et al.*, 1990; DOOS *et al.*, 1993 e MARSHALL *et al.*, 1993, etc.) e uma patente (UNITED STATES PATENT, VELUPILLAI *et al.* 1989).

Por intermédio do presente trabalho foi possível realizar a parboilização do arroz em casca utilizando-se quase que exclusivamente a energia de microondas como fonte de calor na etapa de gelatinização deste processo. Mantidas as condições operacionais constantes, relativas às demais etapas da parboilização, os resultados do tratamento de gelatinização por microondas foram bastante satisfatórios sob os pontos de vista do aumento do rendimento de grãos inteiros e da obtenção de uma cor mais clara do arroz submetido ao novo processo quando comparado ao arroz obtido pela parboilização convencional.

Nos experimentos realizados o controle da potência do forno era feita automaticamente em função da temperatura do arroz determinada para cada ensaio. Todos os ensaios foram realizados a nível de bancada de laboratório. Entretanto as condições operacionais e os limites dos tratamentos estipulados para as amostras servirão para a montagem futura de novos ensaios já em escala piloto. A partir de então as variáveis envolvidas deverão ser selecionadas de forma a dar suporte aos projetos de novos equipamentos de microondas visando a aplicação em escala industrial, possibilitando ainda aprofundar os estudos que confirmarão a viabilidade econômica dentro dessa nova escala de parboilização por microondas.

2 - OBJETIVO

O presente trabalho teve por objetivo estudar as condições de aplicação da energia de microondas na parboilização de arroz em casca, durante a etapa de gelatinização. Estudou-se as condições que pudessem fornecer os melhores resultados no rendimento de grãos inteiros, após o beneficiamento, para cada um dos cultivares de arroz processados pela aplicação de microondas, assim como aquelas condições que resultassem em uma cor mais clara e aparência mais vítrea para os grãos de arroz parboilizado, adequando-os melhor às exigências dos consumidores.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Importância mundial do cultivo do arroz

O arroz é um dos cereais mais cultivados no mundo, constituindo-se no alimento básico para 2/3 da população mundial. No Brasil assume importância social de alta relevância, pois constitui, juntamente com o feijão, a base alimentar da população, principalmente a de menor poder aquisitivo. Hoje, o cultivo do arroz coloca-se em segundo lugar em área plantada, só perdendo para o trigo, estendendo-se o seu cultivo na faixa de 45° Norte a 40° Sul de latitude e desde o nível do mar até 3.000 metros de altitude (PINZAN, 1986). A China é o maior produtor mundial seguido pela Índia, Indonésia, outros países asiáticos e o Brasil, ocupando o 9º lugar, com 3% da produção mundial (Tabela 1). A produção mundial para a safra 96/97 foi estimada em 275 milhões de toneladas (MANCHETE RURAL, 1997).

No Brasil houve uma redução na área plantada para a safra 96/97, ocasionando uma diminuição na produção com relação aos anos anteriores, devendo ficar em 9,5 milhões de toneladas e, sendo o mercado de consumo interno de 12 milhões de toneladas, o país deverá importar aproximadamente 1,5 milhões de toneladas de arroz (MANCHETE RURAL, 1997).

Tabela 1 - Os maiores produtores mundiais de Arroz

Países	Produção (t x 10 ³)	População (milhões)	Consumo per capita (kg/ano)
China	174.704	1.104	158
Índia	92.422	835	110
Indonésia	40.525	185	219
Paquistão	22.710	115	197
Tailândia	19.241	56	343
Vietnã	15.435	67	230
Birmânia	13.983	41	341
Japão	13.421	123	109
Brasil	10.868	147	74
Filipinas	8.919	65	137

Fonte: I.R.R.I. (1990), citado por AMATO e SILVEIRA FILHO (1991)

3.2 - Estrutura e composição do grão de arroz

O arroz é uma planta anual, monocotiledônea, pertencente à família *Graminae*, gênero *Oriza* e espécie cultivada principal *Oriza sativa* L. A Fig.1 mostra a constituição do grão de arroz, composto por casca, película (pericarpo, tegumento, aleurona), germe e endosperma (AMATO & SILVEIRA FILHO, 1995).

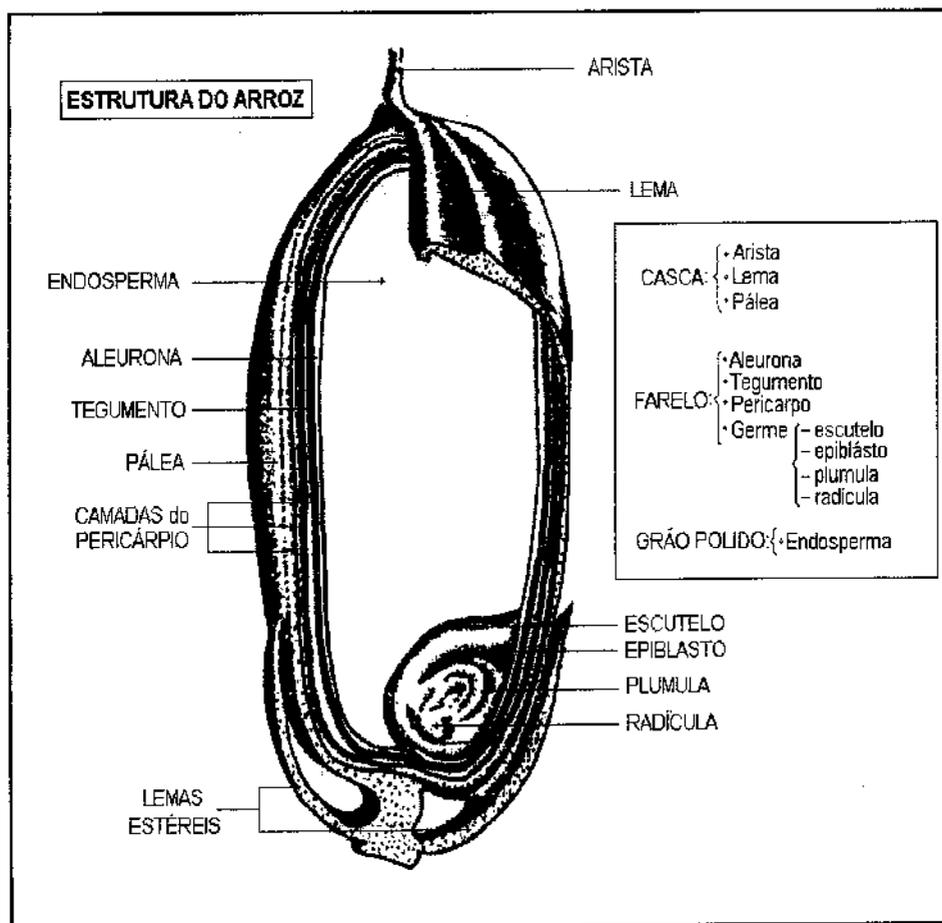


Figura 1 - Estrutura do grão de arroz (FONSECA, 1989)

A porcentagem de casca varia de 18 a 22 %, sendo composta por arista, lema e pálea, constituindo-se basicamente de celulose, lignina e cinzas de sílica. Na casca encontra-se também o composto cutina, o qual é repelente de água. O farelo (película e germe) retirado após o beneficiamento contém cerca de 80% das proteínas. Retirando-se a casca, tem-se o arroz pardo ou integral que é constituído, em base seca, por pericarpo de 1 a 2 %, tegumento e aleurona de 4 a 6 % e endosperma de 89 a 93 % (JULIANO, 1972).

O pericarpo, que é a camada externa da cariópse, fornece proteção ao tegumento e caracteriza a cor parda do arroz integral. Logo abaixo, tem-se o tegumento, camada fina e delicada, onde estão presentes os compostos gordurosos. Abaixo do tegumento, envolvendo o endosperma e o germe, tem-se a camada aleurônica como mostra a Fig. (2).

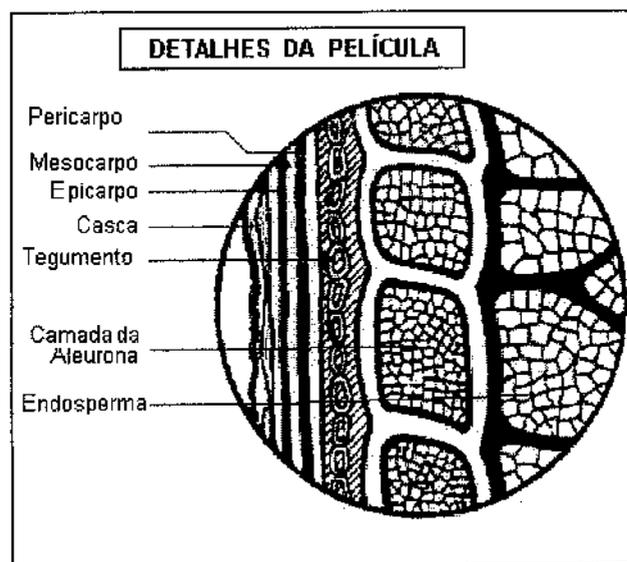


Figura 2 - Detalhes da película do grão de arroz

O germe ou embrião está localizado na extremidade basal do grão. É a porção que dá origem à nova planta, quando a semente se coloca em condições de germinação. Finalmente, a parte mais interna da cariópse é o endosperma formado principalmente por amido. É o principal componente do arroz para alimentação humana (JULIANO, 1972).

Mais de 90% da matéria seca do endosperma é formado por amido (GARIBOLDI, 1972), que por sua vez é constituído por amilose e amilopectina, ambos polissacarídeos de glicose, sendo que a amilose é de cadeia simples, helicoidal e a amilopectina é ramificada. Estas duas estruturas estão ligadas entre si por pontes de hidrogênio e ligação Van der Waals, formando os grânulos de amido (RADLEY, 1968).

3.3 - Etapas do pré-processamento agroindustrial do arroz

De acordo com PINZAN (1986), o pré-processamento do arroz apresenta as seguintes etapas:

3.3.1- Colheita

É realizada por sistema mecanizado ou manual quando os grãos atingirem 20 a 24% de umidade. Na prática, o ponto de colheita é determinado através da observação das panículas, se a maioria dos grãos (2/3 ou mais) estiver madura, com a sua coloração característica do cultivar (tendo os poucos grãos das ramificações inferiores da panícula coloração mais ou menos esverdeada porém consistente) o arroz está no ponto exato da colheita..

3.3.2 - Secagem

A utilização de secadores se torna necessária quando se colhe uma área superior a 150 ha. O arroz chega ao secador com um teor de umidade de 20 a 25%, sendo que na operação de secagem é necessário fazer de 3 a 4 passagens sucessivas pelo secador, dentro de intervalos de 3 a 4 horas a cada passada, propiciando assim uma secagem lenta. O ponto de secagem será atingido quando o arroz em casca atingir a umidade de 13% e o grão 14%.

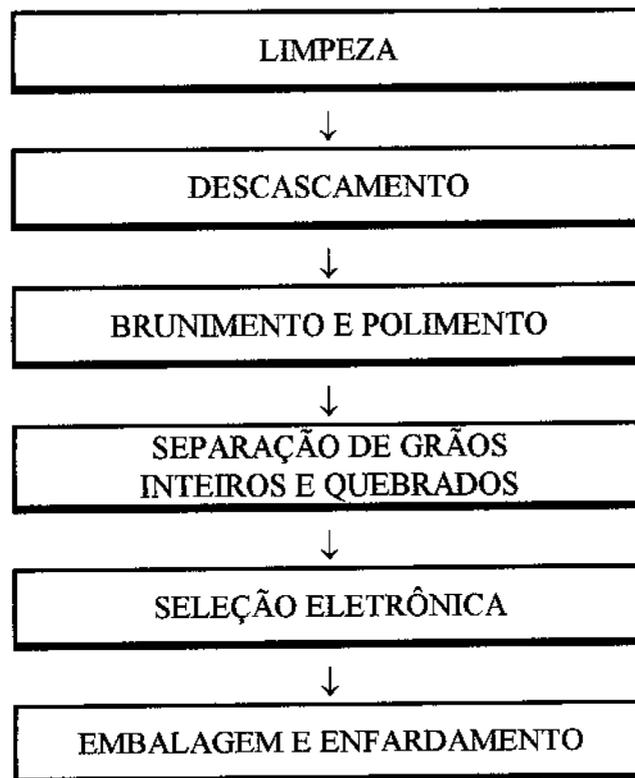
Grandes volumes de arroz usualmente são secos em secadores de coluna de fluxo contínuo que trabalham com ar aquecido de 40 até 54°C, no máximo. De modo geral, a temperatura da “massa” do arroz, ao sair do secador deve estar entre 36 e 37°C, não devendo ultrapassar os 41°C, a fim de obter-se um produto de boa qualidade e alto rendimento de grãos inteiros após o beneficiamento.

3.3.3 - Armazenamento

O objetivo final do armazenamento é de se formar estoques reguladores de preço. No Brasil, a perda de grãos armazenados, em geral, é estimada em 20% do total. A umidade máxima para o armazenamento por 6 meses é de 13,5%, e para mais de 6 meses de 12% no máximo. O controle de pragas de grãos armazenados é realizado por expurgo ou fumigação que extermina os insetos desde a fase de ovo até a fase adulta.

3.3.4 - Beneficiamento

No beneficiamento do arroz é procura-se remover a casca, o farelo e o germe com o mínimo de quebra do endosperma (FONSECA, 1989). Em escala industrial, encontram-se as seguintes operações:



- Limpeza

Separam-se os grãos da impureza (palhas, pedras, etc.) através de um jogo de peneiras onde as impurezas leves são eliminadas por aspiração. As mais pesadas e os grãos danificados são retirados nas mesas densimétricas por arraste, devido a diferença de peso específico em relação ao grão de arroz inteiro.

- Descascamento

Retira-se a casca dos grãos por descascadores de discos, revestidos de esmeril, ou descascadores de rolo de borracha, sendo estes últimos os mais indicados para arroz tipo longo. Após o descascamento, passa-se o produto por peneiras, separando o farelo grosso do

arroz descascado e do marinheiro (5 a 10% do arroz que não foi descascado). As cascas são aspiradas por ventilador e conduzidas para fora do galpão. Os grãos descascados e o marinheiro vão para o separador de marinheiros..

- Brunimento

O brunimento é realizado através de cones de pedra abrasiva onde os grãos descascados são limados (desbastados), eliminando-se a película que envolve o grão resultando no farelo.. Para produzir arroz brilhado faz-se o polimento do produto (PINZAN, 1986).

- Separação de grãos inteiros e quebrados

Para a separação dos grãos quebrados utiliza-se o “trieur”, que consiste em cilindros rotativos inclinados, cujas paredes laterais contém pequenos alvéolos, de dimensões que permitem acomodar partes menores que 3/4 do comprimento do grãos inteiros, até uma determinada posição, sendo recolhidos por uma rosca transportadora. Os grãos inteiros e maiores que 3/4 do comprimento permanecem deslizando na superfície do cilindro e são retirados na outra extremidade do mesmo.

- Seleção eletrônica de grãos

Os grãos e outras impurezas de coloração escura , ao passarem pelos dutos de escolha da selecionadora eletrônica, são detectados através de um sensor foto elétrico e são separados mediante aplicação de pequeno jato de ar comprimido, controlado eletronicamente. Assim é possível retirar grãos danificados, escuros e outras impurezas de coloração escura que não apresentam diferença de peso específico com relação ao grão de arroz inteiro.

- Embalagem e enfardamento

O arroz inteiro já selecionado e classificado, normalmente, é embalado em embalagens plásticas transparentes através de máquinas automáticas, e em seguida é empacotado em fardos contendo 6 embalagens. Assim o arroz está pronto para ser distribuído comercialmente.

Durante o beneficiamento a obtenção de alto rendimento de grãos inteiros é uma característica altamente desejável, pois alcançam melhor valor econômico. Segundo FONTANA (1986), o rendimento de grãos inteiros depende da variedade, classe dos grãos, condições ambientais de cultivo, secagem, armazenamento e condições de beneficiamento.

3.4 - Processos de parboilização convencional do arroz

A parboilização dos grãos de arroz é um processo hidrotérmico onde o arroz em casca é encharcado até a umidade mínima de 30 %, por imersão em água potável, a uma temperatura acima de 58 °C, e uma posterior gelatinização parcial ou total do amido e secagem, segundo a portaria nº 269, de 17/11/1988 (SECRETARIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 1988). O arroz parboilizado resulta em vantagens significativas no rendimento durante o beneficiamento do arroz, reduzindo a quebra e melhorando as qualidades nutritivas do arroz.

O tratamento de parboilização de arroz é originário do Oriente, muito comum em Burma e Índia. No início do século, a Índia era molestada por uma doença chamada beribéri, causada pela deficiência de vitamina B1. Somente numa região, de Madras, esta doença era praticamente inexistente. Constatou-se, neste local, uma curiosa variação de hábito: com a finalidade de facilitar o descascamento, imergia-se o arroz em casca em água aquecida e após um curto tempo, secava-se e descascava-se em pilão. As vitaminas e minerais hidro-solúveis, principalmente do complexo B, se fixavam no grão após o beneficiamento e a população não sofria de beribéri (FUJII, 1988).

Na parboilização, grande parcela das vitaminas e sais minerais hidro-solúveis presentes no tegumento e embrião são transferidos ao endosperma, elevando-se o valor nutritivo do produto beneficiado, como mostra as Tab. 2 e 3, além de diminuir significativamente o conteúdo de grãos quebrados após beneficiamento, (SILVA, 1976).

Tabela 2 - Composição do arroz integral e polido.

Constituintes	(Unidade)	Arroz Integral	Arroz Polido
Proteína	(%)	7,1 - 13,1	5,6 - 13,3
Gordura	(%)	1,8 - 4,0	0,2 - 1,1
Carboidrato	(%)	75 - 90	81 - 93
Tiamina	(mg/kg)	2,1 - 4,5	0,0 - 1,8
Riboflavina	(mg/kg)	0,4 - 0,9	0,1 - 0,4
Niacina	(mg/kg)	44 - 62	8 - 26
Ferro	(mg/kg)	7 - 54	2 - 27
Cálcio	(mg/kg)	65 - 400	46 - 385
Fósforo	(mg/kg)	2500 - 4400	860 - 1920

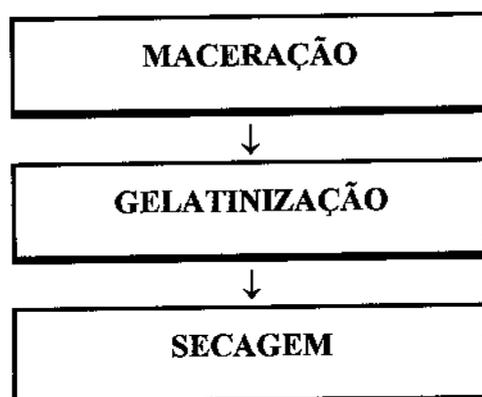
Fonte (JULIANO, 1973)

Tabela 3 - Composição de arroz brunido comum (branco) e parboilizado

Constituintes	(Unidade)	Arroz Comum	Arroz Parboilizado
Proteína	(%)	9,3	9,2
Gordura	(%)	0,2	0,1
Tiamina	(mg/kg)	0,5	2,5
Riboflavina	(mg/kg)	0,2	0,4
Niacina	(mg/kg)	16,4	32,2
Ferro	(mg/kg)	3,9	4,3
Cálcio	(mg/kg)	81	99
Fósforo	(mg/kg)	1010	1380

Fonte: (GARIBOLDI, 1972)

Segundo AMATO e SILVEIRA FILHO (1991) três etapas básicas distintas são encontradas nos principais processos industriais modernos de parboilização de arroz:



3.4.1 - Maceração do arroz em casca

A primeira etapa do processamento de parboilização é a maceração, que consiste em conservar o arroz em casca imerso em água, normalmente aquecida, pois arroz é um material higroscópico e pode absorver água na forma líquida e/ou de vapor, causando um entumescimento. O processo simultâneo de absorção e de entumescimento é conhecido como maceração, encharcamento ou embebição, (SAN MARTIN MARTINEZ, 1984).

De acordo com vários pesquisadores, KURIEN *et al.* (1964); BHATTACHARYA e SUBBA RAO (1966); GARIBOLDI (1972); LEQUERICA e TORTOSA (1977); PRIESTLEY *et al.* (1980); SAN MARTIN MARTINEZ (1984); SCHIMER e SILVEIRA (1985); AMATO *et al.*, (1989); MARSHALL *et al.* (1993), conclui-se que, após a maceração, o arroz em casca deve atingir um teor de umidade mínima ao redor de 30 a 32%, necessária para permitir uma perfeita gelatinização do amido na etapa seguinte.

GARIBOLDI (1972) ressalta que cada cultivar possui suas próprias características de maceração e recomenda rapidez na operação para evitar os efeitos fermentativos e processos enzimáticos, com suas consequências desfavoráveis no sabor, cor e odor do produto. Também relata que a temperatura ideal para a maceração é um pouco abaixo da temperatura de gelatinização do arroz (próprio de cada cultivar). Nessas condições há uma redução do tempo de encharcamento. A temperaturas superiores à de gelatinização, a velocidade de absorção de água aumenta e provoca uma indesejável abertura da casca. Segundo VASAN e KUMARAVEL (1982) uma vantagem significativa na redução do tempo de maceração é conseguida submetendo o arroz em casca ao vácuo antes da operação.

Em outro estudo GARIBOLDI (1974) apresenta como fatores que influenciam na hidratação, as condições de cultivo e o tempo de armazenagem da matéria prima. Pelas mesmas razões operacionais apresentadas anteriormente, indica a faixa de 60 a 70 °C como ideal para o processamento.

Estudos de RAJ e SINGAVADIVEL (1980) ressaltaram que, com a taxa de absorção d'água excessiva, o grão entumescia exageradamente, rompendo a casca e liberando sólidos solúveis. JULIANO (1980) observou que, enquanto parte dos nutrientes migrava para o

interior dos grãos, certos compostos como açúcares, aminoácidos, minerais e vitaminas eram arrastados para fora do grão, devido ao rompimento da casca. BHATTACHARYA e SUBBARAO (1966) verificaram que a casca, estando intacta, agia como película protetora impedindo o ataque de microrganismos e insetos e limitando a absorção d'água, porém o entumescimento excessivo forçava a casca a abrir e os grãos perdiam a rigidez, deformando-se.

BHATTACHARYA e ALI (1985) enfatizaram que, a baixas temperaturas, a hidratação é muito lenta, ocorrendo ação bacteriana. Por tratar-se de um processo de difusão, a taxa de hidratação aumenta com o aumento da temperatura. Sob altas temperaturas, após um período discreto, a hidratação passa a crescer exponencialmente. O rompimento da casca ocorre somente acima da temperatura de gelatinização. Isto ocorre quando a quantidade de água excede a 30 a 32 %, quando se usa temperatura superiores a 75 °C.

Ainda analisando algumas isotermas, BHATTACHARYA e ALI (1985) verificaram que há um aumento da absorção de água à medida que aumenta a temperatura. Um efeito interessante ocorre com as isotermas de 65 e 70 °C, pois a isoterma de 65 °C inicialmente tem uma taxa de absorção superior, acompanhando os primeiros valores da isoterma de 75° C, para depois retornar ao comportamento teoricamente previsto. Traçando uma hierarquia das barreiras à difusão, BHATTACHARYA (1986) propõe que a principal camada a impedir a hidratação é a casca, seguida da película que envolve o grão de arroz.

Ao se efetuar a maceração, a água é absorvida pelo endosperma. Em temperatura ambiente, esta capacidade de absorção é pequena, porém, se for utilizada água aquecida, as ligações entre as moléculas se enfraquecem e os grânulos absorvem mais água (LEACH, 1962).

BHATTACHARYA e ALI (1985) realizaram ensaios de parboilização e concluíram que a melhor temperatura para maceração é de 70°C durante cerca de 3 a 4 horas. Temperaturas próximas à ambiente prolongam excessivamente a duração da operação, além de 50 horas, e a umidade final permanece inferior a 30%, sendo o rendimento de grãos inteiros semelhante ao não parboilizado.

A maceração insuficiente pode resultar em produto de aspecto duvidoso, com pérolas brancas ao centro, indicando que a alta umidade não atingiu toda massa de grão (GARIBOLDI, 1972). As condições de maceração podem ativar enzimas presentes nos grãos. A amilase atua na faixa ótima de 60 °C, hidrolizando amido em açúcares redutores (RAO e JULIANO 1970). Por outro lado, sabor e odor podem se modificar pelo tratamento de maceração. Albuminóides e aminoácidos sulfurosos podem se hidrolizar formando tialcoois que fornecem o odor característico do arroz parboilizado. CEREDA *et al.* (1986), utilizando maceração a 60 °C, verificou que não houve grandes alterações de odor e sabor, porém em maceração a temperaturas inferiores houve consideráveis alterações de sabor.

Segundo DUSI (1982), altas temperaturas abreviam o tempo de imersão, podendo apresentar altos rendimentos de grãos inteiros, porém, a aplicação de pressão ou vácuo também reduziu o tempo de maceração. Realizando-se tratamento de maceração sob vácuo, o tempo foi consideravelmente menor que à pressão atmosférica.

De acordo com MECHAN *et al.* (1961), a maceração excessiva influenciou na qualidade de cocção tornando o arroz cozido um produto viscoso e aglutinado, além de apresentar problemas de absorção d'água.

LEQUERICA e TORTOSA (1977), pesquisando a nível de laboratório a parboilização de seis variedades de arroz produzidas na Espanha, descreveram as principais variáveis de encharcamento. O tempo de maceração para alcançar 28%, preestabelecida, encontra-se entre 2 e 3 horas. A presença de sólidos transferidos à água de maceração é baixa, de 0,3 a 6,0 %, nestes sólidos, o teor de proteínas é de 7 %, representando somente 0,5 % das proteínas totais do grão. A abertura da casca situa-se entre 0,5 e 12 % do total de grãos. O aumento do volume durante o encharcamento varia de 3,8 a 10 %. Concluíram também que a operação não altera a dureza do grão, tendo características semelhantes às do arroz cru. Analisando várias camadas dos grãos, chegaram à conclusão que há uma migração de compostos, durante a maceração, para o centro dos grãos, incluindo proteínas e cinzas (minerais solúveis, como sódio e potássio).

3.4.2 - Gelatinização do arroz

É a etapa onde os grânulos do amido contido no grão de arroz sofreu o processo de gelatinização, a qual deve ser realizada com a umidade inicial do arroz entre 30 a 32%. Para a gelatinização é possível a utilização de vários métodos diferentes, entre os quais, a autoclavagem, onde o arroz umidificado durante a maceração, submete-se à ação do vapor saturado sob pressão. Durante este tratamento hidrotérmico, ocorre a gelatinização do amido e as possíveis fissuras existentes no endosperma são seladas, recuperando-se o grão (SAN MARTIN MARTINEZ, 1984).

Segundo CHANG (1992) com o calor fornecido, as pontes de hidrogênio do amido dos grãos de arroz se rompem, destruindo a estrutura molecular cristalina e tornando-a amorfa. A esta transformação da estrutura, irreversível, dá-se o nome de gelatinização, sendo possível através de um viscoamilográfico determinar o grau de gelatinização do arroz parboilizado.

De acordo com RAO e JULIANO (1973) as relações entre tempo e pressão de autoclavagem podem ser variadas. Utilizando-se pressão atmosférica, o tempo de autoclavagem pode variar de 5 a 30 minutos, de acordo com a variedade de arroz ou com a umidade de maceração. A maceração controla a absorção d'água enfraquecendo as pontes de hidrogênio, enquanto que, na autoclavagem, há rompimentos irreversíveis dessas ligações.

ROBERTS (1972, citado por AMATO *et al.*, 1990) estudando a cor do arroz parboilizado, verificou que, quanto maior o calor fornecido durante o tratamento, mais intenso foi o escurecimento, desde o amarelo até o pardo, ocasionado principalmente pelas reações de Maillard, dificultando a secagem posterior.

Estudos de ALI e PANDYA (1974) mostraram que o tratamento intensivo de calor durante a autoclavagem destruiu os antioxidantes naturais, rancificando as gorduras durante o posterior armazenamento. Segundo ALI e BHATTACHARYA (1976) o grão também sofreu influência da autoclavagem apresentando, com a intensidade de tratamento, dureza excessiva e dificuldade de absorver água durante a cocção.

3.4.3 - Secagem do arroz parboilizado

A umidade do arroz na saída desta etapa deve ser menor que 13% de umidade, níveis recomendados para armazenamento e/ou beneficiamento posterior (SAN MARTIN MARTINEZ, 1984).

Após a autoclavagem, o arroz contém elevado teor de umidade, variando de 30 a 35 %. Antes do beneficiamento, sofre secagem até atingir a umidade de 12 a 13 %, para posterior armazenagem ou beneficiamento. Alguns produtores secam o arroz até 14 a 15 % e a umidade residual é eliminada durante o resfriamento (AMATO e SILVEIRA FILHO, 1991).

A secagem pode ser natural, à sombra ou ao sol, ou ainda, com a utilização de ar aquecido artificialmente. Atualmente tem sido utilizada com maior intensidade a secagem artificial de arroz parboilizado, reduzindo o tempo de operação e mantendo a qualidade. No início da operação a temperatura atinge 100 °C. Ao fim da secagem utiliza-se temperatura pouco acima da ambiental. Se a secagem for contínua, o gradiente de umidade entre a superfície e interior do grão, ocasiona fissuras, iniciando-se quando a umidade atinge de 16 a 18 %, dependendo do cultivar e do processo submetido (LEQUERICA *et al.*, 1974).

3.4.4 - Beneficiamento do arroz parboilizado

O arroz parboilizado é facilmente descascado, devido ao rompimento da casca durante a autoclavagem, porém o brunimento é dificultado devido à aderência do farelo ao endosperma e também à dureza do próprio endosperma. A permanência do arroz no equipamento é maior, com alto consumo de energia e riscos de quebras dos grãos através de choques mecânicos. O ponto exato de brunimento é quando se obtém um bom rendimento de grãos inteiros e aceitável grau de beneficiamento. A quebra de grãos após o beneficiamento surge por inúmeros motivos: grãos imaturos gessados ou causados por secagem rápida, mudanças bruscas de umidade relativa, ou ainda choques mecânicos durante a colheita, transportes, limpeza ou beneficiamento. O decréscimo de quebras após o beneficiamento depende de cada etapa do processo, principalmente da maceração, que fornece a umidade necessária à gelatinização (BHATTACHARYA, 1986)

3.4.5 - Principais processos industriais modernos de parboilização de arroz

- Processo Malek

Segundo (AMATO e SILVEIRA FILHO, 1991), o processo Malek é a base de toda a parboilização com autoclave no Brasil.

Descrição do processo e características do produto:

- O encharcamento ou maceração é conduzida em temperaturas relativamente altas, acima de 65°C, por um período de 3 a 6 horas.

- A gelatinização é feita em autoclave vertical provida de extremidades de forma tronco-cônica onde estão localizadas válvulas rotativas que comandam a entrada e a saída de arroz em casca, por gravidade. A pressão do vapor é de 10 bar e o tempo de residência de 15 minutos.

- A secagem realiza-se em duas etapas, uma secagem dita “primária” é realizada em secador rotativo horizontal encamisado, onde se insufla ar quente. A secagem “secundária” é conduzida em secador vertical, com ar a temperaturas mais baixas.

O produto final tem como características sensoriais uma maior dureza e cor mais escura (âmbar) do que no processo “Rice Conversion”, tomando uma tendência a ser adjetivado de “amarelão”, correspondendo ao “parboiled dark” da classificação norte-americana.

- Processo “Rice Conversion”

Descrição do processo e características do produto segundo AMATO (1991):

- Na maceração, o arroz em casca é admitido em um vaso de pressão, sendo submetido primeiramente a um vácuo por tempo igual ou superior a 10 minutos. segue-se a adição de água a temperatura de 75 a 85 °C, sob pressão num tempo variável de 120 a 165 minutos, de acordo com a variedade, o tempo anterior de armazenagem, a cor final desejada, etc.

- A gelatinização é realizada em autoclave rotativa cilíndrica encamisada, que é parcialmente evacuada de início. Nesse ponto, é introduzido vapor saturado, sob pressão, durante aproximadamente 1 hora. A seguir, é novamente aplicado vácuo de para retirar a água superficial.

- A secagem inicial até 15 % se dá na mesma autoclave, através de vácuo e calor da superfície interna encamisada. Para evitar perdas de rendimento de beneficiamento, a secagem é conduzida para que o grão não atinja 45 °C. A secagem final é realizada em secador rotativo com ar a temperatura 40 a 60 °C. Após a secagem segue-se um “tempering” ou descanso de pelo menos 8 horas antes do beneficiamento para permitir que a difusão natural equilibre a umidade do grão.

O produto final pode ser obtido totalmente gelatinizado e com coloração clara, através da aceleração do processo pelo uso adequado de pressões (positivas e negativas) e temperaturas.

3.5 - Aquecimento por microondas

3.5.1 - Introdução às ondas eletromagnética

Onda eletromagnética é a forma pela qual a energia se propaga através de campos elétricos e magnéticos, mutuamente relacionados. A Fig. 3 ilustra uma onda eletromagnética que se propaga no espaço, podendo-se observar que para uma onda TEM (transversal eletromagnética) o vetor campo elétrico E , o vetor campo magnético H e a direção de propagação são perpendiculares entre si (HALLIDAY e RESNICK, 1987).

Os vetores campo elétrico E e campo magnético H estão intimamente relacionados: Variação de E dá origem a H que por sua vez, ao variar dá origem a E .

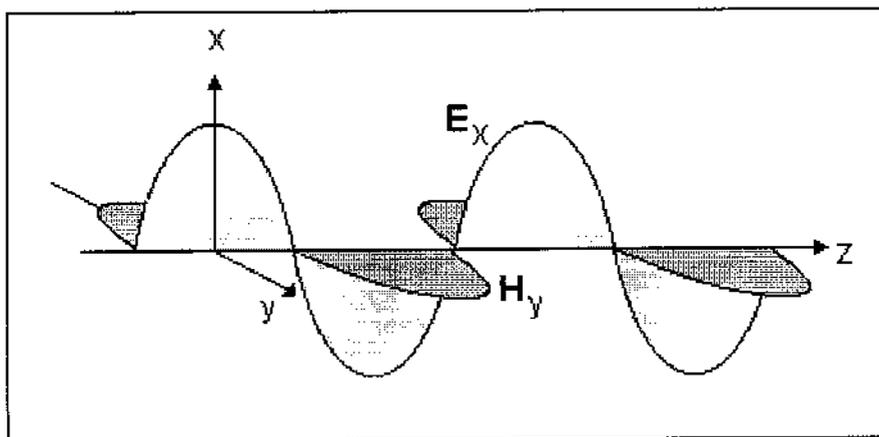


Figura 3 - Onda eletromagnética

3.5.2 - Espectro de frequências eletromagnéticas

Segundo DECAREAU (1985) convencionou-se chamar de microondas as frequências compreendidas na faixa entre 300 MHz a 300 GHz (comprimento de onda entre 1 m e 1 mm), sendo que as frequências de microondas permitidas para a utilização em aquecimento são: 915 ± 25 MHz, 2.450 ± 50 MHz, 5.800 ± 75 MHz e 24.225 ± 125 MHz.

A Tab. 4 mostra o espectro de frequências eletromagnéticas dividido a partir do comprimento de onda λ , que é calculado pela equação:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

onde: c : velocidade da luz no espaço livre ($\approx 3 \times 10^8$ [m/s])

f : frequência [Hz].

Tabela 4 - Espectro de frequências eletromagnéticas

Faixa de frequência	Comprimento de onda	Nomenclatura
30 a 300 Hz	10.000 a 1.000 km	ELF Extremely Low Freq.
300 a 3.000 Hz	1.000 a 100 km	VF Voice Frequency
3 a 30 Hz	100 a 10 km	VLF Very Low Freq.
30 a 300 kHz	10 a 1 km	LF Low Frequency
300 a 3.000 kHz	1.000 a 100 m	MF Medium Frequency
3 a 30 MHz	100 a 10 m	HF High Frequency
30 a 300 MHz	10 a 1 m	VHF Very High Freq.
300 a 3.000 MHz	1.000 a 100 mm	UHF Ultra High Freq.
3 a 30 GHz	100 a 10 mm	SHF Super High Freq.
30 a 300 GHz	10 a 1 mm	EHF Extremely High Freq.

3.5.3 - Como as ondas eletromagnéticas produzem calor

Existem vários mecanismos em escala molecular e atômica para a conversão de energia de microondas em energia térmica. Para SHIFFMANN (1987), entretanto, no aquecimento de alimentos por microondas, apenas a migração iônica e a rotação polar são de maior interesse.

No primeiro mecanismo, componentes ionizados colidem aleatoriamente com moléculas não ionizadas quando submetidos a um campo elétrico. A energia elétrica destes íons é convertida em calor durante as colisões (OWUSU-ANSAH, 1991).

No mecanismo de aquecimento pela rotação dipolar, moléculas polares como a água e outras moléculas (que podem se tornar “dipolos induzidos” devido às tensões causadas pelo campo elétrico) são influenciadas pela rápida mudança de polaridade deste campo. Para uma melhor ilustração do fenômeno, algumas informações complementares são listadas a seguir:

- Moléculas polares

Segundo FELTRE e SETSUO (1989) os átomos de diferentes eletronegatividades produzem ligações polares e a cada ligação polar associa-se um vetor *momento polar*. Uma molécula pode ter mais de uma ligação polar como, por exemplo, a molécula de água, cuja estrutura angular é mostrada na Fig. 4a, o ângulo entre o átomos de hidrogênio, na Fig. 4b e o vetor momento dipolar, na Fig. 4c.

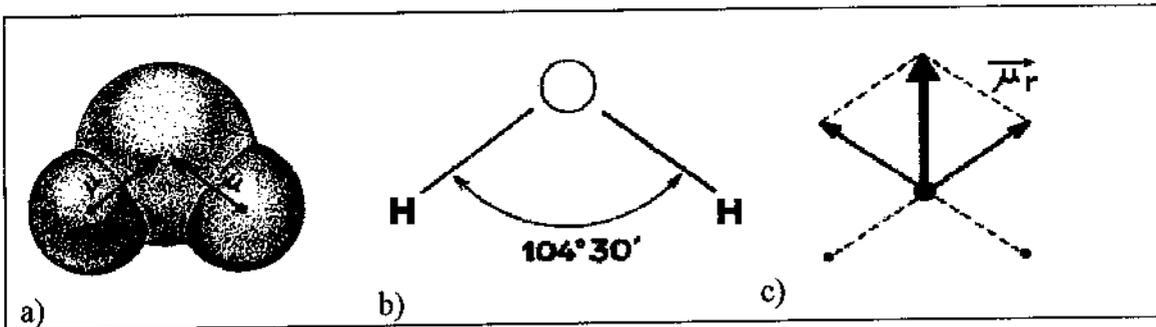


Figura 4 - a) Molécula de água; b) ângulo entre átomos de hidrogênio e c) momento polar

- Momento dipolar

Considere-se duas placas metálicas inicialmente descarregadas, como indica a Fig. 5a, com uma molécula polar posicionada inclinada, em relação às paredes da placa. Ao ser aplicada uma diferença de potencial elétrico entre as placas, Fig. 5b, a molécula será imediatamente orientada desviando-se da posição inicial.

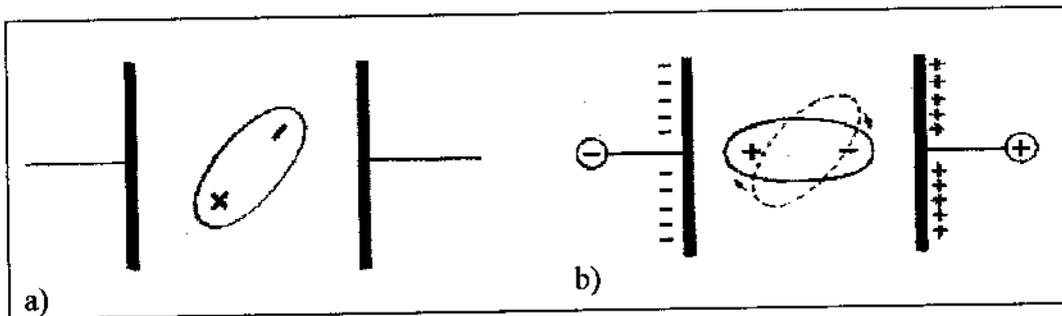


Figura 5 - a) Molécula dipolar orientada em uma direção qualquer; b) Molécula polar orientada segundo a direção do campo elétrico

O momento dipolar μ relaciona esta tendência, maior ou menor, em se orientar diante deste campo elétrico, sendo sua intensidade diretamente proporcional à carga efetiva de um dos pólos e às distâncias entre as cargas (FELTRE e SETSUO, 1989).

- Constante dielétrica

Seja um capacitor constituído de duas placas planas que recebem cargas elétricas quando as mesmas são submetidas a uma tensão “U”, como mostra a Fig. 6.

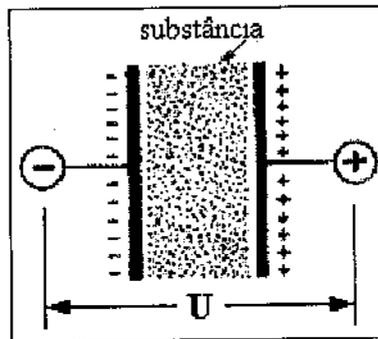


Figura 6 - Capacitor submetido a uma tensão “U”

Entre as placas encontra-se uma substância isolante que constitui o “meio” do capacitor. Este dispositivo armazena energia elétrica. Quanto mais polar e mais moléculas tiver o “meio”, maior será a energia acumulada, pois as moléculas polares ocupam o espaço entre as placas mas não possuem uma orientação direcional enquanto as placas estão descarregadas como indica a Fig.7.

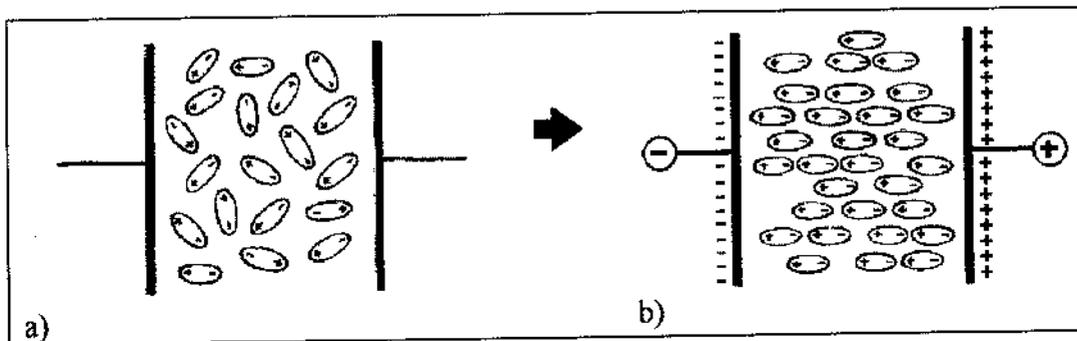


Figura 7: a) Moléculas polares entre placas descarregadas; b) Moléculas polares submetidas a uma diferença de potencial.

No momento em que aparecem as cargas nas placas, as moléculas polares exigem uma energia para sua orientação. Isto significa maior acúmulo de energia no sistema e, dizemos que esse meio possui uma constante dielétrica (ϵ) elevada. Se a substância colocada entre as placas for polar, trata-se de um material de elevada constante dielétrica (ϵ). No sistema eletrostático

(C.G.S.) foi tomado convencionalmente ($\epsilon = 1$) para o vácuo. Os valores de (ϵ) para outras substâncias foram calculados em relação ao do vácuo (FELTRE e SETSUO, 1989).

- Mecanismo de aquecimento por relaxação molecular

Quando uma fonte de tensão variável no tempo, por exemplo uma fonte elétrica de corrente alternada, for aplicada às placas do condensador, os dipolos, normalmente aleatoriamente orientados, tendem a se orientar no campo elétrico. Entretanto, quando o campo se torna nulo (relaxa), as moléculas retornam à sua orientação aleatória e são novamente orientadas em um campo elétrico de polaridade inversa. Esta mudança de polaridade de campo, ocorrendo em uma frequência de bilhões de vezes por segundo, faz com que os dipolos se alinhem e relaxem numa frequência igualmente alta. Isto resulta na ruptura das pontes de hidrogênio das moléculas de água e na geração de calor por atrito molecular (MUDGETT, 1989).

3.5.3 - Propriedades dielétricas dos alimentos

O aquecimento de alimentos por microondas, nas frequências geralmente empregadas no processamento industrial dos alimentos (915 e 2450 MHz), resulta do acoplamento de energia de um campo eletromagnético em uma cavidade de microondas. Essas interações levam à geração de calor instantânea dentro do produto devido ao “atrito molecular”, primariamente por causa da ruptura de pontes de hidrogênio fracas associadas com a rotação dos dipolos de moléculas de água livre e com a migração eletroforética de sais livres em um campo elétrico de polaridade rapidamente variável. Esses efeitos estão predominantemente relacionados com os constituintes iônicos aquosos dos alimentos e seus constituintes sólidos associados e de sua dissipação dentro do produto. Isto resulta em elevação de temperatura instantânea dentro do produto, em contraste com os processos de aquecimento convencionais que transfere energia da superfície, com constantes térmicas de tempo longas e lenta penetração de calor (BUFFLER, 1992).

Os alimentos, de modo geral, podem ser visualizados como dielétricos de capacitores não ideais no sentido que eles possuem a habilidade de armazenar e dissipar a energia elétrica de um campo eletromagnético, através de um conjunto de propriedades dielétricas expressas

em notação complexa com uma componente real, constante dielétrica, e uma componente imaginária, perda dielétrica. Tais materiais não interagem com o componente magnético do campo por causa da sua baixa permeabilidade magnética. Eles são, além disso, geralmente isolantes pobres, porque dissipam quantias consideráveis de energia elétrica, acopladas através de mecanismo de relaxação e condução relacionados primariamente à água livre e ao teor salino, como calor gerado internamente (VON HIPPEL, 1966 citado por JONES, 1986).

As propriedades dielétricas de um material são definidas pelas equações (3.2) e (3.3) (VON HIPPEL, 1995):

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j \cdot \varepsilon'' = |\varepsilon^*| \cdot e^{-j\delta} \quad (3.2)$$

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (3.3)$$

onde: ε^* : permissividade complexa

ε' : permissividade ou constante dielétrica

ε'' : fator de perda dielétrica

Essas propriedades elétricas básicas determinam a extensão da reflexão e transmissão de energia nas superfícies do produto e absorção de energia dentro do produto. As propriedades dielétricas básicas dos alimentos serão consideradas primariamente em termos dos fenômenos de relaxação e condução, como função da frequência, temperatura, composição química e estrutura física (VON HIPPEL, 1995).

3.5.4 - Modelagem das características de aquecimento por microondas

A absorção de potência e intensidade de campo dentro dos produtos alimentares variam com a profundidade a partir da superfície sob condições que estão continuamente variando com a temperatura durante o curso da irradiação. Em concordância com isto, o fator de perda dielétrica ε'' varia, não somente de uma região do produto para outra, mas também dentro de um particular segmento do produto conforme a temperatura sobe pelo aquecimento pelas microondas (BUFFLER, 1992).

A absorção volumétrica de potência (P_V) e a elevação da temperatura no aquecimento por microondas são geralmente descritas pelas equações (GOLDBLITH, 1967):

A absorção volumétrica de potência (P_V) e a elevação da temperatura no aquecimento por microondas são geralmente descritas pelas equações (GOLDBLITH, 1967):

$$P_V = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon'' \cdot E^2 = 55,6325 \cdot 10^{-12} \cdot f \cdot E^2 \quad (3.4)$$

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{P_V}{\rho \cdot c_p} \quad (3.5)$$

onde: P_V : potência por unidade de volume [W/m^3]

f : frequência [Hz]

ϵ'' : perda dielétrica relativa

ϵ_0 : $8,84 \times 10^{-12}$ [F/m]

E : campo elétrico [V/m]

ρ : densidade [kg/m^3]

T : temperatura [K]

c_p : calor específico [J/kgK]

θ : tempo [s]

A densidade de potência média no aquecimento por microondas é a metade da densidade de potência máxima dada pela equação (3.4). O calor gerado dentro do produto pelo acoplamento de energia elétrica do campo está sujeito aos mecanismos convencionais de transferência de calor por condução interna, convecção superficial e evaporação de umidade, mediadas pelas propriedades térmicas e de transporte do produto. Essas propriedades físicas também dependem da temperatura, e assim variam com o tempo durante o período de aquecimento (GOLDBLITH, 1967).

3.5.5 - Acoplamento energético

A impedância intrínseca dos alimentos relativa ao espaço livre na cavidade (ou seja, ar) é considerada da maior importância no acoplamento de energia e é definida pela equação dada por (VON HIPPEL, 1995):

$$\eta = \eta_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{\epsilon^*}} \quad (3.6)$$

A impedância intrínseca do ar (η_0) está em torno de 377Ω . Nos produtos alimentares, naqueles de umidade alta ou intermediária, temos que $\eta \ll \eta_0$, como por exemplo, a água no estado líquido a 25°C tem $\eta = 42 \Omega$. A impedância do NaCl aquoso de $0,1 \text{ M}$ não é muito diferente. As impedâncias dos alimentos sólidos e do gelo são na prática, independentes da temperatura, valendo aproximadamente 188Ω , a metade da do ar e mais de 4 vezes a da água a 25°C . Tais diferenças acarretam um descasamento de impedância entre o produto e o ar que determina as frações de energia transmitida e refletida nas superfícies do produto, ou seja, uma onda eletromagnética viajando no espaço livre e atingindo a superfície de um produto a um certo ângulo de incidência é parcialmente refletida e parcialmente transmitida a magnitude relativas que dependem da extensão do descasamento entre o produto e o ar. Maior o descasamento, mais energia incidente é refletida da superfície ar/produto e menos é transmitida ao produto (VON HIPPEL 1954, citado por MUDGET, 1985).

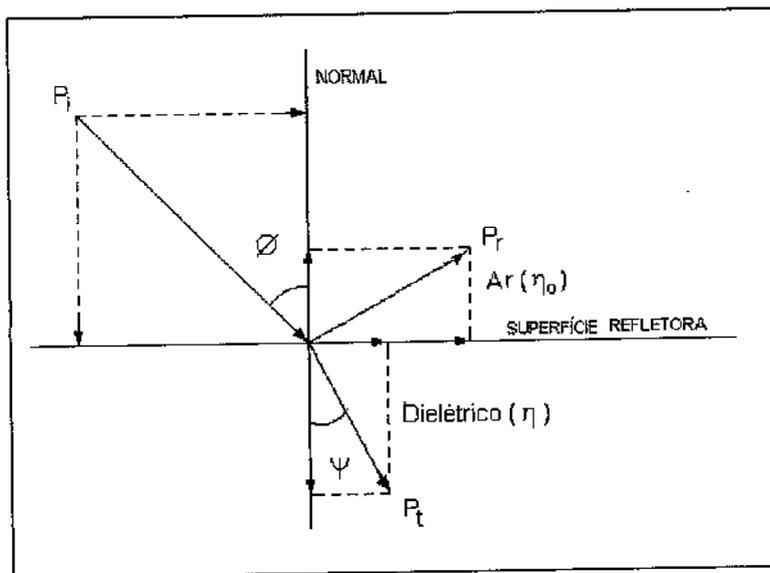


Figura 8 - Transmissão e reflexão da energia de microondas

As razões das potências refletida e transmitida para a potência incidente, respectivamente, podem ser calculadas para produtos homogêneos a partir das impedâncias intrínsecas do ar e do produto, e dos ângulos de incidência e reflexão relacionadas a equação de Descartes (ou Snell):

$$\text{sen}\psi = \frac{\eta}{\eta_0} \cdot \text{sen}\phi \quad (3.7)$$

A razão de potência refletida:

$$R_n = \frac{\eta_o \cdot \cos \psi - \eta \cdot \cos \phi}{\eta_o \cdot \cos \psi + \eta \cdot \cos \phi} \quad (3.8)$$

A razão de potência transmitida:

$$T_n = \frac{4 \cdot \eta \cdot \eta_o \cdot \cos \psi \cdot \cos \phi}{(\eta_o \cdot \cos \psi + \eta \cdot \cos \phi)^2} \quad (3.9)$$

Essas relações indicam a magnitude relativa das potências transmitida e refletida, respectivamente, para uma onda que viaja pelo ar até uma superfície: sua soma é a unidade. Com a reflexão, o campo no espaço livre é a soma de uma onda que viaja incidente como uma onda estacionária. Para mudanças extremas das propriedades dielétricas na superfície, a onda refletida é muito grande e o campo no espaço livre é essencialmente uma onda estacionária. Para pequenas alterações das propriedades dielétricas na superfície, a onda refletida é muito pequena e o campo no espaço livre é essencialmente uma onda incidente. Assim, podem ser criados modos de onda estacionária dentro dos produtos homogêneos, dependendo das características de absorção do produto e das condições para reflexão nas interfaces externa e interna. Modelos empíricos foram obtidos para o acoplamento energético, como uma função do volume da carga, baseados em medidas calorimétricas de materiais com propriedades similares àquelas dos constituintes principais dos alimentos, ou seja, água, soluções iônicas, óleos, bolinhas de vidro (MUDGET, 1985). Os modelos podem ser expressos sob duas formas, que são aproximadamente equivalentes:

$$P_o = \frac{P_m \cdot V_a}{k_m + V_a} \quad (3.10)$$

$$P_o = P_m \cdot (1 + e^{-bv}) \quad (3.11)$$

Onde: a, b, k_m = constantes de acoplamento

P_o = potência acoplada pela carga não casada

P_m = potência acoplada pela carga casada

V_a = volume do fluido

Essas relações sugerem uma eficiência de acoplamento volumétrica que se acredita estar relacionada com η , tamanho, e geometria do produto:

$$E_v = 100 \cdot \frac{P_o}{P_m} \quad [\%] \quad (3.12)$$

Elas também implicam em um volume de produto crítico, dependendo das propriedades dielétricas do produto e das características operacionais do equipamento processador por microondas, acima do qual os efeitos da eficiência de acoplamento podem ser desprezados ao se considerar o efeito de aquecimento.

3.5.6 - Absorção de energia

Segundo MUGDGET (1985) a absorção de energia de microondas no interior de um produto é também determinada por uma segunda propriedade principal de transmissão, um fator de atenuação (α) que está relacionado com as propriedades dielétricas do produto. Verifica-se que a propagação de uma onda plana em um material dielétrico é caracterizada pela atenuação e pelo fator de fase, tal como visto pelas relações:

$$\gamma = \alpha + j \cdot \beta \quad (3.13)$$

$$\gamma = j \cdot \omega \cdot \epsilon_o \cdot \mu_o \cdot \sqrt{\epsilon^*} \quad (3.14)$$

Onde o fator de propagação complexo γ possui um componente real (fator de atenuação α) e um componente imaginário (fator de fase β), que estão relacionadas com as propriedades dielétricas do material. O fator de fase β determina o “período espacial” λ e a velocidade de fase V_s da onda no material dielétrico relativo ao espaço livre:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi}{\beta} \quad (3.15)$$

$$V_s = \frac{\omega}{\beta} \quad (3.16)$$

O “período espacial” ou comprimento de onda (λ) e a velocidade de fase (v_s) de uma onda em um dielétrico de elevada permissividade complexa são consideravelmente menores do que no espaço livre. O fator de atenuação (α) determina a absorção de energia dentro do dielétrico em função da profundidade a partir da superfície do dielétrico, como descrito pela lei de Lambert:

$$P_z = P_o \cdot e^{-\alpha z} \quad [\text{W}] \quad (3.17)$$

e está inversamente relacionada com a profundidade de penetração do material, ou seja, a profundidade da superfície não atenuada ou absorvida:

$$Z = \frac{1}{\alpha} = \frac{\lambda_o}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{2}{\epsilon' \cdot \left[(1 + \tan^2 \delta)^{0,5} - 1 \right]} \right] \quad [\text{m}] \quad (3.18)$$

Para ilustrar os efeitos do teor de umidade e da frequência sobre a atenuação, a Tab. 5 fornece as penetrações aproximadas em um semi sólido com teores de umidade alto, intermediário e baixo, para valores arbitrários de ϵ' e $\tan \delta$.

Tabela 5- Parâmetros dielétricos, profundidade de penetração das microondas em função da umidade e frequência (MUDGET, 1985).

Umidade	Constante dielét. ϵ'	Tangente de perda $\tan \delta$	Penetração (cm) 915 MHz	Penetração (cm) 2450 MHz
Alta	60	0,25	8,4	3,1
Intermediária	20	0,20	11,7	4,4
Baixa	10	0,15	22,1	8,2

Como pode ser observado, cerca de 63 % da potência acoplada pelo produto é atenuada (ou seja, absorvida) a profundidade relativamente curtas da superfície a 2450 MHz, dependendo da umidade do produto. As profundidades atingidas são 2,5 vezes maiores a 915 MHz na umidade correspondente. Assim o efeito prático de processar a frequências menores é o de aumentar a espessura permissível para o aquecimento uniforme dos produtos com teores de umidade similares.

3.5.7 - Propriedades térmicas dos alimentos

De acordo com DECAREAU (1985) as características de aquecimento dos alimentos tratados por microondas dependem de suas propriedades térmicas, em maior ou menor extensão, de acordo com o teor inicial de umidade do produto, e da taxa de evaporação da umidade durante o processo de aquecimento. A propriedade térmica de interesse básico, como nos métodos de aquecimento convencionais, é a difusividade térmica α_T definida pela relação:

$$\alpha_T = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad (3.19)$$

Onde: k : condutividade térmica [W/mK]

ρ : densidade [kg/m³]

c_p : capacidade calorífica [J/kgK]

Além da propriedade mecânica densidade (ρ), em conjunto com as duas propriedades térmicas (k e c_p), determinam como o produto alimentar aquece após a energia de microondas ter sido depositada sobre ele, sendo que a capacidade calorífica (c_p) determina a rapidez com que o alimento se aquece uma vez que a energia de microondas é aplicada.

3.6 - A utilização das microondas na parboilização do arroz

Aquecimento por microondas de arroz pré-umidecido promete resultados otimistas na direção da gelatinização de grãos de arroz inteiros, similar ao arroz parboilizado. Na etapa de tratamento, aumentando o conteúdo de umidade do arroz para 30 a 35% têm-se os melhores resultados com aquecimento por microondas por 2 a 5 min (ROBERTS, 1977).

AMATO e SILVEIRA (1991) no livro Parboilização de Arroz no Brasil, relata um processo de parboilização de arroz por microondas que diferencia-se dos demais processos convencionais pelo mecanismo em que se efetua a gelatinização, sendo que o encharcamento e a secagem são conduzidos convencionalmente. Experimentos de laboratório, realizados na Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul - CIENTEC, demonstrou uma ótima resposta em termos de gelatinização, quando visto o produto sob luz polarizada. Verificou-se, também, uma secagem parcial dos grãos pelo calor gerado, constatando

uma certa tendência à diminuição do rendimento, quando comparado com a gelatinização em autoclave estática. O mesmo autor comenta que em termos práticos, pode-se avaliar a dificuldade de chegada do sistema ao meio industrial por um problema inerente ao processo: a perda de quase 50% da potência na fase de transformação de energia elétrica em microondas no tubo gerador.

MARSAIOLI (1991) no desenvolvimento do protótipo de um secador cilíndrico rotativo com aplicação de microondas, realizou testes preliminares, com a finalidade de avaliação do desempenho operacional do sistema com o arroz em casca. Para os experimentos utilizou-se arroz em casca natural adquirido no comércio pertencente a classe longo, tipo 1, procedente do Rio Grande do Sul, sendo sua umidade determinada em 10,16 %. Antes da aplicação de microondas o arroz sofreu um tratamento de hidratação, semelhante àquele conduzido na etapa de maceração do arroz parboilizado pelo processo convencional, aonde foram escolhidas, com base nos dados experimentais de SAN MARTIN MARTINEZ (1984), temperatura de 70°C para a imersão em água potável e tempo de 180 minutos para uma umidade mínima de hidratação do arroz em casca de 30 %. Após este procedimento a umidade do produto atingiu cerca de 32,4 %. O produto foi então cuidadosamente drenado e ventilado para secagem da umidade superficial da casca. Conduziu-se três ciclos operacionais, que foram diferenciados quase que exclusivamente pelas intensidade de aplicação da potência de microondas sobre o material. Uma quantidade de ar quente a 40 °C (0,5 m³/min) foi feita circular em contra corrente a fim de facilitar o arraste da umidade oriunda da secagem do produto. Foram estudados basicamente os efeitos dos tratamentos por microondas, tendo-se observado, embora somente de modo qualitativo, o grau de gelatinização do amido dos grãos, assim como os efeitos sobre a secagem do produto e o beneficiamento padronizado de amostras secas, mediante o processamento das mesmas em um beneficiador de laboratório marca SUZUKI, modelo MT81.

A Tab. 6 resume as condições operacionais dos três ciclos, e fornece também algumas indicações preliminares dos efeitos obtidos sobre as amostras tratadas (MARSAIOLI, 1991):

Tabela 6 - Resultados do processamento por microondas

CONDIÇÕES OPERACIONAIS	Ciclo I	Ciclo II	Ciclo III
Vazão Mássica (kg/h)	7,0	<5,0	12,2
Potência Incidente (kW)	4	4	5
Frequência de M.O. (MHz)	2450	2450	2450
Tempo de Residência (min.)	2	2	2
Razão de Potência (Ref./Trans.)	<10	15-20	<10
Temperatura da Amostra (°C)	18/40	18/45	18/46
Variação da umidade (%)	19,7	--	13,1
Quebras no Beneficiamento (%)	11,44	3,56	4,76

Pela observação da aparência dos grãos tratados, pode-se constatar o aspecto da gelatinização quase total do amido do grão, notadamente com a amostra III, tratada a 5 kW, que redundou em um percentual de quebra bem baixo, conseqüentemente em um rendimento de grãos inteiros elevado, após o beneficiamento. O material, para este mesmo tratamento, mostrou-se com uma umidade final adequada para o beneficiamento. O fato animador é que obtida a parboilização do arroz em um tempo significativamente mais curto que aqueles normalmente vigentes nos processos convencionais, ou seja, nesta nova proposta de processamento os tempos são da ordem de minutos, enquanto que os processos convencionais tem-se ordens de grandeza de horas (MARSAIOLI, 1991).

Baseado no trabalho realizado por ROBERTS (1977), que procedeu experimentos com amostras de arroz das variedades Pearl e Calrose, as quais foram hidratadas até atingirem o teor de 30 a 34 % de umidade, uma parte à temperatura ambiente e outra à 66 °C, e a seguir levadas ao protótipo do secador a microondas, onde foram aquecidas para gelatinização do amido e secas até atingir 10 a 12 % de umidade, com tempo de residência no equipamento de 2 a 5 min, as Tab. 7 e 8 mostram os efeitos do tempo e da temperatura de hidratação e aquecimento por microondas na gelatinização.

Tabela 7 - Resultados do tratamento por microondas no trabalho realizado por

ROBERTS (1977)

Variedad de Arroz	Tempo hidratação	Temperat. hidratação	Umidade (%)	Tempo aplic. M.O. (min)	Comentários
Pearl	2 h	66 °C	32	2 - 5	boa gelatinização
Pearl	16 h	ambiente	33	5	boa gelatinização
Calrose	24 h	ambiente	34	1 - 5	boa gelatinização
Calrose	6 h	ambiente	26	1 - 5	gelatinização pobre
Calrose	1 h	ambiente	20	1 - 5	gelatinização pobre
Calrose	5 min	ambiente	18	1 - 5	gelatinização pobre

Tabela 8 - Resultado comparativo para o arroz com e sem tratamento por microondas no trabalho realizado por ROBERTS (1977)

Variedad de Arroz	Tempo de hidratação	Temperat. hidratação	Tempo M.O. (min)	Rendim. benefic. total(%)	Rendim. benefic. grão(%)	comentários
Pearl	2 h	66 °C	2	77	70	boa gelatinização
Pearl	16 h	ambiente	5	76	66	boa gelatinização
Calrose	24 h	ambiente	5	77	66	boa gelatinização
Pearl natural	-	-	-	71	62	-
Calrose natural	-	-	-	74	55	-

MARSHALL *et al.* (1993) realizaram estudos para determinação do grau de gelatinização do arroz parboilizado, tendo em seu trabalho utilizado amostras de arroz Lemont e Tebonnet, grãos longos, que foram parboilizados tanto pelo processo convencional quanto por microondas para a obtenção de diferentes graus de gelatinização. O grau de gelatinização foi determinado por um método objetivo (calorímetro de varredura diferencial) e um método subjetivo de “grading” contagem de arroz que produziu uma porcentagem de grãos translúcidos em uma dada amostra de arroz parboilizado. Uma correlação linear foi encontrada entre os dois métodos para ambas as variedades, o que sugere que procedimento de contagem “grading” pode ser usado para estimar o grau de gelatinização, uma vez que a curva de

calibração já esteja estabelecida. Além disso, o grau de gelatinização, como determinado pelo calorímetro de varredura diferencial, foi comparado com o rendimento de grãos inteiros. A relação entre as duas variáveis foi não linear, e o máximo de rendimento de grãos inteiros para ambos Lemont e Tebonnet foi alcançado quando a gelatinização do amido estava em torno de 40%. Os resultados indicam que uma gelatinização intensiva do amido (intensa parboilização) não é necessária para se obter o máximo de rendimento de grãos inteiros.

PIAZZA *et al.* (1994), em seu trabalho de investigação da gelatinização do amido em pasta e cozimento de arroz através da técnica calorimétrica, verificou que os principais fenômenos que caracterizam o cozimento do arroz são a difusão de água através da estrutura porosa e a conseqüente gelatinização do amido. Estes estudos foram conduzidos usando um aparelho Setaram C80 operando sob condições isotérmicas sobre a faixa de temperatura de 80 a 95 °C. Uma célula calorimétrica especial foi usada, permitindo testes em grandes amostras (amostra máx. 5g) com uma razão de massa amido/água similar a usada no cozimento real. Sendo a gelatinização do amido isotérmica ela é acompanhada por um sinal endotérmico, dependendo diretamente da massa de material gelatinizado. Esta permite a determinação dos parâmetros cinéticos da varredura isotérmicas. A gelatinização do amido segue a cinética de primeira ordem, tendo sido determinadas a constante cinética do processo e sua dependência da temperatura.

Outros pesquisadores SUZUKI *et al.*, (1977); KUBOTA *et al.* (1979); BILIADERIS *et al.* (1980); BAKASHI e SINGH (1980); NAKAZAWA *et al.* (1984); NORMAND e MARSHALL (1989); CHINACHOTI *et al.* (1990); ZANONI *et al.* (1995) realizaram estudos sobre a cinética de difusão de água e do fenômeno de gelatinização do amido durante a hidratação, parboilização ou cozimento do arroz e construíram modelos teóricos e empíricos, estudos que podem ser utilizados para uma compreensão mais profunda destes fenômenos

4 - MATERIAL E MÉTODO

4.1 - Material

4.1.1 - Matéria-prima

Como matéria prima para a realização dos experimentos foram utilizadas as seguintes amostras de arroz (*Oriza Sativa* L.):

Cultivar IAC 165 pertencente à classe do grão: longo, tipo 1, sistema de cultivo: sequeiro, com rendimento médio de grãos inteiros: 57% e uma produtividade de 1.300 a 3.000 kg/ha, material fornecido pelo Instituto Agronômico de Campinas.

Cultivar IAC 102 pertencente à classe do grão: longo, tipo 1, sistema de cultivo irrigado por inundação, com rendimento médio de grãos inteiros de 55% e uma produtividade de 4.000 a 7.000 kg/ha, material fornecido pelo Instituto Agronômico de Campinas.

4.1.2 - Equipamentos

4.1.2.1 - Sistema de maceração

A aparelhagem de maceração utilizada consistiu basicamente de um recipiente de alumínio, com 10 litros de capacidade volumétrica, dotado internamente de uma resistência elétrica, onde se manteve o arroz imerso em água, a qual foi mantida à temperatura constante, cuja regulagem se fazia por um controlador eletrônico atuando na resistência elétrica e que recebia informações de um sensor de temperatura da água.

4.1.2.2 - Equipamento para drenagem da água superficial

O equipamento utilizado após a maceração para retirar o excesso de água superficial do grão de arroz foi uma centrífuga tipo cesto, da marca Arno. As amostras foram colocadas em sacos intercambiáveis de malha de polipropileno, que retia os grãos de arroz enquanto a água era drenada.

4.1.2.3 - Forno aplicador de microondas

O sistema de processamento de amostras por microondas consistiu de um forno de microondas especial para laboratório, fabricado pela CEM Corporation, modelo MDS - 2100, que trabalha com potência de microondas (950W) para um aquecimento rápido de amostras de até doze amostras de volume unitário aproximado de 100mL.



Figura 9 - Forno aplicador de microondas

O forno aplicador de microondas MDS-2100, Fig. 9 e 10, é inteiramente microprocessado e capaz de ajustar automaticamente a potência de microondas, no intervalo de 0 a 100% do total, sendo equipado com monitorador de temperatura com sensor de fibra óptica, o qual permite verificar e controlar automaticamente a temperatura do produto mediante o ajuste da potência de microondas durante o seu processamento.

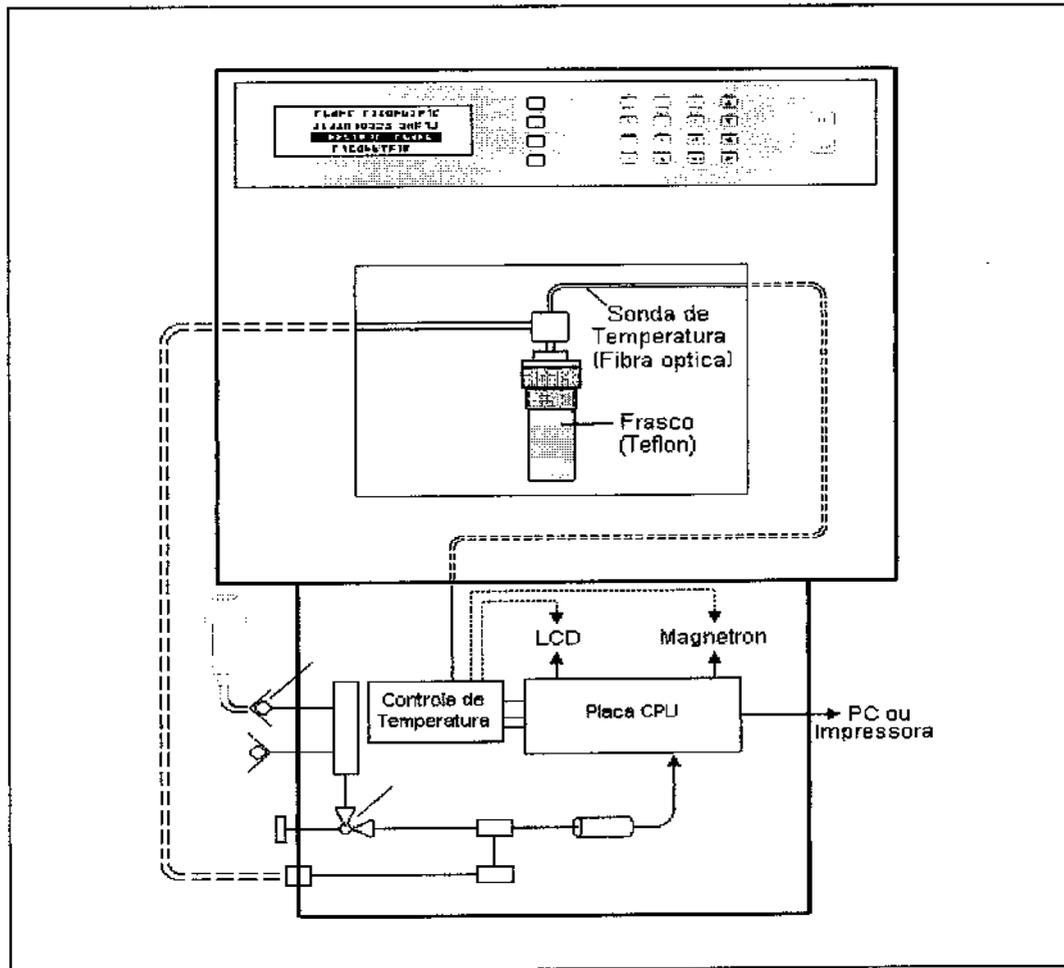


Figura 10 - Controle de temperatura do forno

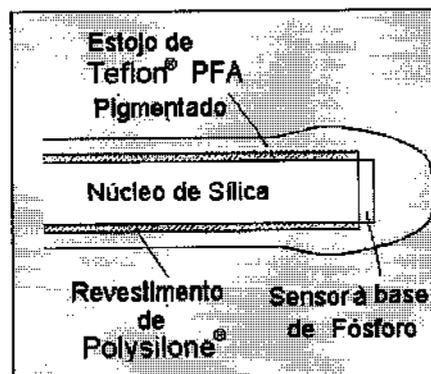


Figura 11 - Sensor de temperatura

A Fig. 11 mostra os detalhes do sensor de temperatura, constituído por uma sonda especial de fibra óptica, imune a microondas, resistente a alta temperatura e umidade elevada.

A Fig. 12 ilustra um dos doze conjuntos completos de recipientes onde as amostras de arroz foram colocadas para serem levadas ao forno aplicador de microondas.

A Fig. 12 ilustra um dos doze conjuntos completos de recipientes onde as amostras de arroz foram colocadas para serem levadas ao forno aplicador de microondas.

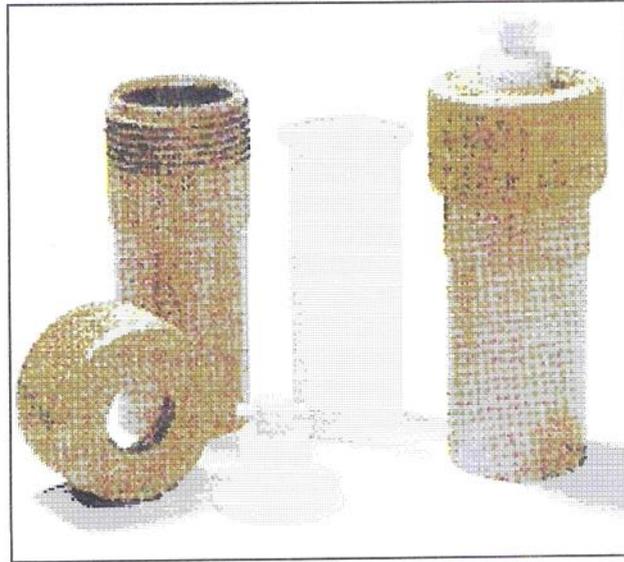


Figura 12 - Recipientes para preparação de amostras

4.1.2.4 - Beneficiador padrão para arroz

O equipamento utilizado foi o modelo MT81, fabricado pela SUZUKI, no qual o descascamento é efetuado por pressão, através de dois cilindros giratórios de borracha com velocidades desiguais. O brunimento foi realizado através de cilindros de pedra abrasiva horizontal. Para a separação de quebrados utiliza-se o “trieur”, que consiste em um cilindro horizontal rotativo, cujas paredes laterais contém pequenos alvéolos, de dimensões que permitem acomodar grãos quebrados menores que $3/4$ do comprimento do grãos inteiros, até uma determinada posição, sendo recolhidos em um recipiente regulável. Os grãos inteiros e maiores que $3/4$ do comprimento permanecem deslizando na superfície do cilindro. A Fig. 13 ilustra a estrutura e o princípio de funcionamento do beneficiador SUZUKI MT81.

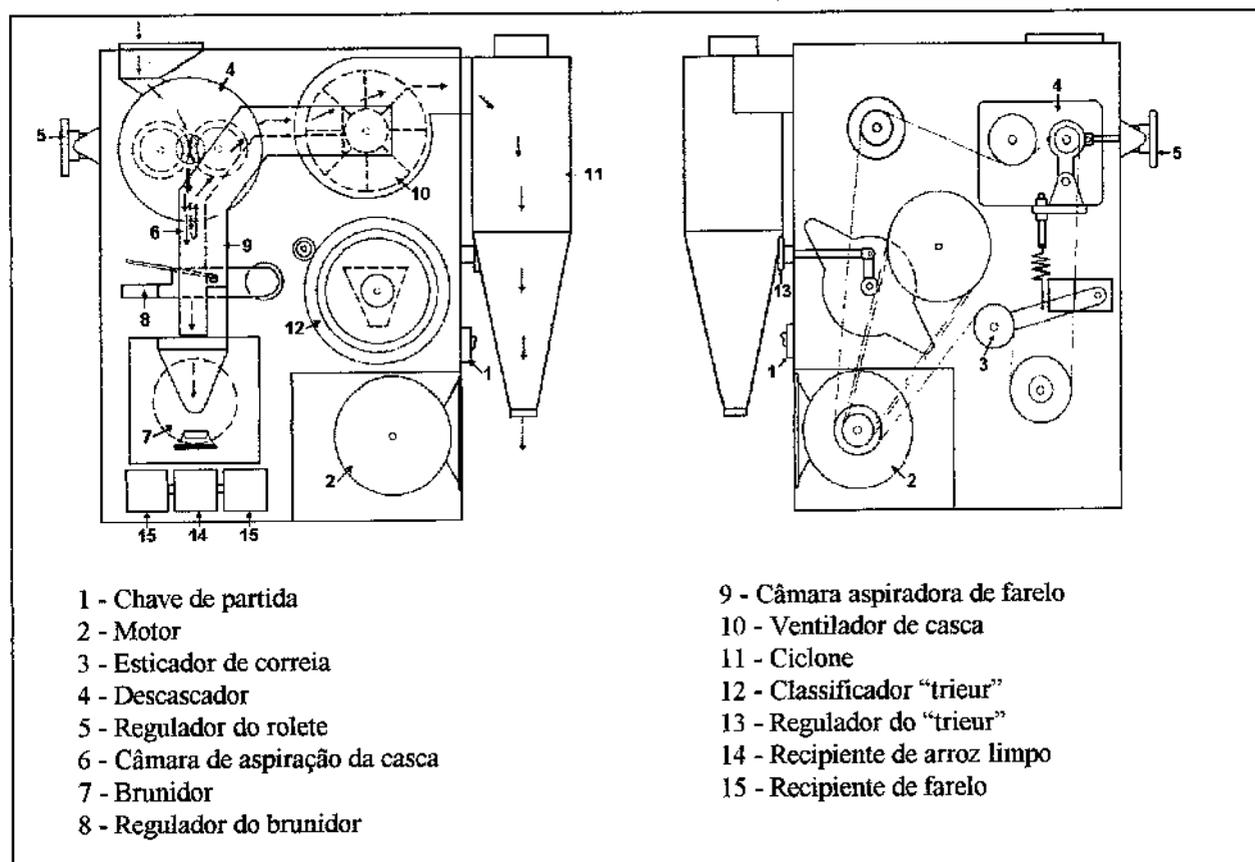


Figura 13 - Beneficiador padrão para arroz

4.1.2.5 - Equipamentos para determinação de umidade

- Estufa da secagem: marca MARCONI, modelo MA-035, para aquecimento em pressão atmosférica das amostras sob temperatura constante (termostatizada).

- Balança semi-analítica de medição de umidade, aquecida por infravermelho, marca OHAUS, modelo MB-200, utilizada também para pesagem das amostras secas na estufa.

4.1.2.6 - Equipamento para determinação de cores

As medidas de cores foram realizadas no medidor de cores, marca MINOLTA, modelo CR-300, com capacidade de realizar leituras de cor em uma área de 8 mm de diâmetro na superfície da amostra a cada medida. O aparelho utiliza iluminação difusa, com luz pulsada gerada por uma lâmpada de arco de xenônio (PXA) e espalhada por placas difusoras, sendo realizada leitura somente da luz refletida perpendicularmente a superfície de amostragem, a qual é coletada por um cabo de fibra óptica e enviada para o analisador de cores.

4.2 - Métodos

4.2.1 - Metodologia utilizada nos experimentos

4.2.1.1 - Maceração

Inicialmente foram levantadas as curvas de absorção de água versus tempo para cada cultivar de arroz, estando os resultados mostrados na forma de curvas (Fig.14). O levantamento da curva de hidratação do arroz em casca foi realizada por imersão de amostras (250g) colocadas em sacos de malha de polipropileno, em água com temperatura constante de 70°C. Após 1 hora e trinta minutos foram retiradas uma amostra de cada cultivar de arroz a cada 30 minutos, centrifugada por um minuto e pesada, repetindo a operação até a última. A partir destas pesagens e da umidade inicial pôde-se determinar a umidade de cada amostra no correspondente tempo de imersão, pela equação (4.1).

$$w_f = \frac{w_i \cdot m_f + m_f - m_i}{m_f} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.1)$$

Onde: w_f : umidade final do arroz após período de maceração [%]

w_i : umidade inicial do arroz [%]

m_i : massa inicial de cada amostra [kg]

m_f : massa final de cada amostra [kg]

No início de cada experimento as amostras de arroz em casca (600g) a serem parboilizadas foram colocadas em sacos de malha de polipropileno e imersas em água a temperatura constante de 70°C, por um período de 2 horas e 30 minutos, para se obter a umidade mínima necessária a perfeita gelatinização na etapa de aplicação de microondas.

4.2.1.2 - Centrifugação

Cada amostra de arroz retirada da maceração foi colocada em uma cesta de malha de polipropileno, que se ajustava perfeitamente ao cesto giratório da centrífuga, e a esta ligada por 1 minuto, tempo necessário para retirar a água livre contida na casca do arroz sem causar um efeito significativo de secagem da umidade incorporada nos grãos.

4.2.1.3 - Gelatinização do arroz por microondas

Para cada ensaio, as amostras foram previamente pesadas e colocadas em 12 frascos de teflon com 50g em cada um e levadas ao forno de microondas MD-2100. A gelatinização em cada ensaio foi realizada através da execução de seu respectivo programa com os diferentes valores para as variáveis temperatura máxima do produto e tempo de permanência na temperatura máxima, porém com os mesmos valores para a rampa de aquecimento.

4.2.1.4 - Secagem

A secagem foi realizada em uma estufa mantida a 37°C por aproximadamente 36 horas, tempo suficiente para que a umidade do arroz se aproximasse dos 13%, condição necessária para o beneficiamento. Esta condição de secagem foi determinada experimentalmente e escolhida por ser bastante lenta e realizada a temperatura relativamente baixa, o que não causa fissuras ou trincas nos grãos que causando quebras e interferindo no rendimento mascarando o efeito das variáveis estudadas.

4.1.2.5 - Beneficiamento

O beneficiamento do arroz foi realizado no equipamento padrão SUZUKI MT81, foram trabalhadas amostras individuais de 100g. Para cada amostra de arroz em casca foi realizada a operação de descascamento e a separação dos grãos quebrados no “trieur” (determinando-se através da pesagem a quantidade de grãos quebrados no descascamento). Após o descascamento foi efetuada o brunimento, sendo adotado um tempo de 1 minuto para a execução da operação de brunição. Após o brunimento seguiu-se a separação dos grãos quebrados no “trieur” (determinando-se através da pesagem a quantidade de grãos quebrados no brunimento). Com isso obteve-se os valores do rendimento de grãos inteiros no beneficiamento.

4.1.2.6 - Avaliação de cor das amostras

Para medir as cores das amostras, de arroz parboilizado, utilizou-se o aparelho MINOLTA, modelo CR-300, com as amostras colocadas em um recipiente de vidro, formando uma camada de 5 cm de espessura onde, a cada medida, foi posicionado o cabeçote de leitura

do aparelho. As medidas foram realizadas, pelo aparelho, em uma sequência de três leituras para uma mesma área da superfície das amostras fornecendo os resultados como a média destas leituras e expressos nos parâmetros de cores L, a e b (APÊNDICE A). Sendo que o parâmetro L fornece o nível de brancura, variando de 0 a 100 e quanto maior, mais branca é a superfície; o parâmetro a assume valores (-) e (+): quanto mais negativo, maior o nível de amarelo e quanto mais positivo, maior o nível de verde; o parâmetro b também assume valores (-) e (+): quanto mais negativo, maior será o nível de vermelho e quanto mais positivo, maior o nível de azul.

4.2.2 - Montagem do planejamento fatorial para os experimentos

Segundo (BARROS NETO, 1995) para estudar o efeito de qualquer fator (variável independente) sobre a resposta (variável dependente) é preciso fazê-lo variar e observar o resultado dessa variação. Um planejamento fatorial requer a execução de experimentos para todas as combinações dos níveis dos fatores, isso implica na realização de ensaios em pelo menos dois níveis desse fator. Um planejamento fatorial em que todas as variáveis são estudadas em apenas dois níveis é portanto o mais simples de todos eles. Havendo k fatores, isto é k variáveis de processo controladas pelo experimentador, o planejamento em dois níveis irá requer a realização de $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ ensaios diferentes, sendo chamado por isso de planejamento fatorial 2^k .

Neste trabalho os ensaios foram realizados segundo a técnica de planejamento fatorial (variáveis com dois níveis) e com ensaios realizados em duplicata (dois experimentos por ensaio), sendo que ensaios tiveram por objetivo estudar as variações no rendimento de grãos inteiros (variável dependente) em função dos fatores (variáveis independentes): temperatura máxima do produto durante o processamento e o tempo de permanência do produto nesta temperatura durante a aplicação de microondas, que possibilitou determinar a melhor condição de processamento para cada cultivar de arroz.

Este planejamento também pode fornecer informações importantes sobre a variação dos níveis de cores dos grãos de arroz parboilizado em função das variáveis de processamento por microondas.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Curva de maceração dos cultivares de arroz

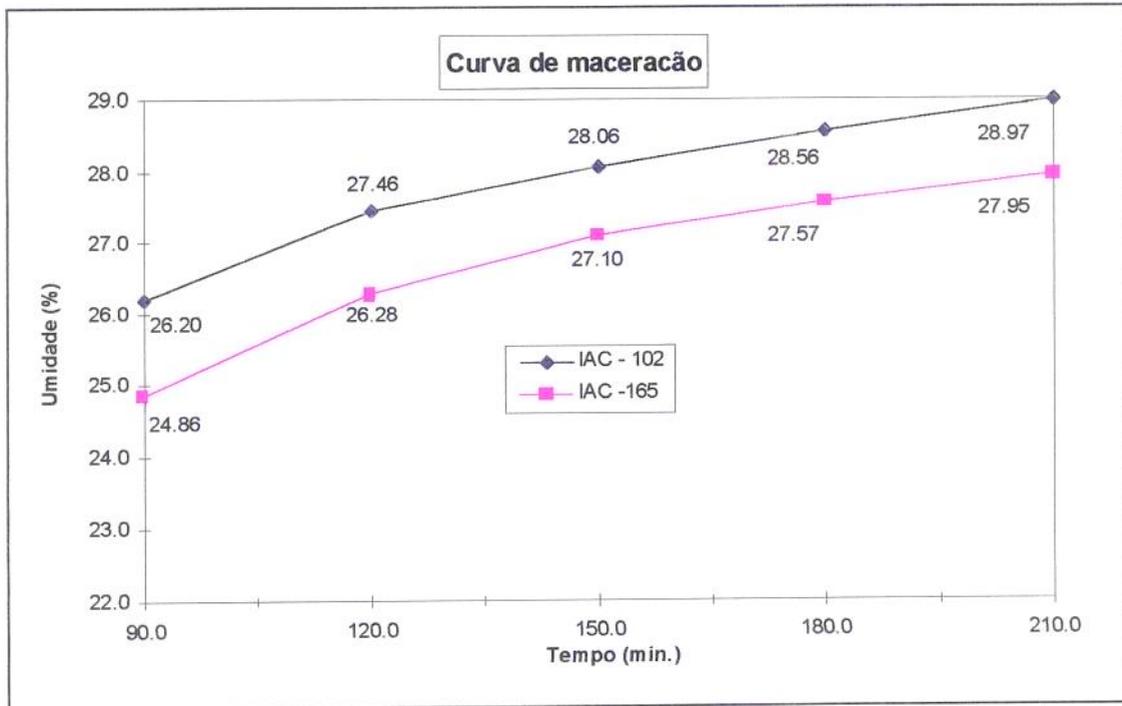


Figura 14 - Curva de maceração a 70°C para os cultivares IAC 102 e IAC 165

A cada experimento a umidade média alcançada pelos grãos de arroz após a maceração e centrifugação foi, para o cultivar IAC 165, próxima aos 27 % e, para o cultivar IAC 102, próxima aos 28 %, sendo que a umidade das amostras foi determinada pela pesagem das amostras antes e depois da maceração e centrifugação através da equação (4.1).

A umidade do arroz utilizado como matéria prima nos experimentos foi determinada, para o cultivar IAC 102 em 12,9 % e para o IAC 165 em 11,2 %. Sendo que as medidas de umidade foram realizadas pela secagem das amostras em estufa a 103 °C por um período de tempo suficiente para que as amostras atingissem peso constante, e pesagem realizada na balança semi-analítica.

5.2 - Tabelas dos resultados dos experimentos

Tabela 9- Variáveis de controle do processo de parboilização para o ensaio 1.

ENSAIO 1		Variáveis de controle do processo de parboilização	
Arroz (amostra 600g)		IAC 165	
Rampa de aquecimento		3,0 min.	
Temperatura máxima		95,0 °C	
Tempo na temperatura máx.		3,0 min.	

Tabela 10- Resultados do beneficiamento do ensaio 1

IAC 165		Experimento 4		Experimento 7	
BENEFICIAMENTO		Descasc.	Brunim.	Descasc.	Brunim.
Amostra 100 g		(g)	(g)	(g)	(g)
T e s t e (1)	Cascas	16,8	-	17,1	-
	Renda de descac.	83,2	-	82,9	-
	Grãos quebrados	8,2	-	6,6	-
	Grãos inteiros	75,0	-	76,3	-
	Farelo	-	6,0	-	4,7
	Renda de brun.	-	69,0	-	71,6
	Grãos quebrados	-	9,6	-	9,8
	Grãos inteiros	-	59,4	-	60,5
T e s t e (2)	Cascas	16,6	-	16,8	-
	Renda de descac.	83,4	-	83,2	-
	Grãos quebrados	7,9	-	8,2	-
	Grãos inteiros	75,3	-	75,0	-
	Farelo	-	5,6	-	6,2
	Renda de brun.	-	69,7	-	69,4
	Grãos quebrados	-	9,5	-	9,6
	Grãos inteiros	-	60,2	-	59,8
Média Rendim..		-	59,6	-	60,2

Tabela 11- Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 2

ENSAIO 2		Variáveis de controle do processo de parboilização	
Cultivar de arroz		IAC 165	
Rampa de aquecimento		3,0 min.	
Temperatura máxima		95,0 °C	
Tempo na temperatura máx.		1,0 min.	

Tabela 12- Resultados do beneficiamento do ensaio 2

IAC 165		Experimento 3		Experimento 5	
BENEFICIAMENTO		Descasc.	Brunim.	Descasc.	Brunim.
Amostra 100 g		(g)	(g)	(g)	(g)
T e s t e (1)	Cascas	17,1	-	16,7	-
	Renda de descac.	82,9	-	83,3	-
	Grãos quebrados	5,7	-	3,7	-
	Grãos inteiros	77,2	-	79,6	-
	Farelo	-	5,1	-	6,1
	Renda de brun.	-	72,1	-	73,5
	Grãos quebrados	-	6,2	-	5,3
	Grãos inteiros	-	65,9	-	68,2
T e s t e (2)	Cascas	16,6	-	16,6	-
	Renda de descac.	83,4	-	83,4	-
	Grãos quebrados	5,9	-	4,1	-
	Grãos inteiros	77,5	-	79,3	-
	Farelo	-	5,6	-	6,3
	Renda de brun.	-	71,9	-	73,0
	Grãos quebrados	-	6,3	-	5,1
	Grãos inteiros	-	65,6	-	67,9
	Média rendim.		65,8		68,1

Tabela 13- Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 3

ENSAIO 3		Variáveis de controle do processo de parboilização	
A) Cultivar de arroz		IAC 165	
Rampa de aquecimento		3,0 min.	
B) Temperatura máxima		85,0 °C	
C) Tempo na temperatura máx.		3,0 min.	

Tabela 14- Resultados do beneficiamento do ensaio 3

IAC 165		Experimento 1		Experimento 6	
BENEFICIAMENTO		Descasc.	Brunim.	Descasc.	Brunim.
Amostra 100 g		(g)	(g)	(g)	(g)
T e s t e (1)	Cascas	16,5	-	16,4	-
	Renda de descac.	83,5	-	83,6	-
	Grãos quebrados	5,2	-	5,7	-
	Grãos inteiros	78,3	-	77,9	-
	Farelo	-	5,6	-	8,2
	Renda de brun.	-	72,7	-	71,7
	Grãos quebrados	-	7,9	-	7,6
	Grãos inteiros	-	64,8	-	64,1
T e s t e (2)	Cascas	16,1	-	17,6	-
	Renda de descac.	83,9	-	82,4	-
	Grãos quebrados	5,1	-	5,6	-
	Grãos inteiros	78,8	-	76,8	-
	Farelo	-	6,2	-	6,7
	Renda de brun.	-	72,4	-	70,1
	Grãos quebrados	-	7,0	-	7,7
	Grãos inteiros	-	65,4	-	62,4
Média Rendim.		-	65,1	-	63,3

Tabela 15- Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 4

ENSAIO 4		Variáveis de controle do processo de parboilização	
Cultivar de Arroz		IAC 165	
Rampa de aquecimento		3,0 min.	
Temperatura máxima		85,0 °C	
Tempo na temperatura máx.		1,0 min.	

Tabela 16- Resultados do beneficiamento do ensaio 4

IAC 165		Experimento 2		Experimento 8	
BENEFICIAMENTO		Descasc.	Brunim.	Descasc.	Brunim.
Amostra 100 g		(g)	(g)	(g)	(g)
T e s t e (1)	Cascas	16,8	-	16,6	-
	Renda de descac.	83,2	-	83,4	-
	Grãos quebrados	8,5	-	8,3	-
	Grãos inteiros	74,7	-	75,1	-
	Farelo	-	5,9	-	5,6
	Renda de brun.	-	68,8	-	69,3
	Grãos quebrados	-	10,3	-	9,5
	Grãos inteiros	-	58,5	-	59,8
T e s t e (2)	Cascas	16,6	-	16,1	-
	Renda de descac.	83,4	-	83,9	-
	Grãos quebrados	8,2	-	8,2	-
	Grãos inteiros	75,2	-	75,7	-
	Farelo	-	6,3	-	6,1
	Renda de brun.	-	68,9	-	69,5
	Grãos quebrados	-	12,4	-	10,1
	Grãos inteiros	-	57,7	-	59,4
	Média Rendim.	-	58,1	-	59,6

Tabela 17- Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 5

ENSAIO 5		Variáveis de controle do processo de parboilização	
Cultivar de arroz		IAC 102	
Rampa de aquecimento		3,0 min.	
Temperatura máxima		95,0 °C	
Tempo na temperatura máx.		3,0 min.	

Tabela 18- Resultados do beneficiamento do ensaio 5

ARROZ IAC 102		Experimento 12		Experimento 15	
BENEFICIAMENTO		Descasc.	Brunim.	Descasc.	Brunim.
Amostra 100 g		(g)	(g)	(g)	(g)
T e s t e (1)	Cascas	18,7	-	18,6	-
	Renda de descac.	81,3	-	81,4	-
	Grãos quebrados	13,2	-	13,1	-
	Grãos inteiros	68,1	-	68,3	-
	Farelo	-	4,1	-	6,9
	Renda de brun.	-	64,0	-	61,4
	Grãos quebrados	-	7,8	-	5,5
	Grãos inteiros	-	56,2	-	55,9
T e s t e (2)	Cascas	18,5	-	17,8	-
	Renda de descac.	81,5	-	82,2	-
	Grãos quebrados	13,7	-	15,1	-
	Grãos inteiros	68,8	-	67,1	-
	Farelo	-	5,9	-	4,3
	Renda de brun.	-	62,9	-	63,8
	Grãos quebrados	-	7,6	-	5,3
	Grãos inteiros	-	55,3	-	58,5
Média Rendim.		-	55,6	-	56,7

Tabela 19- Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 6

ENSAIO 6		Variáveis de controle do processo de parboilização	
Cultivar de arroz		IAC 102	
Rampa de aquecimento		3,0 min.	
Temperatura máxima		95,0 °C	
Tempo na temperatura máx.		1,0 min.	

Tabela 20- Resultados do beneficiamento do ensaio 6

IAC 102		Experimento 11		Experimento 13	
BENEFICIAMENTO		Descasc.	Brunim.	Descasc.	Brunim.
Amostra 100 g		(g)	(g)	(g)	(g)
T e s t e (1)	Cascas	17,6	-	18,4	-
	Renda de descac.	81,4	-	81,6	-
	Grãos quebrados	12,1	-	13,1	-
	Grãos inteiros	69,3	-	68,5	-
	Farelo	-	5,3	-	6,6
	Renda de brun.	-	64,3	-	61,9
	Grãos quebrados	-	4,9	-	4,1
	Grãos inteiros	-	59,4	-	57,8
T e s t e (2)	Cascas	18,4	-	17,8	-
	Renda de descac.	81,6	-	82,2	-
	Grãos quebrados	11,1	-	13,2	-
	Grãos inteiros	70,5	-	71,0	-
	Farelo	-	4,9	-	5,3
	Renda de brun.	-	65,6	-	65,7
	Grãos quebrados	-	5,1	-	5,9
	Grãos inteiros	-	60,5	-	59,8
Média Rendim.		-	59,9	-	58,8

Tabela 21- Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 7

ENSAIO 7		Variáveis de controle do processo de parboilização	
Cultivar de arroz		IAC 102	
Rampa de aquecimento		3,0 min.	
Temperatura máxima		85,0 °C	
Tempo na temperatura máx.		3,0 min.	

Tabela 22- Resultados do beneficiamento do ensaio 7

IAC 102		Experimento 9		Experimento 14	
BENEFICIAMENTO		Descasc.	Brunim.	Descasc.	Brunim.
Amostra 100 g		(g)	(g)	(g)	(g)
T e s t e (1)	Cascas	18,8	-	17,5	-
	Renda de descac.	81,2	-	82,5	-
	Grãos quebrados	12,3	-	16,1	-
	Grãos inteiros	68,9	-	66,6	-
	Farelo	-	6,3	-	4,4
	Renda de brun.	-	62,6	-	62,2
	Grãos quebrados	-	8,2	-	6,8
	Grãos inteiros	-	54,4	-	55,4
T e s t e (2)	Cascas	18,8	-	18,2	-
	Renda de descac.	81,2	-	81,8	-
	Grãos quebrados	11,1	-	15,1	-
	Grãos inteiros	70,1	-	66,7	-
	Farelo	-	7,8	-	4,5
	Renda de brun.	-	62,3	-	62,2
	Grãos quebrados	-	8,5	-	5,9
	Grãos inteiros	-	53,8	-	56,3
Média Rendim.		-	54,1	-	55,8

Tabela 23- Variáveis de controle do processo de parboilização do ensaio 8

ENSAIO 8		Variáveis de controle do processo de parboilização	
Cultivar de arroz		IAC 102	
Rampa de aquecimento		3,0 min.	
Temperatura máxima		85,0 °C	
Tempo na temperatura máx.		1,0 min.	

Tabela 24- Resultados do beneficiamento do ensaio 8

IAC 102		Experimento 10		Experimento 16	
BENEFICIAMENTO		Descasc.	Brunim.	Descasc.	Brunim.
Amostra 100 g		(g)	(g)	(g)	(g)
T e s t e (1)	Cascas	19,1	-	18,9	-
	Renda de descac.	80,9	-	81,1	-
	Grãos quebrados	17,7	-	14,3	-
	Grãos inteiros	63,2	-	66,8	-
	Farelo	-	5,8	-	4,3
	Renda de brun.	-	57,4	-	58,5
	Grãos quebrados	-	7,8	-	5,9
T e s t e (2)	Grãos inteiros	-	49,6	-	52,6
	Cascas	18,9	-	18,2	-
	Renda de descac.	81,1	-	81,8	-
	Grãos quebrados	16,3	-	10,3	-
	Grãos inteiros	64,8	-	60,5	-
	Farelo	-	5,5	-	6,2
	Renda de brun.	-	59,3	-	54,3
	Grãos quebrados	-	10,5	-	4,4
Grãos inteiros	-	48,8	-	49,9	
Média Rendim.		-	49,2	-	50,5

Tabela 25- Rendimento de grãos inteiros para os cultivares IAC 165 e IAC 102 (*in natura*)

Cultivar		IAC 165		IAC 102	
BENEFICIAMENTO		Descasc.	Brunim.	Descasc.	Brunim.
Amostra 100 g		(g)	(g)	(g)	(g)
T e s t e (1)	Cascas	16,9	-	19,7	-
	Renda de descac.	83,1	-	80,3	-
	Grãos quebrados	6,4	-	39,0	-
	Grãos inteiros	76,7	-	41,3	-
	Farelo	-	7,8	-	8,1
	Renda de brun.	-	68,9	-	33,2
	Grãos quebrados	-	7,6	-	10,1
	Grãos inteiros	-	61,3	-	23,1
T e s t e (2)	Cascas	16,1	-	19,5	-
	Renda de descac.	83,9	-	80,5	-
	Grãos quebrados	6,2	-	37,6	-
	Grãos inteiros	77,7	-	42,9	-
	Farelo	-	8,1	-	7,9
	Renda de brun.	-	69,6	-	35,0
	Grãos quebrados	-	9,1	-	11,3
	Grãos inteiros	-	60,5	-	23,7
Média Rendim.		-	60,9	-	23,4

Tabela 26- Níveis de cores para os cultivares IAC 165 e IAC 102

Cultivar	L	- a	+ b
IAC 165 (<i>in natura</i>)	62,14	0,80	6,96
IAC 102 (<i>in natura</i>)	62,84	0,77	6,89
IAC 165 (ensaio 1)	63,51	0,70	10,49
IAC 165 (ensaio 2)	61,07	1,00	9,88
IAC 165 (ensaio 3)	62,84	0,83	9,94
IAC 165 (ensaio 4)	64,47	0,91	9,67
IAC 102 (ensaio 5)	54,79	0,65	9,88
IAC 102 (ensaio 6)	50,77	0,41	8,51
IAC 102 (ensaio 7)	55,21	0,86	8,46
IAC 102 (ensaio 8)	54,53	0,42	8,51

5.3 - Análises dos resultados segundo o planejamento fatorial

Os níveis determinados para cada variável são mostrados na Tab.(27) e foram selecionados baseados nas informações obtidas nos trabalhos de ROBERTS (1977); MARTINEZ (1984); AMATO (1991) e MARSAIOLI (1991) e nas curvas de maceração de cada cultivar (Fig. 14).

Tabela 27: Resultado do planejamento fatorial 2^2 para o cultivar IAC 165

Ensaio	Tempo	Temperatura	Rendimento		média
1	3 min.	95°C	59,6	60,2	59,90
2	1 min.	95°C	65,8	68,1	66,95
3	3 min.	85°C	65,1	63,1	64,20
4	1 min.	85°C	58,1	59,6	58,85

Tabela 28: Resultado do planejamento fatorial 2^2 para o cultivar IAC 102

Ensaio	Tempo	Temperatura	Rendimento		média
5	3 min.	95°C	55,6	56,7	56,15
6	1 min.	95°C	59,9	58,8	59,35
7	3 min.	85°C	54,1	55,8	54,98
8	1 min.	85°C	49,2	50,5	49,85

• Cálculo dos efeitos

Os efeitos podem ser interpretados como a diferença entre duas médias, cada uma das quais contendo metade das observações. O *efeito principal* do tempo é a média dos efeitos do tempo nos dos níveis de temperatura. Usando a letra θ para representar esse efeito, e sendo y_i a resposta ao i -ésimo ensaio tem-se:

Para o cultivar IAC 165:

$$\theta = (1/2) \{ (y_2 - y_1) + (y_4 - y_3) \}$$

$$\theta = (1/2) \{ (66,95 - 59,90) + (58,85 - 64,20) \}$$

$$\theta = - 0,85$$

Para o *efeito principal* da temperatura utiliza-se a letra **T** para representar este efeito:

$$\begin{aligned} \mathbf{T} &= (1/2) \{ (y_2 + y_4) - (y_1 + y_3) \} \\ \mathbf{T} &= (1/2) \{ (66,95 + 58,85) - (59,90 + 64,20) \} \\ \mathbf{T} &= 1,90 \end{aligned}$$

O *efeito de interação* entre a temperatura e o tempo é representado por $\theta \times \mathbf{T}$, ou simplesmente $\mathbf{T}\theta$, para o cálculo deste efeito tem-se:

$$\begin{aligned} \theta \times \mathbf{T} = \theta \mathbf{T} &= (1/2) \{ (y_4 - y_3) - (y_2 - y_1) \} \\ \theta \mathbf{T} &= (1/2) \{ (58,85 - 64,20) - (66,95 - 59,90) \} \\ \theta \mathbf{T} &= - 6,2 \end{aligned}$$

Para o cultivar IAC 102, o *efeito principal* do tempo:

$$\begin{aligned} \theta &= (1/2) \{ (y_2 - y_1) + (y_4 - y_3) \} \\ \theta &= (1/2) \{ (59,35 - 56,15) + (49,85 - 54,98) \} \\ \theta &= 0,38 \end{aligned}$$

Para o *efeito principal* da temperatura **T** tem-se:

$$\begin{aligned} \mathbf{T} &= (1/2) \{ (y_2 + y_4) - (y_1 + y_3) \} \\ \mathbf{T} &= (1/2) \{ (59,35 + 49,85) - (56,15 + 54,98) \} \\ \mathbf{T} &= 6,1 \end{aligned}$$

Para o *efeito de interação* entre o tempo e a temperatura:

$$\begin{aligned} \theta \mathbf{T} &= (1/2) \{ (y_4 - y_3) - (y_2 - y_1) \} \\ \theta \mathbf{T} &= (1/2) \{ (49,845 - 54,98) - (59,35 - 56,15) \} \\ \theta \mathbf{T} &= 3,39 \end{aligned}$$

• Estimativa do erro experimental

Cada um dos ensaios foi realizado apenas duas vezes e por isso fornece uma estimativa da variância com apenas um grau de liberdade, sendo as variâncias para cada ensaio calculados pela equação:

$$s^2 = \frac{1}{(N-1)} \cdot \sum_{i=1}^2 (x_i - \bar{x})^2 \quad (5.1)$$

Onde: N : número de elementos da amostra

x_i : i -ésimo elemento da amostra

\bar{x} : média amostral

Tabela 29: Estimativa do erro experimental

Ensaio	Rendim. 1	Rendim. 2	Média	s^2
1	59,6	60,2	59,90	0,180
2	65,8	68,1	66,95	2,645
3	65,1	63,1	64,20	1,620
4	58,1	59,6	58,85	1,125
5	55,6	56,7	56,15	0,605
6	59,9	58,8	59,35	0,605
7	54,1	55,8	54,98	1,445
8	49,2	50,5	49,85	0,845

Para se obter uma estimativa *conjunta*, com $1+1+1+1 = 4$ graus de liberdade, utiliza-se a média ponderada de todas as estimativas, usando como pesos os respectivos graus de liberdade.

Para o cultivar IAC 165:

$$s^2 = (1 \times 0,18 + 1 \times 2,645 + 1 \times 1,62 + 1 \times 1,125) / (1 + 1 + 1 + 1)$$

$$s = (1,3924)^{1/2} = 1,18$$

Para o Cultivar IAC 102:

$$s^2 = (1 \times 0,605 + 1 \times 0,605 + 1 \times 1,445 + 1 \times 0,845)/(1 + 1 + 1 + 1) = 8,8649$$

$$s = (8,8649)^{1/2} = 0,93$$

• Interpretação dos resultados

Para decidir se efeitos calculados são significativamente diferentes de zero emprega-se o teste *t*, distribuição *t* de Student, (BARROS NETO, 1995). No nível de confiança de 95% de confiança o valor de *t* correspondente a 4 graus de liberdade é 2,776. Portanto só os efeitos cujo valor absoluto exceder para o cultivar IAC 165: $(2,776 \times 1,18) = 3,28$ e para o cultivar IAC 102: $(2,776 \times 0,93) = 2,60$ foram considerados estatisticamente significativos.

Efeitos calculados para o planejamento fatorial 2²:

Tabela 30: Efeitos do planejamento fatorial 2² para o arroz IAC 165

Cultivar IAC 165	Estimativa ± erro padrão
Média global:	62,48 ± 0,59
Efeitos principais:	
θ	- 0,85 ± 1,18
T	1,90 ± 1,18
Efeito de interação	
θT	- 6,2 ± 1,18

Tabela 31: Efeitos do planejamento fatorial 2² para o arroz IAC 102

Cultivar IAC 102	Estimativa ± erro padrão
Média global	55,04 ± 0,47
Efeitos principais	
θ	0,85 ± 0,93
T	6,18 ± 0,93
Efeito de interação	
θT	3,9 ± 0,93

Portanto o efeito principal do tempo não foi significativo nos ensaios tanto para o cultivar IAC 165 quanto para o IAC 102. O efeito principal de temperatura foi significativo para os ensaios com o cultivar IAC 102 mas não para o cultivar IAC 165, os efeitos de interação tempo e temperatura foram significativos para ambos os cultivares de arroz., sendo que a existência de um efeito de interação significativo indica que os efeitos principais devem ser interpretados conjuntamente. A melhor forma de se fazer isto é traçar diagramas contendo as respostas médias em todas as combinações de níveis de variáveis (Fig. 14).

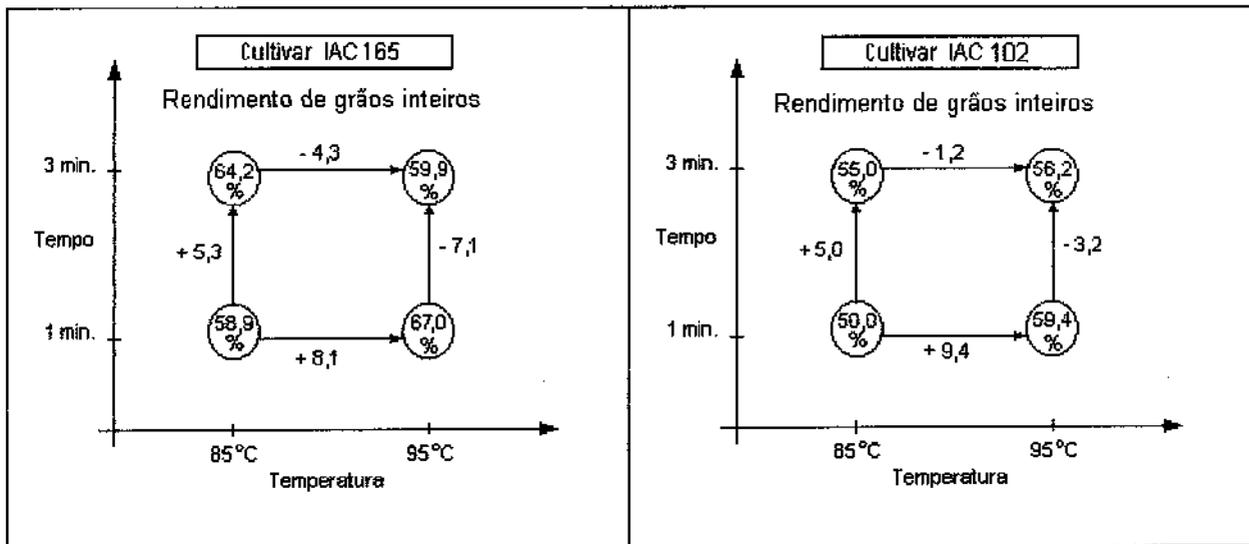


Figura 14: Interpretação dos resultados da parboilização por microondas

5.4 - Discussão dos resultados

- Efeito da rampa de aquecimento no tempo de processamento:

Durante os ensaios o tempo de processamento por microondas em cada experimento foi dividido em duas etapas: rampa de aquecimento e tempo de residência na temperatura de tratamento. A rampa de aquecimento foi determinada experimentalmente utilizando a potência máxima do forno de 950W e uma carga de 12 amostras iguais de arroz em casca a serem processadas perfazendo um total de 600g para as temperaturas de tratamento de 85°C e 95°C. O ajuste de tempo mais adequado para a rampa de aquecimento do produto foi determinado em 3 minutos. O tempo de residência ou permanência do arroz na temperatura máxima também foi ajustado experimentalmente por ensaios previamente realizados e selecionados em 1 e 3 minutos respectivamente. Sendo assim os tempos totais de tratamento, considerados

rampa mais residência, foram de 4 e 6 minutos, respectivamente. Os tempos de aplicação de microondas gastos para iniciar a gelatinização variaram de aproximadamente 1 a 1,5 minutos durante a rampa de aquecimento, considerando a temperatura média de gelatinização do arroz de 65°C (RADLEY, 1968). Assim o tempo efetivo total de gelatinização para cada experimento variou de 2 a 3 minutos e de 4 a 6 minutos, para os ensaios com tempos de residência de 1 e 3 minutos, respectivamente, nas temperaturas de tratamento. Os gráficos das figuras 15, 16, 17 e 18 ilustram estes efeitos.

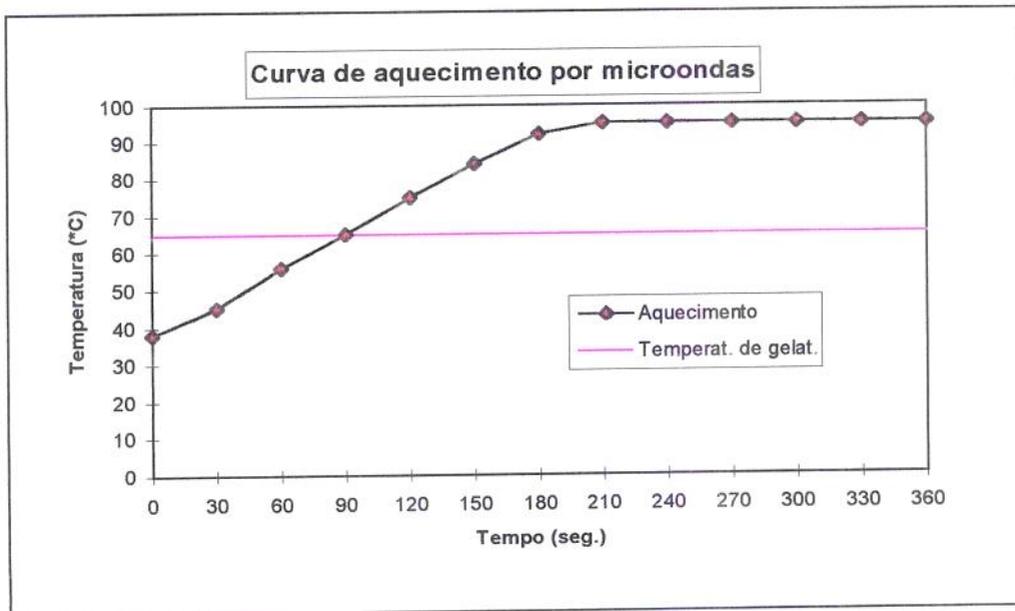


Figura 15 - Curva de aquecimento do arroz por microondas a 95°C com rampa de 3 minutos e tempo de residência de 3 minutos

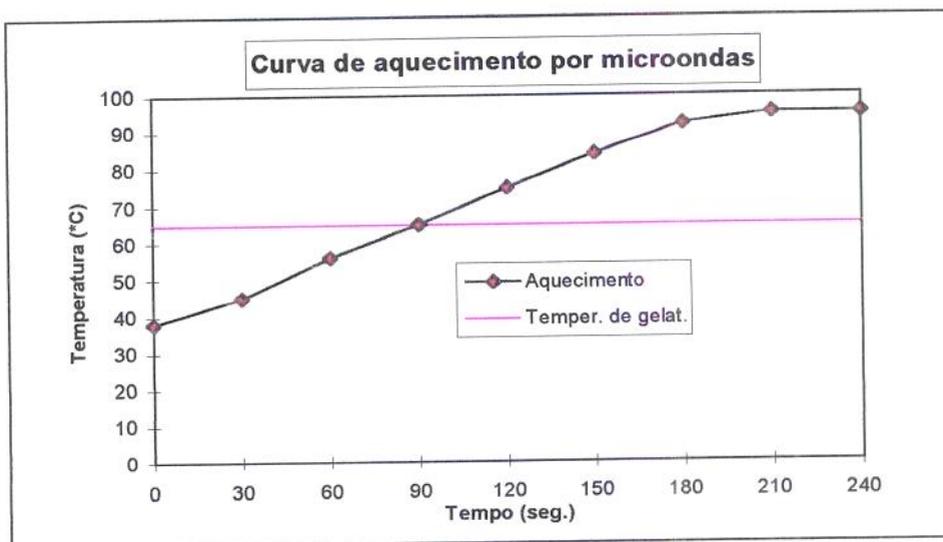


Figura 16 - Curva de aquecimento do arroz por microondas a 95°C com rampa de 3 minutos e tempo de residência de 1 minuto.

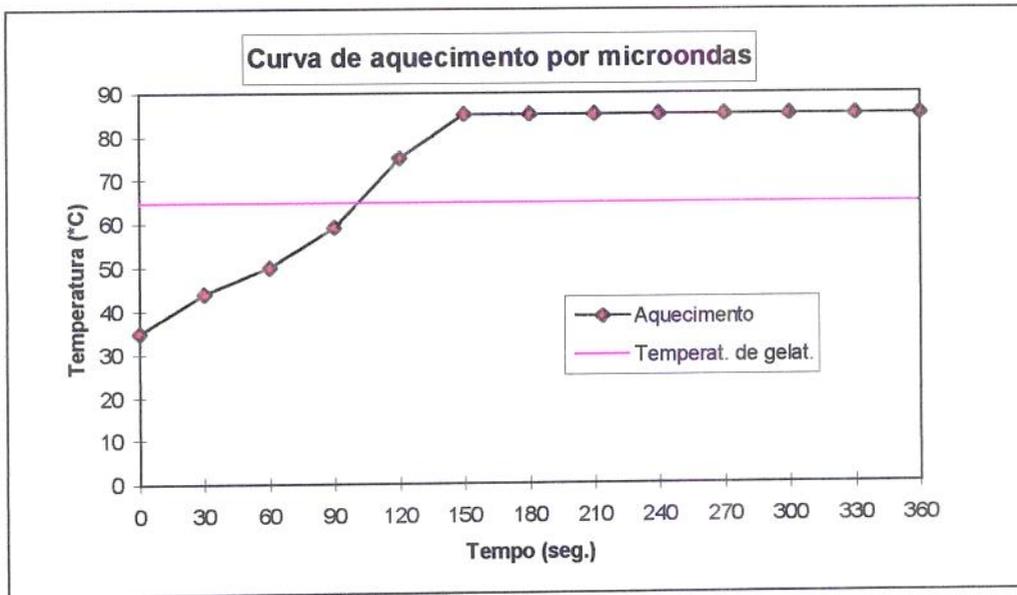


Figura 17 - Curva de aquecimento do arroz por microondas a 85°C com rampa de 3 minutos e tempo de residência de 3 minutos

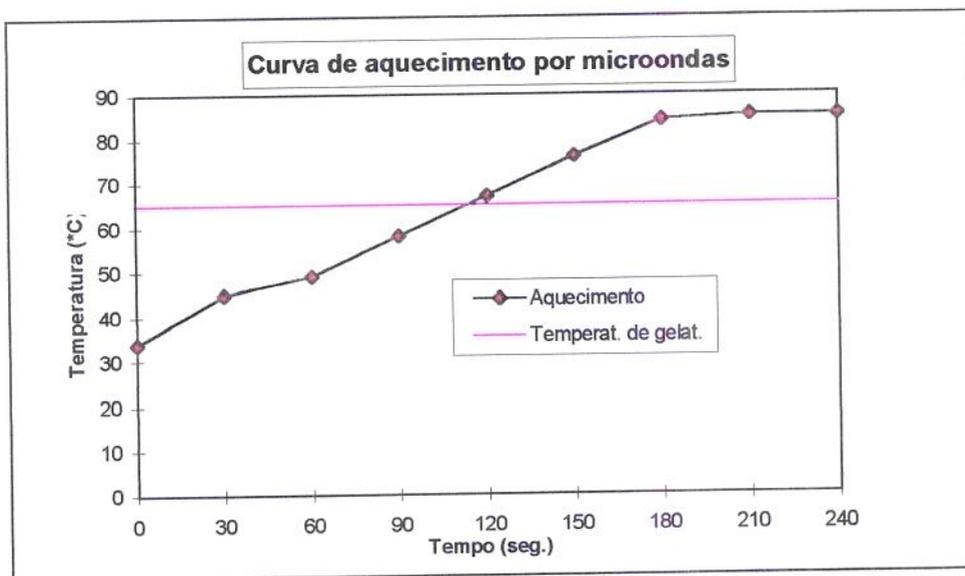


Figura 18 - Curva de aquecimento do arroz por microondas a 85°C com rampa de 3 minutos e tempo de residência de 1 minuto

- Efeitos do tratamento por microondas em cada cultivar de arroz:

Cultivar IAC 165 - Após a parboilização apresentou-se com grãos parcialmente gelatinizados com uma cor clara de aparência vitrificada, levemente tendendo a caramelo, e com região esbranquiçada (pontos gessados), sendo que o arroz utilizado como matéria prima já apresentava grande quantidade de pontos gessados.

Cultivar IAC 102 - Após a parboilização apresentou-se com grãos totalmente gelatinizados, com aparência vítrea e cor caramelo e com ausência total de pontos brancos, resultando em um produto de bom aspecto e compatível com o obtido pelo processo convencional, porém com uma cor bem mais clara.

6 - CONCLUSÕES

Os resultados alcançados neste trabalho indicaram que a energia de microondas pode ser utilizada no processo de parboilização de arroz, substituindo as autoclaves na etapa de gelatinização, reduzindo assim o tempo de processamento na faixa de 20 a 30 minutos no processo convencional para a faixa de 4 a 6 minutos no tratamento por microondas. Também possibilitou determinar os níveis em que as principais variáveis do tratamento por microondas resultassem em um maior rendimento de grãos inteiros. Os níveis estudados foram: temperatura máxima de processamento (85 e 95°C) e tempo de residência na temperatura máxima (1 e 3 min.) após 3 minutos gastos na rampa de aquecimento dos grãos da temperatura ambiente até a temperatura máxima.

Os melhores resultados obtidos no rendimento de grãos inteiros, para ambos os cultivares estudados IAC 165 e IAC 102, foram na temperatura máxima de 95 °C e no tempo de residência de 1 minuto com rampa de aquecimento de 3 minutos. Os resultados alcançados sob estas condições foram o aumento de rendimento de 60,9 % do cultivar IAC 165 “in natura” para 68,1 % e de 23,1 % do cultivar IAC 102 “in natura” para 59,9 % após a parboilização pela aplicação de microondas.

A parboilização por microondas na etapa de gelatinização apresentou os grãos de arroz com cor bem mais clara do que os produtos comerciais obtidos pelos processos convencionais, principalmente com relação ao processo Malek, o qual é atualmente o mais utilizado no Brasil.

De acordo os resultados obtidos com o planejamento fatorial conclui-se que:

- Para o tempo de tratamento, após a rampa de aquecimento, mantido constante em 1 minuto a elevação da temperatura de 85 °C para 95 °C aumentou o rendimento de grãos inteiros do cultivar IAC 165 de 58,9 % para 67,0 % e para o IAC 102 de 50,0 % para 59,4 %.

- Para o tempo de tratamento, após a rampa de aquecimento, mantido constante em 3 minutos a elevação da temperatura de 85 °C para 95 °C reduziu o rendimento de grãos inteiros do cultivar IAC 165 de 64,2 % para 59,9 % e aumentou para o IAC 102 de 55,0 % para 56,2 %.

• Os efeitos (influência das variáveis independentes) somente foram considerados estatisticamente significativos empregando-se o teste t , distribuição t de Student, no nível de confiança de 95% e com 4 graus de liberdade aqueles cujo valor absoluto exceder o seu desvio padrão multiplicado por 2,776. Para os ensaios com o cultivar IAC 165 com desvio padrão de 1,18 foi de 3,28 e para o IAC 102 com desvio padrão de 0,93 foi de 2,60. Portanto para o IAC 165 somente o efeito de interação tempo/temperatura cujo o valor foi - 6,2 foi significativo, já para o IAC 102 tanto o efeito principal de temperatura com 6,18 quanto o efeito de interação tempo/temperatura com 3,9 foram significativos, tendo o efeito principal da temperatura maior importância.

• Considerando a umidade de cada cultivar antes da aplicação de microondas, de 27,1% para o IAC 165 e de 28,1% para o IAC 102, pode-se verificar sua influência no efeito de interação tempo/temperatura alterando o seu valor de - 6,2 no IAC 165 para 3,9 no IAC 102 e também no efeito principal da temperatura alterando-o, de insignificante no IAC 165, para 6,18 no IAC 102.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- 1 - ALI, N.; PANDYA, A.C. Basic concept of parboiling of paddy. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.19, n.2, p.111-115, 1974.
- 2 - ALI, S.Z.; BHATTACHARYA, K.R. Starch retrogradation and starch damage in parboiled rice and flaked rice. **Die Stärke**. v.28, n.27, p.233-240, 1976
- 3 - AMATO, G.W.; BITTENCOURT, D.M.; GUIDANI, A.C. **Parboilização de arroz: parâmetros de encharcamento**. Porto Alegre: Fundação de Ciências e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul - CIENTEC, 1989. 41p (Boletim técnico, 17)
- 4 - AMATO, G.W.; PINKOSKI, P.I.; OLIVEIRAS, L.Y.; PFINGSTAG, A.R.; GUINDANI, A.C. **Cor na parboilização de arroz**. Porto Alegre: Fundação de Ciências e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul - CIENTEC, 1990. 42p (Boletim técnico, 5)
- 5 - AMATO, G.W.; SILVEIRA FILHO, S. **Parboilização de arroz no Brasil**. Porto Alegre: Fundação de Ciências e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul - CIENTEC, 1991. 98p
- 6 - AMATO, G.W.; SILVEIRA FILHO, S. **Arroz parboilizado: na merenda escolar**. Porto Alegre: Diretoria de Anais da Assembléia Legislativa do Estado do Rio Grande do Sul, 1995. 23p
- 7 - BAKSHI, A.S.; SINGH, R.P. Kinetics of water diffusion and starch gelatinization during rice parboiling. **Journal of Food Science**, v.45, n.5, p1387-1392, 1980.
- 8 - BHATTACHARYA, K.R.; SUBBA RAO, P.V. Processing conditions and milling yield in parboiling of rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.14, n.5, p.473-475, 1966.
- 9 - BHATTACHARYA, K.R.; ALI, S.Z. Change in rice during parboiling and properties of parboiling rice. **Advances of cereal science and technology**, v.7. p. 105-167, 1985.

- 10 - BHATTACHARYA, K.R. Parboiling of Rice In: JULIANO, B.O. **Rice chemistry and technology**, St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986, chap. 8, p.289-348.
- 11 - BILIADERIS, C.G.; MAURICE, T.J.;VOSE, J.R. Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. **Journal of Food Science**. v.45, n.6, p1669-1674, 1980.
- 12 - BUFFLER, C.R. **Microwave cooking and processing: engineering fundamentals for the food scientist**. New York: , V.N. REINHOLD AVI, 1992. 169 p.
- 13 - CEREDA, M.P.; BONASST, I.A.; GLI, A.R. Maceração do arroz. **Lavoura Arrozeira**, v. 36, p. 34-38, 1983.
- 14 - CHANG, Y.K. **Efeito de branqueadores e da radiação de microondas na qualidade tecnológica do arroz integral**. Campinas, 1982. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos e Agrícola) - Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- 15 - CHINACHOTI, P.; STEINBERG, M.P.; VILLOTA, R. A model for quantitating energy and degree of starch gelatinization based on water, sugar and salt contents. **Journal of Food Science**, v.55, n.2, p.543-546, 1990.
- 16 - CRAIG, B.W.; VERMA, L.R.; VELUPILLAI, L.; WADSWORTH J.I. **Rice parboiling and drying using microwave energy**. Baton Rouge: American Society of Agricultural Center, LA, 1990.
- 17 - DECAREAU, R.V. **Microwaves in the food industry**. London: Academic Press. 1985. 234 p.
- 18 - DOOS, H.A.; RIZK, L.F.; EL-SHIRBEENY, M. Technology properties of microwave parboiled rice. Food Science and Technology Institute, Agriculture Research Center, Giza, Egypt. **Die Nahrung**, v.37, n.5, p.470-475, 1993.

- 19 - DUSI, D.N. **Características de hidratação de arroz em casca, cultivar EMPASC 101, e o efeito do método de parboilização sobre o valor nutricional.** Viçosa, 1982. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa.
- 20 - FELTRE, R.; SETSUO, Y. **Físico-química: teoria e exercícios** São Paulo: Moderna, 1989. (coleção de química, v.3)
- 21 - FONSECA, H. **Arroz: Produção, Pré-processamento e transformação agroindustrial.** São Paulo, Coordenadoria da indústria e comércio, 1989. v.2, p. 53-63.
- 22 - FONTANA, C. **Propriedades físicas e térmicas do arroz.** Santa Maria: Ed. Universidade Federal de Santa Maria, 1986. 68p
- 23 - FUJII, A.K. **Influência da parboilização de arroz no rendimento de grãos inteiros.** Campinas, 1988. 159 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- 24 - GARIBOLDI, F. **El sanchodo de arroz.** Roma: Organización de las Naciones Unidas para a Agricultura Y la Alimentación. F.A.O, 1974. 103p
- 25 - GARIBOLDI, F. Parboiled rice. In: HOUSTON, D.F. **Rice chemistry and technology.** London: American Association Cereal Chemistry, 1972. p.358-380.
- 27 - GOLDBLITH, S.A. Basic principles of microwaves and recent developments. **Advances in Food Research**, v.15, n.7, p.277-297, 1967
- 28 - JONES, P.L. High frequency dielectric heating in paper making. **Drying Technology.** v.4, n.2, p.217-244, 1986
- 29 - JULIANO, B.O. The rice caryopsis and its composition. In: **Rice chemistry and technology.** St. Paul: Ed. Houston, D.F., American Association of Cereal Chemists, 1972.

- 30 - JULIANO, B.O.; ANTONIO, A.A; ESMANA, B.V. Effects of protein content on distribution and properties and rice protein. **Journal of Science and Food Agriculture**, v.24, p.295-306, 1973.
- 31 - JULIANO, B.O. Properties of rice caryopsis. In: LUH, B.S.. **Rice production and utilisation**. Connecticut Ed. by Avi publishing, inc. Westport, , 1980.
- 32 - KUBOTA, K.; HOSOKAWA, Y.; SUZUKI, K.; HOSAKA, H. Studies on the gelatinization rate of rice and potato starches. **Journal of Food Science**, v.44, n.5, p.394-397, 1979.
- 33 - KURIEN, P.P.; MURTY, R.R.; DESIKACHAR, H.S.R. Effect of parboiling on the swelling quality of rice. **Cereal Chemistry**, v.41, n.1, p.16-22, 1974.
- 34 - LEACH, H.W. Gelatinization of starch. In: WHISTLER e WOLFRAM. **Method of Carbohydrates**. San Diego: Academic Press, 1962. v.4
- 35 - LEQUERICA, J.L.; FLORS, A.; CERNI, R. Estudio del secado de arroz sancochado por la termica de fluidificación. **Revista Agroquimica y Tecnologia de Alimentos**, v.14, n.3, p.439-450, 1974.
- 36 - LEQUERICA, J.L.; TORTOSA, E. Sanchado de arroces cultivados en Espanha y comportamiento en el processo. **Revista de Agroquimica y Tecnologia de Alimentos** v.17, n.1, p.42-57, 1977.
- 37 - HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de fisica**: Trad. de Odir Moyses Luiz. Rio de Janeiro: Ed. Livros técnicos e científicos, 1987. v.3
- 38 - MANCHETE RURAL. Especial Agribusiness. Rio de Janeiro, n. 118, abr. 1997.
- 39 - MARSAIOLI, A.J. **Desenvolvimento da tecnologia de aplicação de microondas em Ssecador cilíndrico rotativo combinado com ar quente para produtos granulados**. Campinas, 1991. 197p. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

- 40 - MARSHALL, W.E.; WADSWORTH, J.I.; VERMA, L.R.; VELUPILLAI, L.
Determining the degree of gelatinization in parboiled rice: comparison of a subjective and an objective method. **Cereal Chemistry**, v.70, n.2, p.226-230, 1993.
- 41 - MECHAN, D.K.; KESTER, E.B.; PENCE, J.W. Parboiling characteristics of California medium grain rice. **Food Technology**, v.15, p.475-479, 1961.
- 42 - MUDGETT, R.E. Dielectric properties of food. In: DECAREAU, R.V. microwaves in the food industry. London: Academic Press **Food-Technology**, v.36, n.2, p.109-115, 1985. p.15-37
- 43 - MUDGETT, R.E. Microwave Food Processing. **Food Technology**. v.43, n.1, p117-126, 1989
- 44 - NAKAZAWA, F.; NOGUSHI, S.; TAKAHASHI, J.; TAKADA, M. Gelatinization and retrogradation of rice starch studied by differential scanning calorimetry. **Agricultural and Biological Chemistry**, v.48, n.1, p.201-203, 1984.
- 45 - NORMAND, F.L.; MARSHALL, W.E. Differential scanning calorimetry of whole grain milled rice and milled rice Flour. **Cereal Chemistry**, v.66, n.4, p.317-320, 1989.
- 46 - OWUSU-ANSAH, Y.J Advances in microwaves and dielectric drying of foods and ingredients. **Canadian Institute of science and Technology Journal**, v.24, n.3/4, p.102-107 July, 1991.
- 47 - PIAZZA, L; RIVA, M.; SCHIRALDI, A; Indagini calorimetriche sulla cinetica di gelatinizzazione dell'amido durante la cottura della pasta e del riso. **Tecnica Molitoria**, v 45, n.6 , p.638-646, 1994.
- 48 - PINZAN, N.R. Arroz (*Oryza sativa* L.) In: SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento Coordenadoria de Assitência Técnica. Departamento de Extensão Rural. **Manual técnico das Culturas**. Campinas, 1986. p.81-96 (manual n.8)
- 49 - PRIESTLEY, R.J.; MEYBRIDGE, F.; SURREY, G.M. Moisture requirements for gelatinization of rice. **Die Stärke**, v.27, n.12, p.416-419, 1975.

- 50 - RADLEY, J.A. Starch retrogradation. In: **Starch and its derivatives**. Ed. by Chapman & Hall, 558p., U.S.A., 1968.
- 51 - RAJ, S.A.; SINGAVADIVEL, K. Influence of soaking and steaming on the loss of simple constituents in paddy. **Journal of Food Science Technology**, v.17, p.141-143, 1980.
- 52 - RAO, S.N.R.; JULIANO, B.O. Effects of parboiling on some physicochemical properties of rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.18, p.289-294, 1970.
- 53 - ROBERTS, R.L. Effect of microwave treatment of pre-soaked paddy, brown and white rice. **Journal of Food Science**, v.42, n.3, 1977.
- 54 - SAN MARTIN MARTINEZ, E. **Efeito de algumas variáveis operacionais nas características de qualidade de arroz parboilizado convencionalmente e por microondas**. Campinas, 1984. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- 55 - SCHIFFMANN, R.F. Microwave and dielectric drying In MUJUNDAR, A.S. **Handbook of Industrial Drying** 1 ed. New York: Marcel Decker, 1987. cap 10, p.327-356
- 56 - SCHIMER, M.A.; SILVEIRA, S.F. **Diagnóstico da indústria do arroz parboilizado**. Porto Alegre, Fundação de Ciências e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul - CIENTEC, 1985.
- 57 - SECRETARIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Portaria, nº 269. 17, 22 nov. 1988. **Diário Oficial da União**. 1 fev. 1989.
- 58 - SILVA, P.D. Arroz parboilizado. **Lavoura Arrozeira**, v.33, p. 40-49, 1980.
- 59 - SUZUKI, K.; AKI, M.; KUBOTA, K.; HOZAKA, H. Studies on the cooking rate equations of rice. **Journal of Food Science**, v.42, n.6, p.1545-1548, 1977.
- 60 - VASAN, B.S.; KUMARAVEL, S. The role of dissolved oxygen in the improvement of cold soaking process of paddy. **Journal of Food Science and Technology** v.19, n.1, p.31-35, 1982.

- 61 - UNITED STATES PATENT, VELUPILLAI, L.; VERMA, **Process for parboiling rice.**
Int. Cl4 A23/L 1/182. U.S. n. 4.810.511. 7 mar. 1989.
- 62 - VELUPILLAI, L.; VERMA, L.R.; WADSWORTH, J.I. Quality aspects of microwave vacuum dried parboiled rice. **Transactions of the ASAE.** v.33, n.5, p.1759-1762, 1989.
- 63 - VON HIPPEL, A.R. **Dielectric and waves** 2. ed. Massachusetts: MIT Press, 1995.
284p.
- 64 - WADSWORTH, J.I.; VELUPILLAI, L; VERMA, L.R. Microwave-Vacuum Drying of Parboiled Rice. **Transactions in Agriculture**, vol. 33, n.1, Jan./ Feb., 1990.
- 65 - ZANONI, B; SCHIRALD, A; SIMONETTA, R. A naive model of starch gelatinization kinetics. **Journal of Food Engineering**, v.24, p.25-33, 1995.

ABSTRACT

Parboiling of rice is essentially an hydrothermically based process that starts when the grains are made to hydrate to a moisture level near 30% by immersion in potable water at a temperature above 58°C. Later on the rice starch undergoes a partial or total gelatinization after the soaked grains are heat treated, then dried before one final milling operation. An expressive advantage results from the high yield of head rice after milling as well as a considerable increase of the nutritive value of rice.

This work has studied the effects caused by microwave energy application to the parboiling of rice, during the stage of starch gelatinization, by replacing retort steaming operation of the conventional process. It has taken advantage of the intrinsic properties of microwaves like the very fast heating both at the surface as well inside the grains, thus reducing drastically the processing time, from 20 to 30 minutes in the conventional process down to 2 to 5 minutes by means of microwave treatment.

Processing conditions were studied in a manner so as to provide the best head rice yield, mainly by actuating on the process variables: maximum process temperature and holding time under maximum temperature. The best results with respect to the head rice yield were achieved, for both varieties IAC 165 and IAC 102 that were studied, under the condition of maximum temperature 95 °C and 1 minute holding time, after 3 minutes spent for heating up the kernels from ambient to maximum temperature. For these conditions the results were the yield increase from 60.9 % for the “in natura” IAC 165 to 68.1 % after microwave parboiling and the yield increase from 23.1 % for the “in natura” IAC 102 to 59.9 % after microwave parboiling. The observed color of the kernels for both varieties after microwave parboiling was considerably clearer as compared to the color of the kernels submitted to the conventional method of parboiling.

APÊNDICE A

Significado dos parâmetros de cores L, a e b, para as leituras de cores com o colorímetro MINOLTA CR-300.

