

PROCESSO HIDROTÉRMICO
PARA GELATINIZAÇÃO DO ARROZ:
PAPEL DA α -AMILASE BACTERIANA


Por

Nelson de Oliveira

Engº de Alimentos, UNICAMP, 1975

Tese apresentada à

Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola para obtenção
do título de Mestre


Prof. Dr. Ahmed A. El-Dash
Orientador

1979

Campinas, SP, Brasil

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

ÍNDICE

	Página
Índice de Tabelas	i
Índice de Figuras	iv
Agradecimento	vii
Resumo	ix
Summary	xi
I. - Introdução	1
II. - Revisão bibliográfica	2
A. Aspectos gerais sobre o arroz	2
B. Beneficiamento comercial do arroz	2
C. Farinhas pré-gelatinizadas	5
1. Gelatinização e retrogradação do amido	6
2. Avaliação do grau de gelatinização.	10
3. Métodos industriais de gelatiniza- ção	12
4. Características e usos	13
D. Modificação de características das fa- rinhas pré-gelatinizadas	15
1. Modificação por agentes químicos ..	15
2. Modificação por enzimas	17
III. - Materiais e métodos	21

A. Materiais	21
1. Matérias-primas e reagentes	21
2. Equipamentos	21
B. Métodos analíticos	22
1. Determinação da viscosidade	22
a. Obtenção de viscoamilogramas	22
b. Avaliação de viscoamilogramas ...	23
2. Determinação da atividade de α -ami- lase	24
a. Atividade da preparação enzimática	24
b. Atividade enzimática nas fari- nhas	24
3. Índices de absorção e solubilidade em água	24
4. Granulometria	25
5. Açúcares redutores e totais	26
6. Proteína	26
7. Matéria graxa	27
8. Cinzas	27
9. Umidade	27
10. Sólidos totais	27

11. pH	28
C. Métodos experimentais	28
1. Desenvolvimento de um processo para gelatinização da quirera de arroz ..	28
a. Determinação da taxa de hidrata- ção	28
b. Tratamento térmico para gelatini- zação	28
c. Secagem e moagem	29
2. Modificação das características de gelatinização da quirera de arroz pe lo emprego de α -amilase	29
a. Determinação da concentração de α -amilase necessária para modifi- car as características de gelati- nização	30
b. Determinação do grau de absorção de α -amilase pela quirera	30
c. Efeito do tempo de pré-aquecimen- to sobre as características de ge latinização	31
d. Efeito da concentração de α -amila se sobre as características de ge latinização	31

IV.	- Resultados e discussão	33
	A. Características da quirera de arroz	33
	1. Granulometria	33
	2. Composição química	33
	3. Viscosidade	33
	4. Solubilidade e absorção de água	40
	5. Conteúdo de α -amilase	40
	B. Desenvolvimento de um processo para gela- tinização da quirera de arroz	41
	1. Efeito do tempo e da temperatura de ma- ceração sobre as características de hi- dratação	41
	2. Efeito do tratamento térmico sobre o grau de gelatinização	44
	a. Tratamento térmico a 98°C	46
	i. Características de viscosidade..	46
	ii. Características de solubilidade e absorção de água	49
	b. Tratamento térmico a 118°C	52
	i. Características de viscosidade..	52
	ii. Características de solubilidade e absorção de água	54
	C. Emprego de α -amilase bacteriana no proces- so de gelatinização da quirera de arroz ..	59

1.	Determinação da concentração de α -amila se necessária para modificar as caracte rísticas de gelatinização	59
2.	Absorção de α -amilase pela quirera du rante a maceração	65
3.	Influência do tempo de pré-aquecimento.	66
	a. Características de viscosidade	67
	b. Características de solubilidade e ab sorção de água	67
	c. Teor de açúcares	72
4.	Influência da concentração de α -amilase	79
	a. Características de viscosidade	79
	b. Características de solubilidade e ab sorção de água	83
	c. Teor de açúcares	86
V.	- Conclusões	89
VI.	- Bibliografia	93
VII.	- Apêndice	102

ÍNDICE DAS TABELAS

I.	- Análise granulométrica da quirera de arroz	34
II.	- Composição química da quirera de arroz	35
III.	- Efeito da concentração sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de <u>qui</u> rera	36
IV.	- Efeito da temperatura e do tempo de maceração sobre o conteúdo de umidade da quirera	42
V.	- Efeito do tempo de tratamento térmico sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada a 98°C..	47
VI.	- Efeito do tempo de tratamento térmico sobre as características de solubilidade e absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada a 98°C	50
VII.	- Efeito do tempo de tratamento térmico sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada a 118°C..	53
VIII.	- Efeito do tempo de tratamento térmico sobre as características de solubilidade e absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada a 118°C	56

IX.	- Efeito da adição de α -amilase imediatamente antes da obtenção de viscoamilogramas sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera	60
X.	- Efeito da concentração de α -amilase absorvida sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera	63
XI.	- Efeito do tempo de pré-aquecimento a $85-90^{\circ}\text{C}$ sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C	68
XII.	- Efeito do tempo de pré-aquecimento a $85-90^{\circ}\text{C}$ em presença de 6,5 UAB/g de α -amilase sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C	69
XIII.	- Efeito do tempo de pré-aquecimento a $85-90^{\circ}\text{C}$ sobre as características de solubilidade e absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C	71
XIV.	- Efeito do tempo de pré-aquecimento a $85-90^{\circ}\text{C}$ em presença de 6,5 UAB/g de α -amilase sobre as características de solubilidade e absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C	73

- XV. - Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C sobre o conteúdo de açúcares redutores e totais - das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C..... 76
- XVI. - Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C em presença de 6,5 UAB/g de α -amilase sobre o conteúdo de açúcares redutores e totais das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C 77
- XVII. - Efeito da concentração de α -amilase sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a 85-90°C 80
- XVIII. - Efeito da concentração de α -amilase sobre as características de solubilidade e absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a 85-90°C 84
- XIX. - Efeito da concentração de α -amilase sobre o conteúdo de açúcares redutores e totais das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a 85-90°C 87

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	- Efeito da concentração sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera	38
2.	- Correlação entre concentração e viscosidade das suspensões de farinha de quirera	39
3.	- Efeito do tempo de maceração a 25°C sobre o conteúdo de umidade da quirera	43
4.	- Efeito do tempo de maceração a 50°C sobre o conteúdo de umidade da quirera	45
5.	- Efeito do tempo de tratamento térmico sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada a 98°C	48
6.	- Efeito do tempo de tratamento térmico sobre o índice de absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada a 98°C	51
7.	- Efeito do tempo de tratamento térmico sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada a 118°C	55

8. - Efeito do tempo de tratamento térmico sobre o índice de absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada a 118°C	58
9. - Efeito da adição de α -amilase imediatamente antes da obtenção de viscoamilogramas sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera	61
10. - Correlação entre concentração de α -amilase adicionada imediatamente antes da obtenção de viscoamilogramas e viscosidade das suspensões de farinha de quirera	62
11. - Efeito da concentração de α -amilase absorvida sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera	64
12. - Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C em presença de 6,5 UAB/g de α -amilase sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C	70
13. - Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C em presença de 6,5 UAB/g de α -amilase sobre as características de solubilidade das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C	74

14. - Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C em presença de 6,5 UAB/g de α -amilase sobre o conteúdo de açúcares redutores das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C 78
15. - Efeito da concentração de α -amilase sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a 85-90°C 81
16. - Correlação entre concentração de α -amilase e viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a 85-90°C.. 82
17. - Efeito da concentração de α -amilase sobre as características de solubilidade das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a 85-90°C 85
18. - Efeito da concentração de α -amilase sobre o conteúdo de açúcares redutores das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a 85-90°C 88

AGRADECIMENTOS

- FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
- Laboratório Miles do Brasil Ltda.
- Dr. André Tosello
- Dr. Fumio Yokoya
- Dr. Jaime Amaya
- Marlene Oliveira
- Renato Bispo
- Selma Regina Finotti

O autor deseja manifestar sua pessoal gratidão ao Dr. Ahmed El-Dash; sua capacidade, dedicação e entusiasmo foram sempre um grande incentivo à realização deste trabalho.

O autor agradece aos colegas Fernando Martinez, Marilena Jucã e Renato Cruz, bem como a todos que, direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.



The author wishes to express his gratitude to Companhia Brasileira Givaudan, and especially to the Director President, Mr. Dennis L. Chesser, for generously supporting composition and printing of this paper.

O autor deseja expressar sua gratidão à Companhia Brasileira Givaudan, especialmente a seu Diretor Presidente, Sr. Dennis L. Chesser pelo generoso apoio prestado por ocasião da composição e impressão deste trabalho.



RESUMO

Desenvolveu-se um processo hidrotérmico para obtenção de farinha pré-gelatinizada a partir de quirera de arroz, matéria prima de baixo custo e características físico-químicas semelhantes ao arroz polido, obtida por ocasião do beneficiamento comercial do arroz.

Diversas variáveis que afetam o grau de gelatinização dos produtos foram estudadas, de maneira a se estabelecer as condições mais favoráveis ao processo. O emprego de α -amilase de origem bacteriana, termoestável, como agente gelatinizante, foi também objeto de estudo. O conteúdo de umidade foi elevado macerando-se as amostras em excesso de água a 25°C e 50°C, até que o equilíbrio fosse atingido. Após a maceração, as amostras drenadas foram tratadas com vapor a 98°C e 118°C por períodos de tempo variáveis entre 1 e 30 minutos. A influência da concentração de α -amilase e de seu tempo de reação foram estudadas incorporando-se quantidades variáveis de enzima à água de maceração e submetendo-se as amostras drenadas a períodos variáveis de aquecimento a 85-90°C, imediatamente antes do tratamento com vapor por 1 minuto a 118°C. Após o tratamento térmico as amostras eram secas e moídas.

O grau de gelatinização dos produtos foi avaliado através das características de viscosidade das suspensões de farinha e de suas características de solubilidade e absorção de

água. Nas amostras tratadas com enzima avaliou-se também o conteúdo de açúcares redutores e totais.

A quirera de arroz hidrata-se sem dificuldade, atingindo a umidade de equilíbrio (30%) após 30 minutos de maceração a 25°C; amostras maceradas a 50°C atingem o mesmo valor em apenas 10 minutos.

O tratamento térmico por 1 minuto a 118°C mostrou-se adequado para causar a gelatinização da quirera de arroz, enquanto tempos de exposição de 30 minutos não causaram modificações adicionais relevantes nas características dos produtos.

Produtos finais de variáveis graus de gelatinização podem ser obtidos através do emprego de α -amilase termoestável de origem bacteriana. As características dos produtos finais dependem da concentração de enzima utilizada e do tempo de reação. Em certas condições de processo (6,5 UAB/g por 30 minutos) é possível atingir-se a completa gelatinização e mesmo a dextrinização das amostras.

O processo hidrotérmico desenvolvido mostrou-se eficiente para a produção de quirera pré-gelatinizada de arroz e utiliza somente equipamentos simples e de baixo custo. O emprego conjugado de α -amilase bacteriana não afetou a simplicidade do processo, contribuindo para maior flexibilidade do mesmo.

SUMMARY

Broken rice, a by-product of the rice milling industry, is characterized by a chemical and nutritional quality similar to that of polished rice but with a lower commercial value due to low demand. A hydrothermal process was developed to gelatinize this broken rice. Rice samples were soaked at a temperature of 25° or 50°C until moisture equilibrium, which was found to be 30 and 10 minutes, respectively. The samples were then subjected to steam treatment at 98° or 118°C for periods of time ranging from 1 to 30 minutes. The samples were then dried and milled into flour. The degree of gelatinization of the products was evaluated by the viscoamylograph, by absorption and solubility indices, and by the reducing sugar content. It was evident that 1 min. of treatment at 118°C was quite adequate to gelatinize the rice samples; moreover, more intensive treatment, i.e., 30 min. at 118°C, did not increase the degree of gelatinization.

The role of α -amylase enzyme of bacterial origin in the gelatinization of broken rice was also studied. The degree of gelatinization depends on the concentration of the enzyme and its reaction time. A concentration of 6.5 BA units per gram was sufficient to gelatinize the rice samples under the conditions used in this study. A combination of bacterial α -amylase and hydrothermal treatment provides an efficient and simple means for the gelatinization of rice.

I. INTRODUÇÃO

Farinhas amiláceas são largamente empregadas na preparação de alimentos infantis, merendas escolares e outros alimentos de preparação rápida. Tratando-se de produtos que não sofrem cozimento antes do consumo, torna-se fundamental o emprego de farinhas pré-gelatinizadas, uma vez que é reduzida a utilização do amido, em sua forma nativa, pelo organismo. A gelatinização provoca modificações de natureza físico-química nos grânulos de amido, aumentando a susceptibilidade à ação enzimática e resultando em maior assimilação.

Convencionalmente, farinhas pré-gelatinizadas são produzidas industrialmente em equipamentos sofisticados e de alto custo, a partir de diversos cereais, raízes e tubérculos.

Como objetivos do presente trabalho buscou-se:

- oferecer uma alternativa mais nobre para a utilização da quirera de arroz, fração de composição nutricional semelhante ao arroz polido e baixo valor comercial, obtida a partir das operações de beneficiamento;
- produzir farinha pré-gelatinizada a partir de quirera de arroz através de um processo simples e de baixo custo, utilizando vapor como agente gelatinizante;
- investigar a ação da α -amilase de origem bacteriana sobre a quirera de arroz visando aumentar a flexibilidade deste processo, possibilitando a obtenção de produtos finais de características variadas.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. ASPECTOS GERAIS SOBRE O ARROZ

O arroz, Oryza Sativa, L, é o principal alimento de cerca de metade da população mundial, e figura, junto com o trigo e o milho, entre os cereais mais cultivados e consumidos do planeta (12). Admite-se ser a planta originária do Sudeste Asiático, a partir de onde seu cultivo se estendeu à Índia, Oriente Médio, África e Europa (2, 12).

Segundo estimativa da FAO (57), a produção mundial de arroz em casca alcançou 362,2 milhões de toneladas em 1977/78; a produção nacional para o mesmo período é estimada em cerca de 8,0 milhões de toneladas, procedentes de uma área cultivada de aproximadamente 5,86 milhões de hectares (57).

B. BENEFICIAMENTO COMERCIAL DO ARROZ

O grão de arroz é constituído por uma fração comestível, o cariopse, recoberta por uma estrutura de proteção não-comestível, a palha ou casca. No cariopse pode-se distinguir quatro estruturas principais: o pericarpo, a camada de aleurona, o germe e o endosperma, correspondentes a 1-2, 2-3, 4-6 e 89-94% em peso. A casca é rica em carboidratos estruturais e minerais, e equivale a cerca de 20% do peso do grão integral (32, 35, 36, 61).

O beneficiamento comercial dos grãos de arroz tem por objetivos a remoção da casca e das frações ricas em óleo, agrupadas sob a denominação "farelo" (21, 74). O farelo é constituído pelo germe, pericarpo e camada de aleurona, e contém cerca de 80% da matéria graxa do grão integral (16, 35, 36, 74). O beneficiamento comercial é realizado através de quatro etapas básicas: remoção de matéria estranha, descascamento, polimento e classificação por tamanho. O arroz beneficiado, ou polido, constituído basicamente pelo endosperma, é mais estável durante o armazenamento, conservando-se por longos períodos sem desenvolver aromas e sabores desagradáveis, característicos do fenômeno de rancificação. A aparência melhora com a remoção do pericarpo de cor escura; o consumidor ocidental prefere francamente a cor branca do arroz polido (67, 74).

Sendo o arroz o único cereal que alcança melhores preços quando comercializado inteiro, é grande a preocupação em se minimizar as quebras decorrentes de seu manuseio. A etapa de polimento, por ocasião do beneficiamento, é considerada crítica, embora parte das quebras ocorra durante as operações de colheita, transporte e armazenamento (7, 74). O Departamento de Agricultura Norte-Americano (70) estima as quebras em torno de 15% do total de arroz beneficiado, valor este difícil de ser reduzido malgrado os esforços de diversos pesquisadores (7, 74). Dentre os fatores responsáveis por quebras elevadas, cita-se a má regulação, alimentação excessiva e res-

friamento deficiente das máquinas de polimento; as quebras podem ser reduzidas controlando-se a umidade relativa do ar ambiente, por ocasião do polimento (7, 15).

Uma fração das quebras é reincorporada aos grãos comercializados inteiros, dentro dos limites permitidos pela legislação. Nos Estados Unidos (72), estes limites variam de 4 a 50%, de acordo com o nível de qualidade do arroz comercializado. A maior parte das quebras destina-se à alimentação animal; algumas quantidades são absorvidas pela indústria de cervejaria (70, 74).

Com base no valor de 15% (70), o volume mínimo de quebras no Brasil pode ser estimado em valores da ordem de 1,2 milhões de toneladas, para a safra de 1977/78. Considerando-se que 4 a 50% das quebras podem ser readicionadas ao arroz comercializado inteiro (72), resta uma quantidade de quirera que varia de 600.000 a 1.152.000 toneladas. Uma vez que o preço da quirera é bastante inferior ao valor comercial do arroz inteiro¹, ocorre uma perda financeira que oscila entre 4,7 a 9,0 bilhões de cruzeiros.

Farinhas de arroz, produzidas a partir das quebras de maneira a satisfazer necessidades específicas de determinados

¹preços médios do arroz inteiro e da quirera de arroz, em 17.03.79 fornecidos pela Bolsa de Cereais do Estado de São Paulo: 11,08 \$/kg e 3,26 \$/kg, respectivamente.

consumidores, são comercializadas em pequena escala, embora encontrem variadas aplicações alimentares (5). Segundo Deobald (5), a chave para a expansão do mercado destas farinhas na alimentação humana é o desenvolvimento de novos produtos de propriedades funcionais variadas.

C. FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS

As necessidades da sociedade moderna, particularmente nos grandes centros urbanos, demandam economia de tempo na preparação de alimentos. Farinhas pré-gelatinizadas com propriedades tecnológicas adequadas para uso em alimentos de preparação rápida, podem ser desenvolvidos a partir de quírrera de arroz. A utilização desta matéria-prima, além de reduzir os custos de produção, representa uma alternativa viável para diminuir as perdas financeiras decorrentes da quebra.

O processo de produção de farinhas instantâneas é basicamente um processo de gelatinização do amido, que representa cerca de 90% do peso seco da quírrera (36). O amido é um dos polímeros mais largamente distribuídos na natureza e desempenha papel destacado, como fonte de energia, na dieta da maioria das populações. Estima-se que cerca de 80% das culturas mundiais são representadas por grãos e raízes amiláceas (9, 28, 36).

1. Gelatinização e retrogradação do amido

O amido é formado nas plantas pela condensação sucessiva de unidades de α -D-glicose, formando grânulos de tamanho e forma característicos de cada espécie vegetal. Nas sementes, o amido representa energia armazenada, para uso da planta em posterior crescimento (9, 28). Os grânulos de amido não são quimicamente homogêneos, sendo possível reconhecer pelo menos dois componentes de características distintas, a amilose e a amilopectina. Esta classificação, fundamentada no peso molecular e no grau de ramificação das cadeias, é arbitrária, e as propriedades das frações observadas dependem diretamente do método de separação utilizado. Cerca de 5 a 10% do material encontrado nos grânulos de amido possui características tais que não pode ser classificado como amilose ou amilopectina, recebendo a denominação "material intermediário". Em alguns casos esta fração pode alcançar 30%, como em certas variedades de milho (9, 28, 75).

As moléculas de amilose são constituídas por centenas de unidades de glicose, unidas entre si por ligações α -1,4, sendo o grau exato de polimerização característico de cada espécie vegetal e do grau de maturação. A fração amilose, isolada a partir de amido de qualquer fonte, por processos convencionais de separação, é uma mistura de cadeias longas lineares e cadeias longas ramificadas através de ligações α -1,6,

conforme demonstram recentes estudos realizados com emprego de enzimas amilolíticas (9, 20, 28, 75).

A amilopectina é uma molécula altamente ramificada, formada por cadeias lineares curtas constituídas em média por 20 a 25 unidades de glicose, contendo cerca de 4 a 5% de ligações α -1,6 responsáveis pelo alto grau de ramificação. Há três modelos moleculares clássicos propostos para a estrutura de amilopectina, e que variam entre si de acordo com a probabilidade de geração de novas cadeias ramificadas, a partir de uma ramificação. O modelo proposto por Meyer (75) prevê a formação de uma estrutura ramificada ao acaso, com iguais probabilidades de formação de novas ramificações, antes e depois de um ponto de ramificação; este modelo parece ser o mais adequado em termos dos resultados experimentais obtidos por exploração enzimática (43). A molécula de amilopectina parece ser composta por inúmeras estruturas semelhantes, resultantes de variações nas probabilidades de formação de cadeias laterais, em função de fatores estéricos que ocorrem por ocasião da síntese (42). A determinação precisa do peso molecular da amilopectina é de difícil execução, devido ao tamanho exagerado da molécula. Medidas obtidas por espalhamento de luz acusam valores da ordem de 10^8 , com variações relativas à espécie botânica de origem (9, 20, 28, 42, 75).

Os grânulos de amido são birrefringentes, apresentando cruzes de interferência quando observados, sob luz polariza-

da, ao microscópio (75). Apresentam também cristalinidade, dando origem a padrões característicos de difração de raios X (42). Ambos os fenômenos estão relacionados com a existência de regiões de alto grau de organização molecular. Pouco se sabe ainda sobre a maneira como a amilose, a amilopectina e os materiais intermediários se combinam para formar o grânulo de amido; admite-se que as regiões cristalinas são formadas por moléculas lineares e porções lineares de moléculas ramificadas que se dispõem ordenadamente, associadas entre si por pontes de hidrogênio. As regiões onde as moléculas se entrecruzam de maneira desordenada correspondem às áreas amorfas ou de baixo grau de cristalinidade (8, 28).

Os grânulos de amido em seu estado natural são muito resistentes ao ataque de enzimas amilolíticas, tendo por isso limitado valor nutricional (59). São também insolúveis, e sua capacidade de absorver água reversivelmente é reduzida (4). Quando se expõe uma suspensão aquosa de amido à ação de calor ou determinados agentes químicos, ocorre um enfraquecimento da rede micelar, seguido pela absorção de grandes quantidades de água e conseqüente aumento de volume dos grânulos. Este processo, atribuído à afinidade química entre as moléculas de amido e de solvente chama-se gelatinização, e é irreversível (41, 42).

À medida que se aquece uma suspensão aquosa de amido, a partir de uma certa temperatura crítica, as ligações de hidro

gênio se enfraquecem, e os grânulos de amido começam a se hidratar. Há evidências de que, inicialmente, se rompem as ligações do hidrogênio mais fracas, presentes nas áreas amorfas dos grânulos; com o aumento progressivo da temperatura, o processo se estende às áreas micelares, resultando em rápido entumescimento, absorção de grande quantidade de água e notável aumento da viscosidade. Observa-se também perda das cruzes características da polarização e aumento da transmitância óptica. Moléculas hidratadas são arrastadas e difundidas pela solução. Se agitação ou outro tipo de ação mecânica for exercida sobre a suspensão, ocorrerá rompimento dos grânulos, proporcional à ação exercida (41, 42).

Com o passar do tempo, as pastas de amido sofrem exponencialmente uma série de transformações. Observa-se perda de transparência, expulsão de água e aumento na resistência à hidrólise enzimática, como decorrência da tendência das moléculas em se rearranjar de maneira mais ordenada. O conjunto de fenômenos, chamado retrogradação, é basicamente um processo de cristalização que pode ser observado através de mudanças nos padrões de difração de raios X, e explicado com base na forte tendência de grupos hidroxila de moléculas adjacentes em formar pontes de hidrogênio. A taxa de retrogradação depende da concentração e grau de pureza da amostra, temperatura, concentração de íons hidrogênio e tamanho das moléculas. Admite-se que a retrogradação é devida fundamentalmente às moléculas

lineares, embora moléculas ramificadas, longas o suficiente para sofrer algum grau de associação, também participem do processo (18, 19, 64). De acordo com Whistler e Johnson (73), há uma faixa de tamanho ideal de cadeia linear, acima ou abaixo do qual o processo é dificultado pela mobilidade reduzida ou excessiva das moléculas. Zakiuddin e Bhattacharya (76) estudaram a retrogradação do amido em amostras de arroz, e observaram que a mobilidade das moléculas é afetada pela temperatura e pela umidade, sugerindo existir uma faixa de valores ótimo para ambas as variáveis, dentro dos limites da qual a retrogradação é mais favorecida.

2. Avaliação do grau de gelatinização

O grau de gelatinização do amido pode ser medido por inúmeros métodos, com base em variados princípios funcionais, tais como perda de birrefringência (41), absorção de corantes (34), solubilidade (48), transparência (13), padrões de difração de raios X (20), sensibilidade à ação enzimática (68) e outros. Chiang e Johnson (18) revisaram os métodos empregados, e propuseram o emprego conjunto de enzima e corante, em um método que advogam ser simples e econômico. Métodos de avaliação com base em alterações da viscosidade são bastante difundidos. O comportamento viscosimétrico de suspensões de amido, com relação a variações de temperatura, pode ser estudado em instrumentos especialmente desenvolvidos para este fim, tais como o

viscoamilógrafo Brabender (5). A análise das curvas obtidas fornece informações valiosas sobre as características dos amidos. Cada espécie vegetal apresenta uma curva característica, que é influenciada pela concentração e grau de pureza da amostra (5, 53). Osmán e Dix (52) e Schoch (62) estudaram a gelatinização do amido com auxílio do viscoamilógrafo Brabender, e Mentovay e Schmitz (47), utilizando o mesmo aparelho, propuseram um método quantitativo para medida do grau de gelatinização de farinhas de milho. Ferrel e Pence (23) desenvolveram um método semelhante para medir a gelatinização de farinhas de arroz.

As curvas obtidas no viscoamilógrafo Brabender para suspensões aquosas de amido de arroz mostram o comportamento característico dos cereais não-cerosos: aumento moderado de viscosidade, até atingir um pico de gelatinização, no ciclo de aquecimento; ligeira queda de viscosidade durante o ciclo de temperatura constante e pronunciado aumento de viscosidade no decorrer do ciclo de resfriamento, indício de alta taxa de retrogradação (63). A temperatura de gelatinização, definida como a temperatura em que os grânulos começam a entumescer e perder suas cruces de interferência sob luz polarizada, é função da variedade de arroz, e varia em uma faixa de 8 a 12°C, já que nem todos os grânulos de uma amostra entumescem exatamente à mesma temperatura (41). Segundo Juliano et al (36), a temperatura final de gelatinização pode variar entre 62 e 76°C.

3. Métodos industriais de gelatinização

Farinhas pré-gelatinizadas são obtidas em escala industrial por processos de extrusão ou secagem em rolos. A utilização de "spray-dryers" é economicamente limitada, porque a alta viscosidade das pastas de amido exige secagem a baixo teor de sólidos (17).

No processo de extrusão, a farinha previamente condicionada a um nível adequado de umidade é submetida à ação conjunta de calor e atrito mecânico, no interior de um cilindro provido de um parafuso sem fim. A temperatura interna é controlada através da injeção de água ou vapor na camisa que envolve o cilindro. Na extremidade, encontra-se uma matriz perfurada; o material se expande, ao abandonar o cilindro, no interior do qual estava submetido a alta pressão. O grau de gelatinização pode ser controlado pela manipulação de uma ou mais das seguintes variáveis: tempo de residência, temperatura, taxa de compressão, umidade da amostra, tamanho das partículas e atrito mecânico. Através da seleção e emprego das variáveis adequadas, pode-se obter produtos de diferentes propriedades funcionais. É geralmente muito boa a qualidade microbiológica dos produtos (17, 48, 51, 66).

Rolos secadores de superfície aquecida são empregados para a produção de farinhas pré-gelatinizadas. Diversos arranjos podem ser utilizados, sendo preferidos os rolos duplos com

alimentação tipo "vale". Embora se obtenha produtos de boas qualidades funcionais, esta classe de equipamento apresenta certas desvantagens inerentes, tais como: alto custo dos produtos, devido à baixa eficiência, baixa produção, dificuldade de operação, necessidade constante de manutenção e ajuste (27, 38).

4. Características e usos

Farinhas pré-gelatinizadas dispersam mais facilmente e absorvem mais água que suas correspondentes não tratadas. Observa-se a formação de gel à temperatura ambiente e menor tendência à deposição (55, 56).

Em alimentos, farinhas ou amidos pré-gelatinizados são empregados sempre que se deseja obter espessamento ou retenção de água sem emprego de calor, como no caso de pudins, misturas lácteas instantâneas e alimentos para desjejum (56). Petersen (55) descreve diversas patentes nas quais amidos pré-gelatinizados são empregados na preparação de sobremesas espumantes, pudins instantâneos, alimentos infantis de fácil digestão e agentes espessantes para alimentos pré-cozidos. Powell (56) descreve o emprego de farinhas pré-gelatinizadas na preparação de misturas prontas panificáveis, onde o aumento de absorção e retenção de água melhora a qualidade dos produtos. Amidos pré-gelatinizados são empregados com sucesso na preparação de recheios para tortas de frutas; dispensa-se o uso de

calor, facilitando o processo e aumentando a retenção de aromas. Na indústria de derivados de carne, são utilizados com a função de aglutinante (56). Farinhas pré-gelatinizadas de cereais são empregadas na preparação de misturas instantâneas - destinadas à alimentação infantil, e além de afetar favoravelmente as propriedades funcionais, representam a mais importante fonte calórica desta classe de produtos (4, 54). No Brasil, a recente expansão das campanhas oficiais de assistência alimentar a escolares e outros grupos da população representa uma crescente demanda por uma classe de produtos onde a adição de farinhas pré-gelatinizadas se faz indispensável (8). Mottern et col (50) utilizaram farinha pré-gelatinizada de arroz, em conjunto com farinhas de oleaginosas, na preparação de bebidas e mingaus, concluindo que a taxa de dispersão em água pode ser controlada pelo tamanho das partículas, e o emprego de altas concentrações de farinha de arroz torna possível manter a farinha de oleaginosa em suspensão, sem produzir viscosidade excessiva. Devido a seu sabor pouco acentuado, produtos de arroz polido prestam-se bem à adição de variados sabores.

Kerr (38) descreve cerca de vinte diferentes aplicações não alimentares dos amidos e farinhas pré-gelatinizadas, envolvendo produtos de variados setores industriais, tais como medicamentos, explosivos, adesivos, detergentes, tecidos, compostos para tratamento de água e outros. Nas fundições, fari-

nhas pré-gelatinizadas são empregadas como agente aglutinante, em mistura com a areia, na preparação de moldes, dando origem a peças de acabamento mais perfeito. Na prospecção de poços de petróleo, são utilizadas com a função de resfriar as perfuratrizes e estabilizar as paredes recém-formadas. Na produção de papel, como adesivo de fibras. Na indústria têxtil, como agente encorpador. Na metalurgia, como agente floculante, no processo de purificação e concentração de diversos minérios. Na indústria em geral, como adesivo de embalagens (38, 56).

D. MODIFICAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS

As características de gelatinização e retrogradação das pastas de amido podem ser consideravelmente modificadas por diversos agentes químicos tais como ácidos, álcalis, sais inorgânicos, proteínas e gorduras (53). Determinados tipos de enzimas, particularmente as α -amilases, são também capazes de causar pronunciadas modificações (59).

1. Modificações por agentes químicos

Amidos modificados por ação de ácidos são produzidos industrialmente desde o início do século, e apresentam maior solubilidade em água quente e menor viscosidade, sendo largamente empregados em fabricação de papel e engomagem industrial de

tecidos (65). Leach et col (44) estudaram a gelatinização do amido em meio alcalino, à temperatura ambiente, concluindo que o fenômeno só ocorre após a absorção de uma certa concentração crítica de álcali, e depende das proporções relativas entre água, amido e base. Mangels e Bailey (46) estudaram o efeito causado por diversos eletrólitos sobre o grau de gelatinização, o qual varia com a espécie química e com a concentração. Alguns eletrólitos favorecem a gelatinização, enquanto outros têm ação inibidora. Seu efeito característico é atribuído à capacidade de afetarem a disposição espacial das moléculas de água; íons fortemente hidratados parecem aumentar seu grau de organização, e vice-versa (20, 53). Amidos tratados com fosfatos e outros agentes capazes de produzir ligações cruzadas apresentam resistência ao entumescimento e à retrogradação, espessando sem formar gel. Esta classe de produtos é ideal para alimentos enlatados, por apresentar excepcional resistência às temperaturas de esterilização e a variações de acidez do meio (33). Krog (40) investigou a influência de monoglicérides sobre as características de viscosidade de diversos amidos, concluindo que os resultados eram grandemente influenciados por variações de pH ou pela presença de determinados íons. Osmán e Dix (52) estudaram o efeito da adição de gorduras saturadas e insaturadas e agentes tênsio-ativos não-iônicos. Onze gorduras naturais, submetidas a teste, não apresentaram diferenças significativas com relação ao efeito causado sobre as características de gelatinização. A incorpora-

ção posterior de agentes tênsio-ativos ao sistema amido-gordura-água causou profundas alterações nas características de viscosidade, bem como na temperatura inicial de gelatinização.

2. Modificação por enzimas

Enzimas são compostos sintetizados pelas células vivas que agem reduzindo a energia de ativação de reações termodinamicamente possíveis, embora a energia livre e a constante de equilíbrio permaneçam inalteradas (59). As propriedades catalíticas das enzimas são diretamente afetadas pelo contato com agentes capazes de causar desnaturação em proteínas, tais como calor, ácidos ou álcalis fortes, solventes orgânicos, etc. A velocidade das reações catalizadas por enzimas aumenta à medida que se eleva a temperatura, duplicando aproximadamente a cada 10°C. Entretanto, a partir de uma temperatura crítica, característica para cada enzima, ocorrem alterações na conformação molecular. A temperatura ótima de ação das enzimas, observada nas curvas temperatura-atividade, é resultante do equilíbrio entre dois fenômenos de efeitos opostos, decorrentes da elevação de temperatura: o aumento da atividade e a desnaturação. A consequência mais imediata da desnaturação térmica é a perda da atividade biológica, ou seja, do poder catalítico específico (14, 45, 59, 60).

As enzimas capazes de hidrolizar o amido recebem a denominação genérica de amilases. Os termos α e β amilase são aplicados

cados a duas enzimas específicas que foram as primeiras amilases identificadas e isoladas (29, 59).

A α -amilase (α -1,4-glucan-4-gluconohidrolase) é uma enzima que rompe as ligações glucosídicas α -1,4 aparentemente ao acaso, levando a uma rápida redução na viscosidade, perda da capacidade corante com iodo e aumento do poder redutor. Os produtos do ataque de α -amilases a suspensões do amido são dextrinas de variado peso molecular; se a ação for prolongada, os produtos serão uma mistura de glicose, maltose e pequenas quantidades de isomaltotriose, uma vez que as α -amilases não conseguem hidrolisar as ligações glucosídicas α -1,6 (11, 29, 59). As α -amilases estão largamente distribuídas na natureza, sendo encontradas em plantas, órgãos digestivos de animais, bactérias e fungos.

A susceptibilidade do amido à digestão enzimática é assunto de grande interesse industrial. Os grânulos de amido natural são bastante resistentes ao ataque por parte de enzimas, embora não completamente inertes (59). Walker e Hope (71) relataram que a ação de uma α -amilase de origem fúngica sobre amido pré-gelatinizado de milho, era 120.000 vezes mais rápida que sobre o mesmo amido não tratado, nas mesmas condições de teste. No grânulo natural, o ataque enzimático é dificultado pela intensidade das associações moleculares; a gelatinização vai provocar um enfraquecimento da rede micelar, tornando possível a ação das enzimas (53, 59). A maioria dos amidos co

merciais gelatiniza acima de 80°C, e conseqüentemente, muitas aplicações industriais exigem enzimas capazes de agir nesta faixa de temperatura. Preparações enzimáticas de origem bacteriana são as que apresentam mais alta temperatura de atividade e melhor resistem à desnaturação térmica (11, 59). Enzimas capazes de agir a 80-90°C são preparadas a partir de B. subtilis (59). Barfoed (11) descreve uma enzima isolada a partir de B. licheniformis, estável o suficiente para atuar em uma faixa de temperatura da ordem de 95-110°C.

A β -amilase (α -1,4-glucan-maltohidrolase) é uma exoenzima que age hidrolisando as ligações glucosídicas α -1,4 produzindo elevadas quantidades de maltose e uma fração denominada dextrina-límite, uma vez que esta enzima não é capaz de hidrolisar as ligações glucosídicas α -1,6. As β -amilases parecem ocorrer somente em tecidos vegetais, sendo o malte de cevada, o trigo, a soja e a batata doce suas fontes mais conhecidas. O mecanismo de ação das β -amilases tem sido estudado em detalhe, observando-se que oligossacarídeos que possuam somente ligações α -1,4 e número par de unidades de glicose são completamente transformados em maltose; se o número for ímpar, há a formação de maltose e uma molécula de glicose. Observou-se também que velocidade de hidrólise tende a diminuir à medida que progride a reação; oligossacarídeos são mais rapidamente hidrolisados que tri, tetra e pentassacarídeos (26, 43, 59).

Glucoamilase ou amiloglucosidase (α -1,4-glucan glucohi-

drolase) é uma enzima altamente sacarificante produzida pelos fungos A. orizae e A. níger. Glucoamilase cataliza a hidrólise de ambas as ligações glucosídicas α -1,4 e α -1,6, produzindo glucose e dextrinas de variado peso molecular; sua ação extensiva leva à produção quase exclusiva de glicose. A temperatura ótima de ação da glucoamilase situa-se na faixa de 50 a 60°C (39, 43, 59).

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. MATERIAIS

1. Matérias-primas e reagentes

Quirera de arroz, variedade IAC-420, safra 1978, procedente da região de Bariri (SP);

Amilase bacteriana comercial termoestável em pó "Tenase", procedência Laboratório Miles (SP, efetiva até 90°C, temperatura ótima de ação (a pH 6,0) 65-75°C (apêndice 1) inativação (a pH 5,0-7,5) por 10 a 20 minutos de exposição a 90-100°C;

Reagentes de laboratório, de grau de pureza exigida pelos métodos para determinação de composição química.

2. Equipamentos

Autoclave "Dixie" modelo RD-TI-3, acionada por sistema de comando automático programável "Taylor";

Estufa Fanem com circulação forçada de ar e controle de temperatura;

Moinho Brabender, modelo Quadrumat Senior;

Viscoamilógrafo Brabender com cartucho de sensibilidade de 700 cmg;

Banho-maria com controle de temperatura;

Centrífuga Damon/IEC, modelo IEC HN-S;

Conjunto para extração de gorduras tipo Goldfish;

Conjunto para determinação de proteínas tipo Kjeldahl;

Forno para calcinação (mufla);

Determinador semi-automático de umidade Brabender;

Conjunto para análise granulométrica mecanizado "Pro-
dustest";

Vidraria comum de laboratório.

B. MÉTODOS ANALÍTICOS

1. Determinação das características de viscosidade

a. Obtenção de viscoamilogramas

Em todas as análises utilizou-se 56,25 gramas de amostra (base de 14% de umidade), exceto para estudo do efeito da concentração sobre a viscosidade da farinha de quirera, quando se utilizou 45, 50, 63, 56, 25 e 67,5 gramas de amostra (base de 14% de umidade). Sempre que a umidade da amostra era diferente de 14%, fez-se as devidas correções (1). As amostras foram misturadas com 450 ml de água destilada, de maneira a se obter suspensões homogêneas e livres de grumos. As suspensões foram transferidas ao viscoamilógrafo, obtendo-se as curvas correspondentes através de um ciclo de aquecimento

de 25 a 95°C, manutenção por 20 minutos a 95°C, e um ciclo de resfriamento até 50°C, com taxas de aquecimento e resfriamento constantes de 1,5°C por minuto, e velocidade de agitação 75 rpm.

b. Avaliação dos viscoamilogramas

- i. Temperatura inicial de gelatinização: é a temperatura da suspensão no instante em que se observa aumento de viscosidade, durante o ciclo de aquecimento, expressa em °C.
- ii. Temperatura de viscosidade máxima: é a temperatura na qual a suspensão atinge o valor máximo de viscosidade, durante o ciclo de aquecimento, expressa em °C.
- iii. Viscosidade inicial: é o valor da viscosidade da suspensão, em unidades amilográficas (U.A.) no início do ciclo de aquecimento.
- iv. Viscosidade máxima: é o valor máximo, em U.A., que a viscosidade atinge durante o ciclo de aquecimento.
- v. Viscosidade a 95°C: é o valor da viscosidade, em U.A., ao final do ciclo de aquecimento.
- vi. Viscosidade ao final do ciclo de temperatura constante: é o valor da viscosidade, em U.A., após 20 minutos a 95°C.

vii. Viscosidade final a 50°C: é o valor da viscosidade, em U.A., ao final do ciclo de resfriamento.

2. Determinação da atividade de α -amilase

a. Atividade da preparação enzimática

A atividade da preparação enzimática utilizada nos ensaios foi determinada segundo o método da AATCC (24). A atividade da enzima foi expressa em termos da Unidade de Amilase Bacteriana (UAB), que é a atividade capaz de dextrinizar 1,0 miligrama de amido por minuto, nas condições do teste (24).

b. Atividade enzimática nas farinhas

Amostras de 100 gramas de farinha foram misturadas com 1 litro de água destilada a 25°C, agitadas vigorosamente por 5 minutos e centrifugadas a 1000 rpm por 5 minutos. Alíquotas de 300 ml de sobrenadante foram submetidas à liofilização, e posteriormente diluídas com 15 ml de água destilada, obtendo-se um fator de concentração de 20 vezes. A atividade de α -amilase foi pesquisada neste substrato segundo o método da AATCC (24).

3. Índice de absorção de água e solubilidade em água

Os índices de absorção de água e solubilidade em água das amostras foram determinados empregando-se a metodologia

descrita por Anderson et al (3): uma amostra de farinha de 2,5 g (tamanho de partícula menor que 150 μ) é suspensa em 30ml de água destilada a 30 $^{\circ}$ C, em um tubo de centrífuga de 50 ml previamente pesado. A suspensão é mantida a 30 $^{\circ}$ C por 30 minutos, sendo submetida a agitação intermitente durante este período. Em seguida, a suspensão é centrifugada a 3000xG por 10 minutos, o sobrenadante é cuidadosamente separado e o peso do resíduo sólido é determinado. O sobrenadante é evaporado em estufa a 105 $^{\circ}$ C até peso constante e pesado.

O índice de absorção de água é expresso como a relação entre o peso de resíduo e o peso seco da amostra, ao qual se subtrai o peso do resíduo de evaporação do sobrenadante.

$$IAA = \frac{\text{peso do resíduo de centrifugação}}{\text{peso seco da amostra} - \text{peso do resíduo de evaporação}}$$

O índice de solubilidade em água é expresso como a relação entre o peso do resíduo de evaporação e o peso seco da amostra.

$$ISA = \frac{\text{peso do resíduo de evaporação}}{\text{peso seco da amostra}}$$

4. Granulometria

A determinação do diâmetro médio das partículas de qui-

rera obedeceu a metodologia descrita por Henderson e Perry (30). Utilizou-se amostras de 100 gramas e 10 minutos de agitação na intensidade máxima de vibração do aparelho. Para o cálculo do diâmetro médio utilizou-se a expressão

$$\phi = 104,14 \times 2^{mf}$$

onde

ϕ é o diâmetro médio, expresso em micron

e

mf é o módulo de finura, que é função da distribuição de tamanho do material analisado.

5. Açúcares redutores e totais

O conteúdo de açúcares redutores e totais foi determinado pelo método AACC nº 80-60 (1). Os resultados foram expressos, em miligramas de glicose por 100 gramas de farinha em base seca.

6. Proteína

O conteúdo de nitrogênio foi determinado pelo método Kjeldahl, método AACC nº 46-10 (1). O teor de proteína foi calculado multiplicando-se o nitrogênio total pelo fator 5,95 (37).

7. Matéria Graxa

O conteúdo de matéria graxa foi determinado após extração com éter de petróleo, em aparelho Goldfish (método AACC nº 30-20 (1)).

8. Cinzas

O conteúdo de cinzas foi determinado por calcinação em mufla, por 2 horas a 600°C, método AACC nº 8-3 (1).

9. Umidade

Para amostras com teor de umidade inferior a 13%, empregou-se o método AACC nº 45-15A (1) (1 hora em estufa com ventilação forçada a 130°C).

Para amostras com teor de umidade superior a 13%, empregou-se o método AACC nº 44-18 (1), de dois estágios. No primeiro, as amostras são colocadas em estufa à temperatura máxima de 40°C, até atingir umidade igual ou inferior a 13%, no segundo estágio, as amostras são tratadas por 1 hora a 130°C em estufa com ventilação forçada.

10. Sólidos totais

O conteúdo total de sólidos da água de maceração foi determinado pelo método AACC nº 14.002 (6).

11. pH

O pH das amostras foi determinado por método potenciométrico, AACC nº 02-52 (1).

C. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

1. Desenvolvimento de um processo para gelatinização da quirera de arroz

a. Determinação da taxa de hidratação

Amostras de 1,0 kg de quirera de arroz foram maceradas com 20 litros de água destilada, por 4 horas, em recipiente plástico mantido em banho equipado com controle termostático. Os experimentos foram conduzidos a $25 \pm 1,0$ e $50 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$, e a água de maceração foi previamente condicionada a estas temperaturas antes de ser adicionada. A intervalos definidos de tempo retirou-se alíquotas que foram drenadas, secas em papel absorvente de maneira a remover a água livre superficial e submetidas à determinação do conteúdo de umidade.

b. Tratamento térmico para gelatinização

Amostras de 1,0 kg de quirera de arroz foram maceradas com 2,0 litros de água destilada a $25 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ por 30 minutos, drenadas em cesto de arame de malha 1 mm (espessura de camada 3-4cm) e imediatamente tratadas com vapor por diversos perío-

dos de tempo, em autoclave previamente programada para atingir a temperatura desejada em 3 minutos. Dois tipos de tratamento térmico foram realizados, um a pressão ambiente e outro à pressão de $1,94 \text{ kg/cm}^2$, correspondentes a temperaturas da ordem de 98 a 118°C , respectivamente. Decorrido o tempo de tratamento, esgotava-se o vapor da autoclave em 1 minuto e retirava-se imediatamente as amostras.

c. Secagem e moagem

As amostras tratadas termicamente eram retiradas da autoclave, resfriadas com ar sob pressão, espalhadas para evitar aglomeração das partículas e distribuídas em cestos de arame de malha 1 mm, formando camadas de aproximadamente 10 cm de espessura. As amostras foram submetidas à secagem sob circulação forçada de ar, em estufa de laboratório, por 14-18 horas a $40-45^\circ\text{C}$, de maneira a se obter teores de umidade nunca superiores a 13%, sendo em seguida moídas em moinho Brabender modelo Quadrumat Senior, passando pelas secções de quebra e redução, de maneira a se obter partículas menores que 150μ . Partículas maiores que 500μ , obtidas após passagem pela secção de quebra, foram separadas.

2. Modificação das características de gelatinização da químera de arroz pelo emprego de α -amilase

a. Determinação da concentração de α -amilase necessária para modificar as características de gelatinização

A partir de 56,25 gramas (base de 14% de umidade) de farinha de quirera e 450 ml de água destilada preparou-se suspensões às quais se adicionou α -amilase de modo a se obter concentrações da ordem de 1,0, 3,25, 6,5 e 32,5 UAB/grama de farinha, obtendo-se a seguir os viscoamilogramas correspondentes, de acordo com o procedimento descrito na secção B.1.a.

b. Determinação do grau de absorção da α -amilase pela quirera

Amostras de 1,0 kg de quirera de arroz foram maceradas com 2,0 litros de água, nos quais se havia previamente dissolvido quantidades de enzima necessárias para se obter concentrações da ordem de 4,0, 13,0 e 26,0 UAB/ml. Após 30 minutos de maceração a $25 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$, as amostras foram drenadas, transferidas para outros recipientes e lavadas por imersão, durante 15 segundos, com 2,0 litros de água destilada e novamente drenadas (em um ensaio prévio determinou-se serem estas as condições mais adequadas para a remoção dos depósitos superficiais de enzima). As amostras foram a seguir moídas e secas, determinando-se o grau de absorção da enzima com base nas modificações das características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera, determinadas a partir da análise

se dos viscoamilogramas correspondentes.

c. Efeito do tempo de pré-aquecimento sobre as características de gelatinização

Amostras de 1,0 kg de quirera de arroz, maceradas por 30 minutos a $25 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ com 2,0 litros de água em presença de 6,5 UAB por grama de quirera, foram colocadas em cestos de arame de malha 1 mm, formando camadas de 3 a 4 cm de espessura, e submetidas a tratamento térmico em autoclave. A temperatura foi elevada de maneira a atingir $85-90^{\circ}\text{C}$ em 1,0 minuto, sendo mantida nesta faixa por diversos períodos de tempo. A autoclave foi previamente programada para, uma vez decorrido o tempo desejado, atingir 118°C em 3,0 minutos, permanecendo nesta temperatura por 1,0 minuto. Após o tratamento térmico, as amostras foram imediatamente retiradas da autoclave, resfriadas, secas e moídas, conforme o procedimento descrito na secção C.l.c., correspondentes, de acordo com o procedimento descrito na secção B.l.a.

d. Efeito da concentração de α -amilase sobre as características de gelatinização

Amostras de 1,0 kg de quirera de arroz foram maceradas por 30 minutos a $25 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ com 2,0 litros de água destilada nas quais se havia previamente adicionado quantidades de α -amilase calculadas para se alcançar concentrações da ordem de

1,0, 3,25 e 6,5 UAB/grama de farinha. Após drenagem, as amostras foram colocadas em cestos de arame de malha 1 mm (espessura da camada 3-4 cm) e submetidas a tratamento térmico em autoclave. A temperatura foi elevada em 1,0 minuto até 85-90°C, mantida nesta faixa por 5,0 minutos, elevada em 3,0 minutos até 118°C e assim mantida por mais 1,0 minuto, após o que as amostras foram imediatamente retiradas da autoclave, resfriadas, secas e moídas, conforme o procedimento descrito na secção C.l.c., obtendo-se a seguir os viscoamilogramas correspondentes, de acordo com o procedimento descrito na secção B.l.a.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. CARACTERÍSTICAS DA QUIRERA DE ARROZ

1. Granulometria

A análise granulométrica da quirera mostrou os resultados apresentados na tabela I. Observou-se que 97,5% da amostra era constituída por partículas cujo diâmetro variava entre 1190 e 2380 μ . O diâmetro médio calculado para as partículas foi 1646 μ .

2. Composição Química

A composição química da quirera é apresentada na tabela II. Os resultados obtidos estão em concordância com os valores encontrados na literatura (16, 36, 74). Os componentes predominantes da quirera são carboidratos, que representam cerca de 87% do peso seco da amostra. O conteúdo de umidade era 12,7% e o pH, 6,1.

3. Viscosidade

A influência da concentração sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera é apresentada na tabela III. A temperatura inicial de gelatinização reduziu-se de 73,0 para 70^oC quando a concentração foi elevada de 12,5

TABELA I

Análise granulométrica da quirera de arroz

Sobre peneira Tyler nº	Tamanho de partícula (μ)	Retenção (%)
8	> 2380	0,5
14	1190 - 2380	97,5
28	590 - 1190	1,9
fundo	< 590	0,1

TABELA II

Composição química da quirera de arroz*

Componente	%
Carbohidrato	86,92
Cinza	0,75
Gordura	0,64
Proteína	11,69

*base seca

TABELA III

Efeito da concentração sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera

Concentração (g/100 ml)	Temperatura inicial de gelatinização (°C)	Temperatura de viscosi- dade máxima (°C)	Viscosidade máxima (U.A.)	Viscosidade após 20 min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade final a 50°C (U.A.)
10,00	73,0	93,5	430	310	730
11,25	73,0	93,5	590	370	860
12,50	73,0	93,5	800	470	>1000
15,00	70,0	-	>1000	610	>1000

para 15%, o que pode ser explicado pelo fato de a concentração de grânulos de amido capazes de gelatinizar a baixa temperatura ter atingido um nível capaz de ser detectado pelo viscoamílografo. Conforme esperado, os valores obtidos para viscosidade máxima, viscosidade após 20 minutos a 95°C e viscosidade final a 50°C aumentaram à medida que se elevava a concentração, até que, a 15%, os valores de viscosidade máxima e viscosidade final a 50°C excederam os limites do aparelho (figura 1). Observou-se que, durante o ciclo de aquecimento, a viscosidade das suspensões cresce de duas maneiras distintas, o que sugere a existência de diferentes graus de associação molecular nos grânulos de amido de arroz (5). Um pico de viscosidade é atingido a temperaturas próximas ao final do ciclo de aquecimento, fruto da expansão máxima dos grânulos entumescidos, seguido por uma redução da viscosidade decorrente do rompimento de parte dos grânulos por ação do calor e agitação mecânica. Posteriormente, ao final do ciclo de resfriamento, a viscosidade volta a se elevar, desta vez devido ao fenômeno de retrogradação. Os valores da viscosidade máxima e da viscosidade ao final do ciclo de temperatura constante observados estão direta e linearmente correlacionados à concentração (figura 2).

Através da análise das curvas viscosidade - concentração, escolheu-se 12,5% como a melhor concentração de trabalho, por proporcionar grande sensibilidade sem ultrapassar os limites operacionais do aparelho.

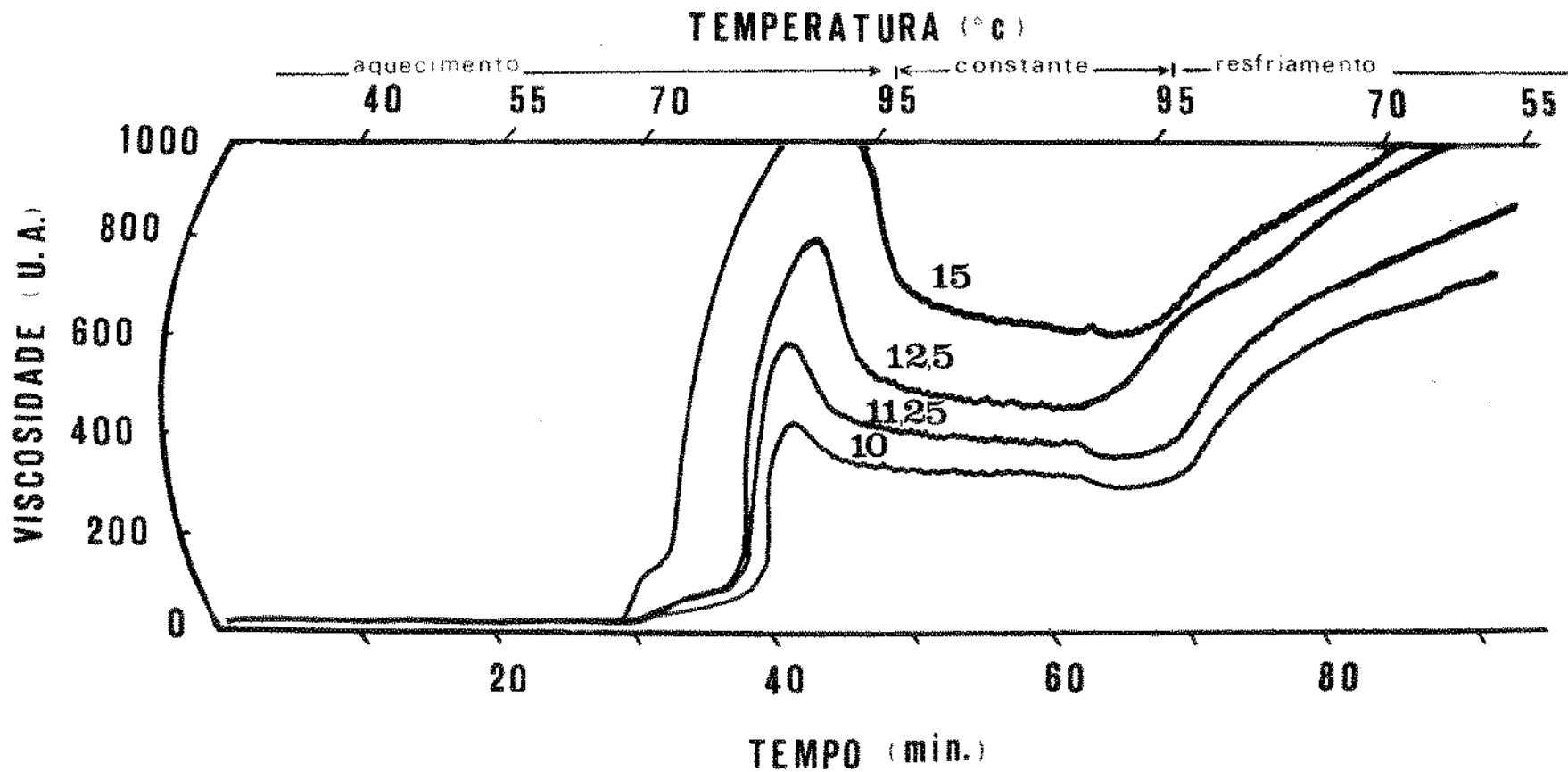


Figura 1. Efeito da concentração sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera.

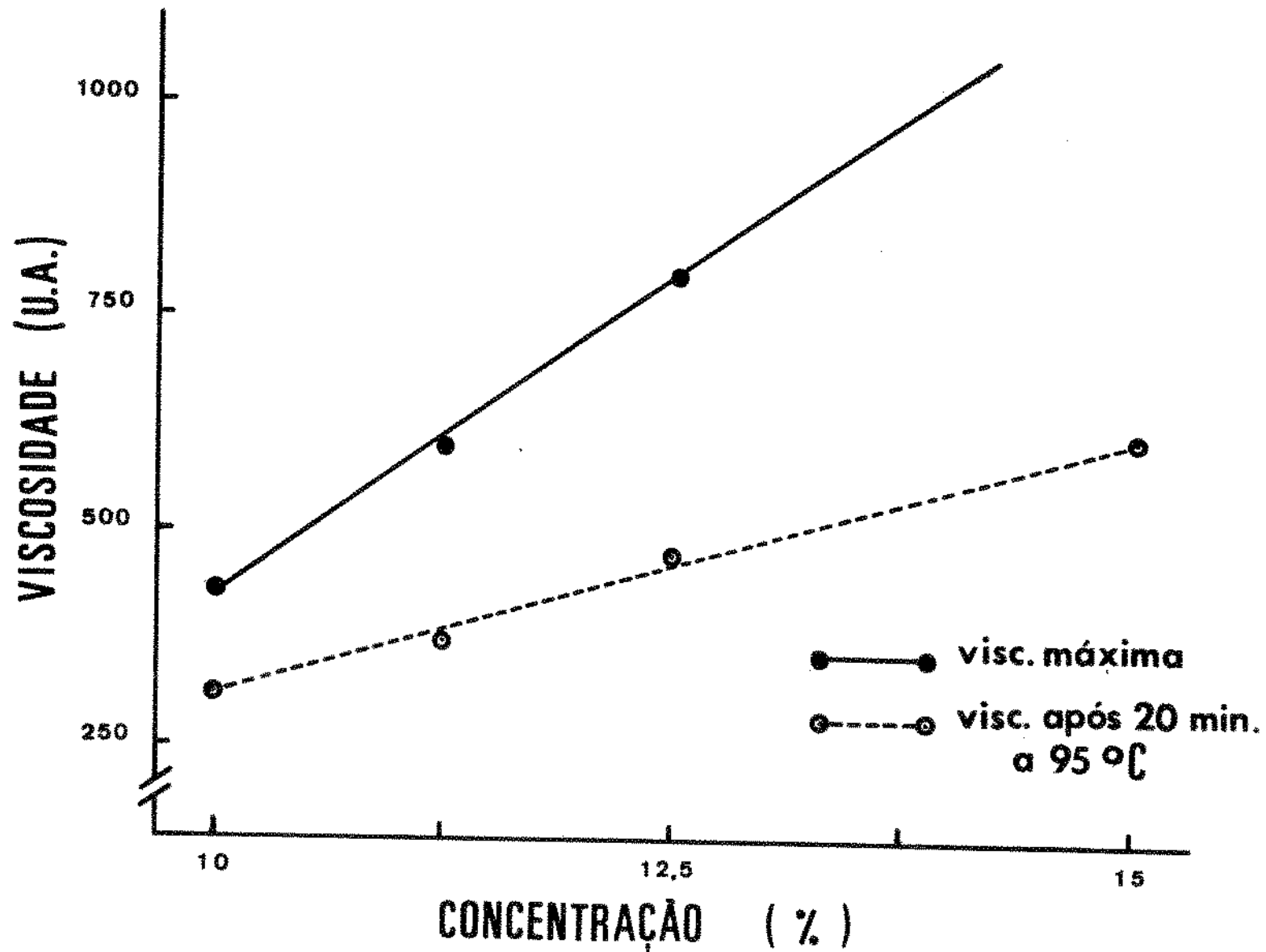


Figura 2. Correlação entre concentração e viscosidade das suspensões de farinha de quirera.

4. Solubilidade e absorção de água

A farinha de quirera apresentou um índice de solubilidade em água da ordem de 2,5. O valor baixo encontrado concorda com o fato de os componentes do arroz capazes de formar soluções estarem presentes em pequenas quantidades, conforme demonstram as análises de composição química. O índice de absorção de água apresentou valores da ordem de 2,8, o que significa uma capacidade da quirera em absorver uma quantidade de água de aproximadamente 1,8 vezes seu próprio peso seco.

5. Conteúdo de α -amilase

A presença de α -amilase nativa no grão de arroz foi levada em consideração. Segundo Houston (7) e Barber (10), que estudaram a distribuição de enzimas ao longo do grão de arroz, a α -amilase concentra-se nas camadas mais periféricas, sendo mínima sua ocorrência no endosperma amiláceo. Diversas amostras de farinha de quirera foram submetidas a análise, porém não se observou em nenhuma delas indícios de atividade de α -amilase. Estes resultados estão em concordância com a literatura (7, 10) uma vez que as camadas mais ricas nesta enzima são removidas por ocasião do beneficiamento comercial, podendo-se mesmo concluir que a presença de enzimas amilolíticas nas amostras em questão é desprezível.

B. DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO PARA GELATINIZAÇÃO DA QUIRERA DE ARROZ

Os materiais ricos em amido podem ser gelatinizados em variável extensão pela ação do calor; o grau de gelatinização alcançado depende diretamente da temperatura e tempo de exposição, bem como do conteúdo de umidade das amostras. Nos processos hidrotérmicos, os materiais não sofrem a ação de forças mecânicas de cisalhamento, e por este motivo, para que um grau de gelatinização adequado seja atingido, torna-se indispensável elevar-se o conteúdo de umidade das amostras antes de submetê-las à ação do calor. Este aumento do conteúdo de umidade pode ser alcançado através de uma maceração em água, em condições controladas de tempo e temperatura.

1. Efeito do tempo e da temperatura de maceração sobre as características de hidratação

As características de hidratação da quirera de arroz são apresentadas na tabela IV. Nos primeiros instantes de contato entre o material e a água, observou-se elevada absorção, e o conteúdo de umidade cresceu rapidamente. Com o decorrer do tempo, a absorção foi-se processando mais lentamente, até se atingir um ponto em que a umidade permaneceu praticamente constante. Amostras de quirera maceradas a 25°C duplicaram seu conteúdo de umidade em cerca de 8 minutos, e atingiram o equilíbrio por volta de 30 minutos (figura 3). Amostras maceradas a 50°C apresentaram uma taxa de absorção mais acentuada, duplicando sua umi

TABELA IV

Efeito da temperatura e do tempo de maceração sobre
o conteúdo de umidade da quirera

Tempo (min)	Umidade (%)	
	25°C	50°C
0	12,7	12,7
2	23,0	24,3
4	25,0	25,8
6	25,0	27,4
8	27,3	28,1
10	27,6	28,4
30	29,2	28,8
60	29,0	29,7
240	30,3	29,8

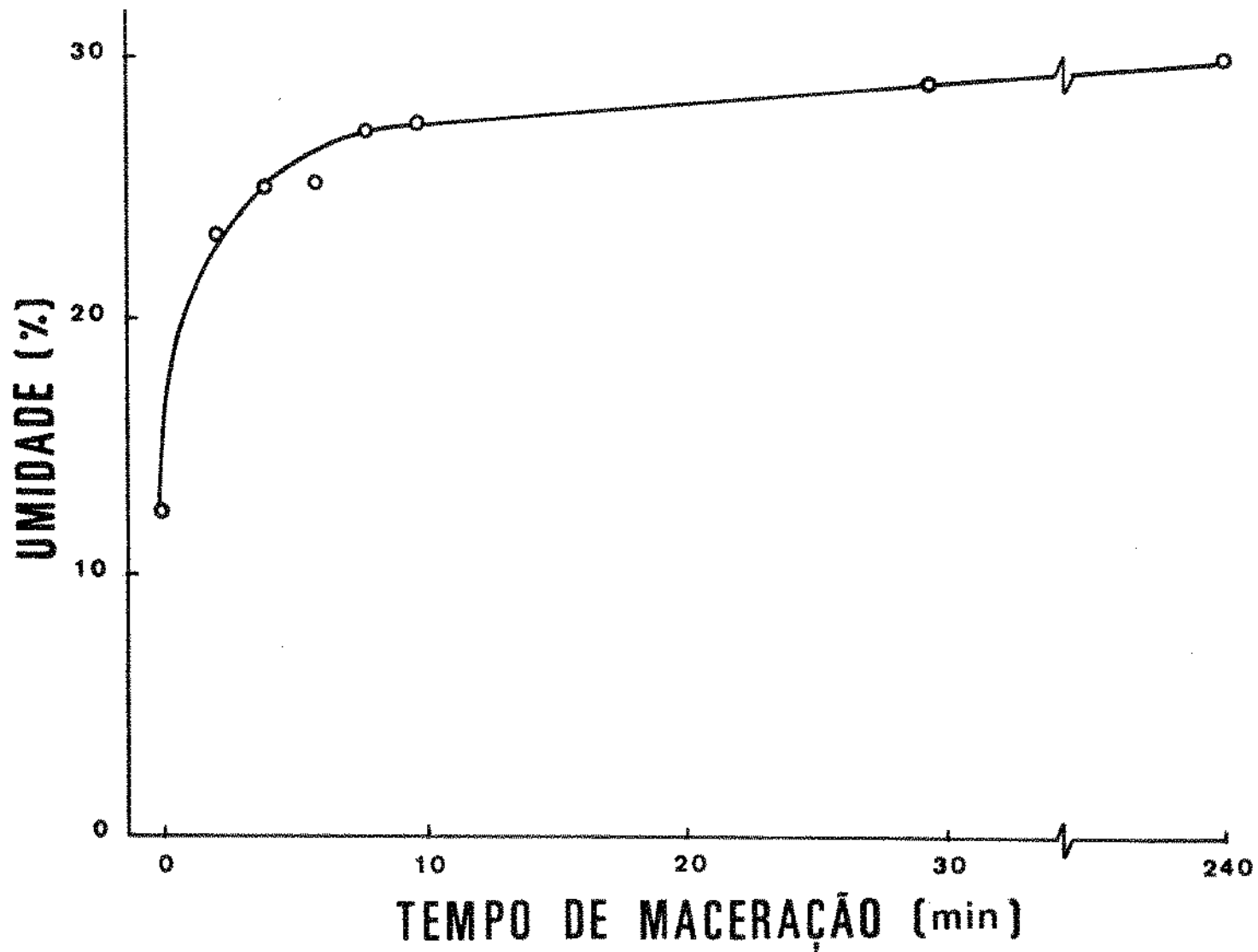


Figura 3. Efeito do tempo de maceração a 25°C sobre o conteúdo de umidade da quireira.

dade em cerca de 4 minutos e atingindo o equilíbrio em torno de 10 minutos (figura 4). A umidade de equilíbrio mostrou não ser dependente das temperaturas de maceração ensaiadas, situando-se em valores próximos a 30%, correspondendo a uma absorção de cerca de 247 gramas de água por kg de quirera macerada (umidade inicial 12,7%). Os resultados obtidos indicam que a quirera de arroz é uma matéria prima facilmente hidratável, o que constitui uma qualidade desejável para a produção industrial de farinha pré-gelatinizada.

Logo nos primeiros minutos do processo de maceração ocorreu uma turvação da fase aquosa, decorrente da solubilização de materiais contidos nos grãos de arroz. A quantidade de material que se dispersa foi determinada, observando-se, que tanto a 25°C quanto a 50°C as perdas alcançaram valores próximos a 1,8%, podendo-se concluir que as perdas ocorridas na maceração são pequenas do ponto de vista quantitativo, não sendo influenciadas pelas temperaturas ensaiadas.

2. Efeito do tratamento térmico sobre o grau de gelatinização

O amido exposto à ação de calor sofre gelatinização, e a extensão do fenômeno pode ser controlada alterando-se o tempo e a temperatura de exposição. O efeito do calor sobre o grau de gelatinização da quirera de arroz foi investigado, submetendo-se amostras previamente maceradas até a saturação a diferentes tempos de tratamento térmico e avaliando-se as proprieda-

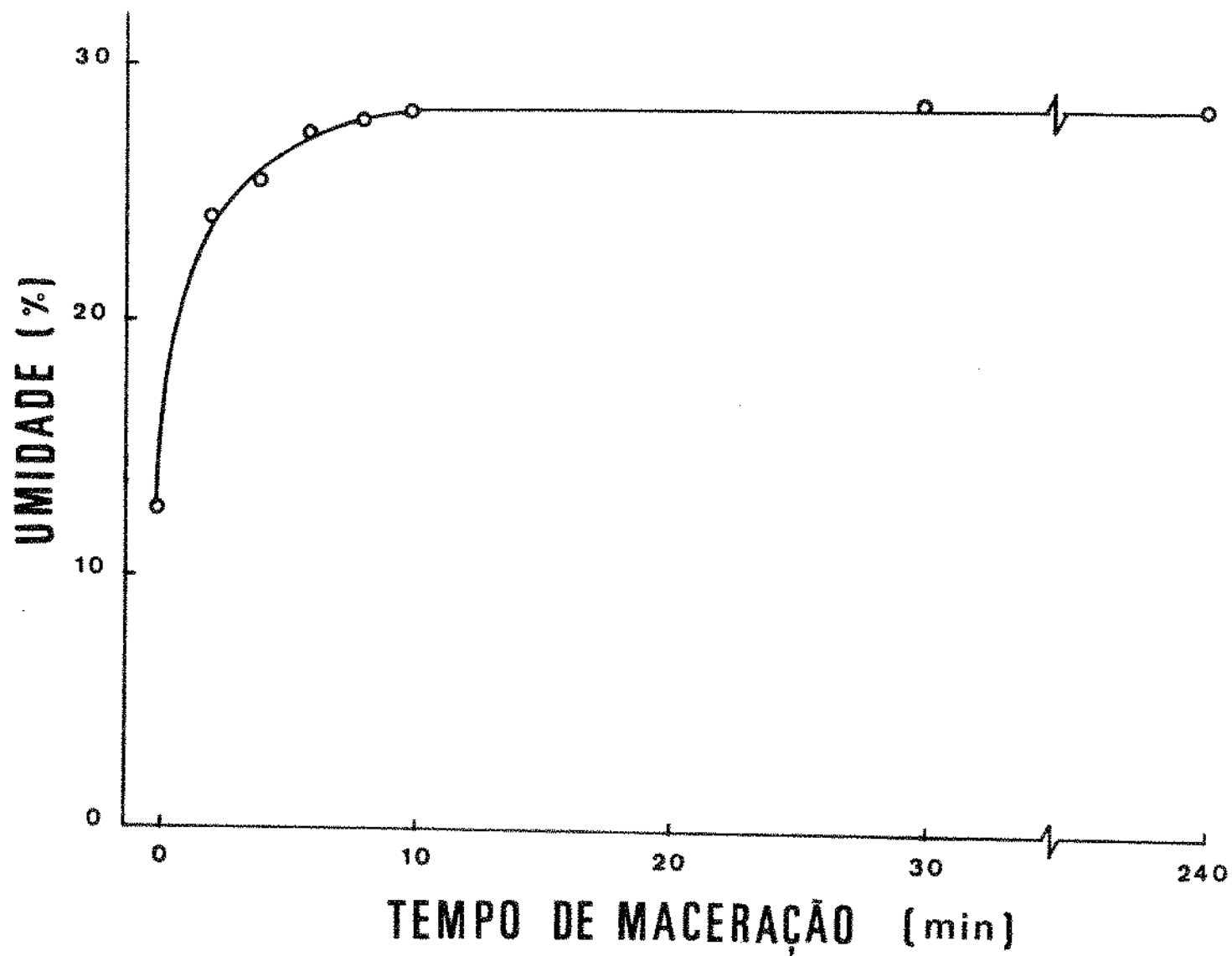


Figura 4. Efeito do tempo de maceração a 50°C sobre o conteúdo de umidade da quirera.

des de suas farinhas. Com o objetivo de melhor compreender o comportamento da quirera de arroz submetida à ação de calor, duas temperaturas distintas foram empregadas: 98 e 118°C.

a. Tratamento térmico a 98°C

O efeito do tratamento térmico a 98°C sobre o grau de gelatinização da quirera de arroz foi estudado através de modificações nas características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera e no grau de solubilidade e absorção de água observados.

i. Características de viscosidade

O efeito de diferentes tempos de tratamento térmico sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada é apresentado na tabela V. Observou-se que a temperatura inicial de gelatinização sofreu redução com o aumento do tempo de tratamento, indicando um enfraquecimento da rede micelar dos grânulos de amido, enquanto que a temperatura de viscosidade máxima não se alterou ao longo do tempo. Todos os tempos de tratamento causaram apreciável redução na viscosidade máxima das suspensões; com base nestes valores, os tratamentos podem ser dispostos em três grupos, respectivamente de 1-5, 8-12 e 15-30 minutos (figura 5). Entre os três grupos, o grau de gelatinização causado mostrou-se proporcional ao tempo de tratamento. O terceiro grupo apresentou os menores valores de viscosidade máxima e viscosidade após 20 mi

TABELA V

Efeito do tempo de tratamento térmico sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada a 98°C

Tempo (min)	Temperatura inicial de gelatinização (°C)	Temperatura de viscosidade máxima (°C)	Viscosidade máxima (U.A.)	Viscosidade após 20 min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade final a 50°C (U.A.)
0	73,0	93,5	800	470	>1000
1	71,5	95,0	590	520	>1000
5	71,5	95,0	570	520	>1000
8	71,5	95,0	490	460	>1000
12	65,5	95,0	470	450	>1000
15	65,5	95,0	380	380	940
30	52,0	95,0	360	380	850

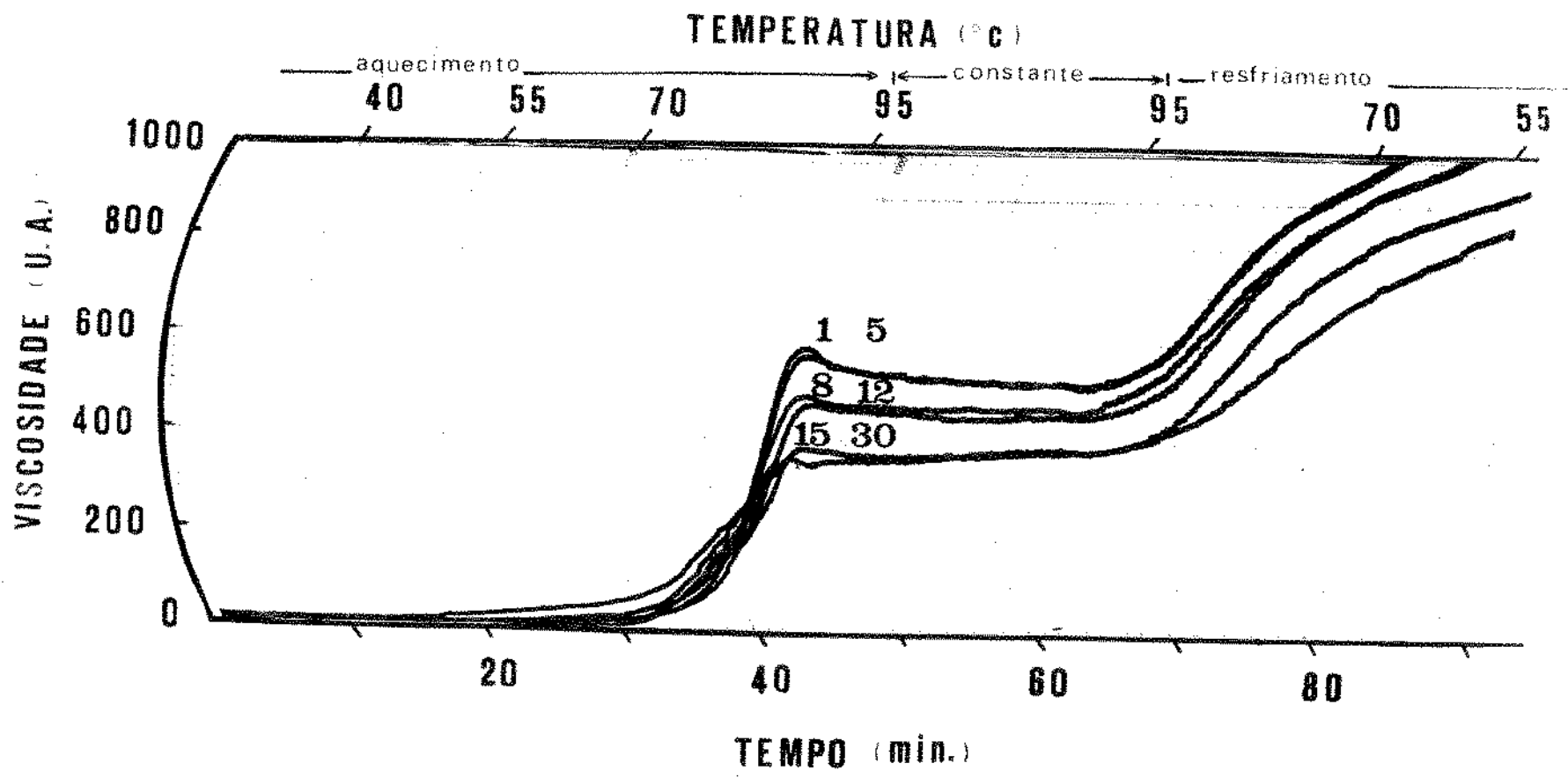


Figura 5. Efeito do tempo de tratamento térmico sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada a 98°C.

nutos a 95°C, bem como o valor para a diferença entre estes dois parâmetros; seus valores de viscosidade final a 50°C são também mais baixos. Estes resultados podem ser interpretados como decorrentes de transformações sofridas pela estrutura física dos grânulos de amido, de magnitude proporcional ao tempo de tratamento, e que se traduzem pela menor tendência ao entumescimento e à retrogradação observados nos viscoamilogramas, implicando nos valores de viscosidade mais baixos registrados.

ii. Características de solubilidade e absorção de água

Ao se preparar suspensões aquosas de farinhas de quirera pré-gelatinizada, verificou-se que esta classe de produtos se dispersava facilmente, apresentando mínima tendência a formar aglomerados. O efeito de diferentes tempos de tratamento sobre suas características de solubilidade e absorção de água é apresentado na tabela VI. Os resultados obtidos para o índice de solubilidade em água indicam ser muito pequena a quantidade de moléculas capazes de se solubilizar no decorrer dos diversos tempos de tratamento, confirmando ser mínima a dextrinização causada pelo processo. O ligeiro aumento observado com relação ao controle pode ser atribuído à presença de moléculas solúveis liberadas do interior dos grânulos de amido que sofreram gelatinização. O índice de absorção de água praticamente duplicou ao longo do primeiro minuto de tratamento (figura 6) passando de 2,8 a 5,1; a partir daí, aumentou suavemente com o tempo, atingindo valor mais elevado, 6,1, ao final do tempo

TABELA VI

Efeito do tempo de tratamento térmico sobre as características da solubilidade e absorção de água das farinhas de quireira pré-gelatinizada a 98°C

Tempo (min)	Índice de solubilidade em água	Índice de absorção de água
0	2,5	2,8
1	3,6	5,1
5	4,2	5,8
8	4,2	5,8
12	4,0	5,9
15	4,3	5,7
30	3,9	6,1

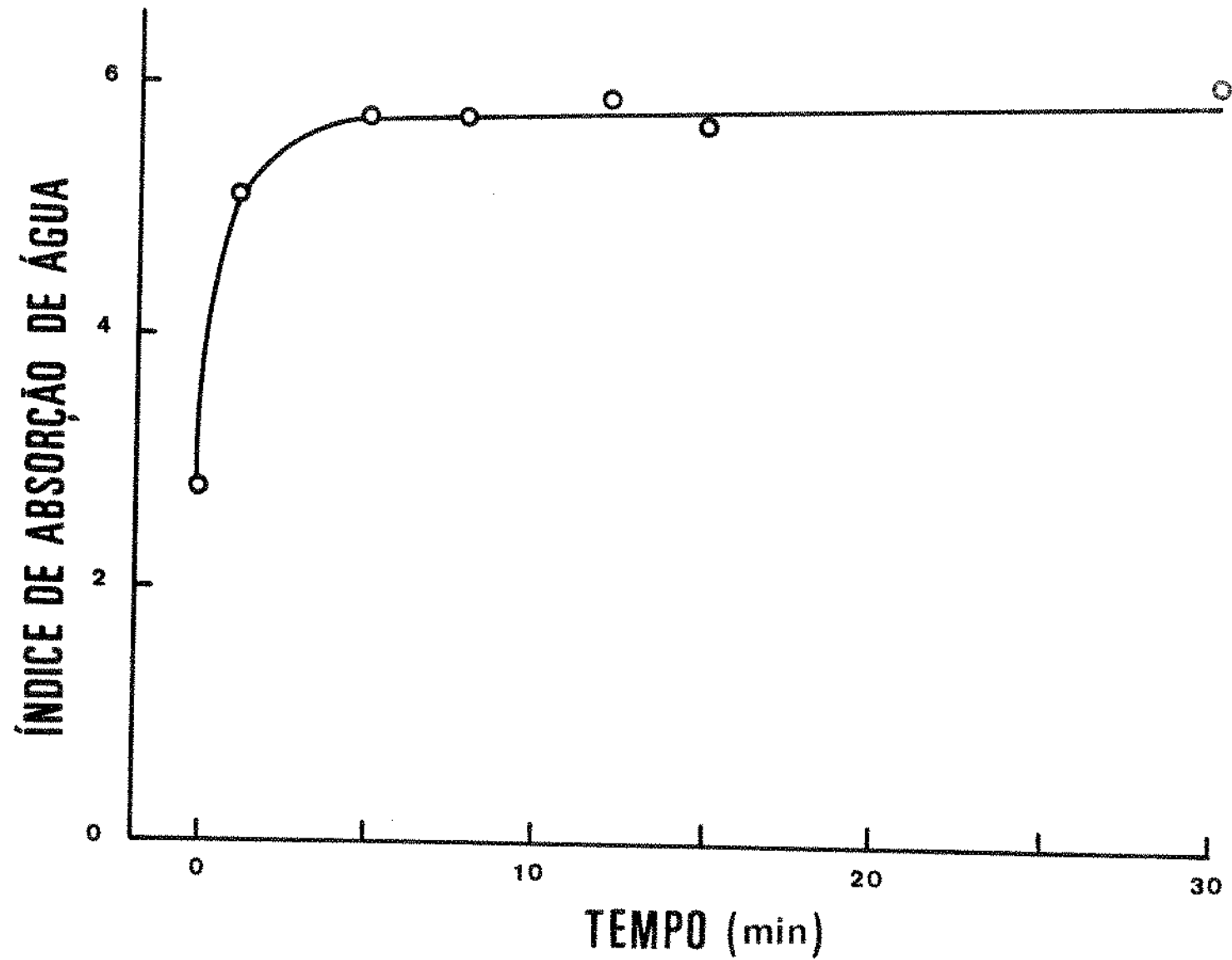


Figura 6. Efeito do tempo de tratamento térmico sobre o índice de absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada a 98°C.

mais longo de tratamento, 30 minutos, o que parece indicar serem estas as condições em que o grau máximo de gelatinização foi alcançado. Os resultados obtidos para o índice de absorção de água estão em concordância com os perfis de viscosidade, indicando que ao longo do primeiro minuto de tratamento ocorre, em relação ao controle, pronunciada modificação na estrutura física dos grânulos de amido, e que os posteriores incrementos de tempo vão provocar modificações comparativamente menores.

b. Tratamento térmico a 118°C

O estudo das modificações sofridas pela quirera de arroz submetida a tratamento hidrotérmico a 118°C é apresentado a seguir.

i. Características de viscosidade

O efeito de diferentes tempos de tratamento térmico sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada é apresentado na tabela VII. A temperatura inicial de gelatinização sofreu acentuada redução em decorrência do tratamento térmico, embora a temperatura de viscosidade máxima permanecesse praticamente inalterada. A viscosidade a 95°C apresentou uma tendência a se reduzir ao longo de 12 minutos de tratamento, permanecendo constante a partir deste tempo, até um período de 30 minutos de exposição ao calor.

TABELA VII

Efeito do tempo de tratamento sobre as características de viscosidade das sus
penções de farinha de quirera pré-gelatinizada a 118°C

Tempo (min)	Temperatura inicial de gelatinização (°C)	Temperatura de viscosi- dade máxima (°C)	Viscosidade a 95°C (U.A.)	Viscosidade após 20 min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade final a 50°C (U.A.)
0	73,0	93,5	770	470	>1000
1	49,0	95,0	350	460	940
5	49,0	95,0	320	450	860
8	49,0	95,0	280	430	840
12	49,0	95,0	250	360	750
15	49,0	95,0	250	360	720
30	49,0	95,0	250	360	720

Observou-se também que mesmo o mais curto tratamento, 1 minuto, foi suficiente para modificar profundamente o perfil de viscosidade, com relação ao controle (figura 7). Em qualquer dos tratamentos a 118°C não se pôde constatar a existência de picos de viscosidade máxima, o que indica as profundas modificações estruturais causadas aos grânulos de amido pelo tratamento térmico a 118°C. Com base nos valores de viscosidade após 20 minutos a 95°C pode-se classificar os tratamentos em dois grupos, de 1-5-8 e 12-15-30 minutos, com os valores apresentando uma tendência a se reduzir ao longo do tempo. Os valores da viscosidade final a 50°C eram também inversamente proporcionais ao tempo, indicando menor tendência à retrogradação à medida que se intensificou o tratamento. Observou-se ainda que a viscosidade inicial a 25°C não foi afetada pelo tempo de tratamento.

ii. Características de solubilidade e absorção de água

A influência de diversos tempos de tratamento sobre as características de solubilidade e absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada é apresentada na tabela VIII. Verificou-se que estes produtos apresentavam fácil dispersão em água fria, não se observando tendência à formação de aglomerados. Os resultados obtidos para o índice de solubilidade em água indicam que o grau de dextrinização é mínimo ao longo de todos os tempos ensaiados. Por sua vez, o índice de absorção

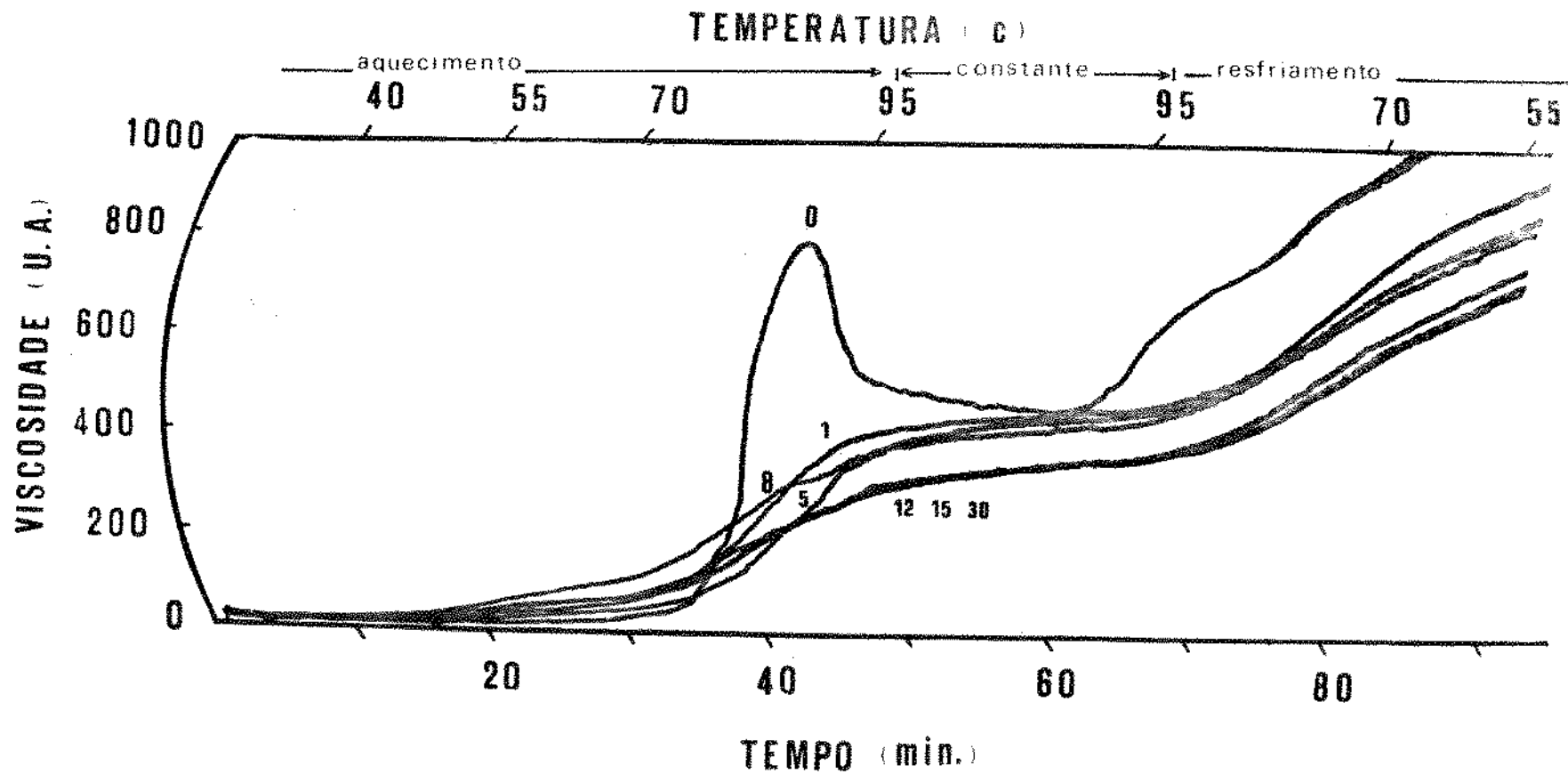


Figura 7. Efeito do tempo de tratamento t ermico sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pr e-gelatinizada a 118 C.

TABELA VIII

Efeito do tempo de tratamento térmico sobre as características de solubilidade e absorção de água das farinhas de quireira pré-gelatinizada a 118°C

Tempo (min)	Índice de solubilidade em água	Índice de absorção de água
0	2,5	2,8
1	2,4	5,4
5	2,4	5,7
8	3,4	5,7
12	3,5	6,4
15	3,1	6,1
30	2,9	6,3

de água praticamente duplicou com o primeiro minuto de tratamento, crescendo depois suavemente ao longo do tempo (figura 8). Os resultados obtidos para o Índice de absorção de água, a exemplo daqueles observados para os perfis de viscosidade, indicam que uma grande modificação na estrutura do amido ocorre no primeiro minuto de tratamento, e que a ação causada por períodos mais longos de tempo sobre o grau de gelatinização é bem menos intensa.

Através da análise dos resultados obtidos, observou-se que os tratamentos térmicos a 118°C foram muito mais efetivos que seus correspondentes a 98°C , provocando modificações mais acentuadas na quirera de arroz. Períodos de 1 minuto foram suficientes para alterar profundamente a estrutura micelar dos grânulos de amido, enquanto que o efeito de tempos mais prolongados foi proporcionalmente menor. Os resultados obtidos após 12 minutos de tratamento a 118°C provavelmente representam, com boa aproximação, o grau máximo de gelatinização que alcança a quirera de arroz submetida a este processo hidrotérmico, sendo impraticável, em escala industrial, estender-se ainda mais o efeito gelatinizante obtido. Observou-se que apenas 1 minuto de exposição a 118°C causou maior efeito que 30 minutos a 98°C . Levando-se em consideração possíveis aplicações práticas, pode-se afirmar que resultados satisfatórios podem ser alcançados submetendo-se a quirera de arroz a apenas 1 minuto de tratamento a 118°C . Os produtos assim obtidos apresentam propriedades tecnológicas semelhantes àqueles tratados por tempos mais lon

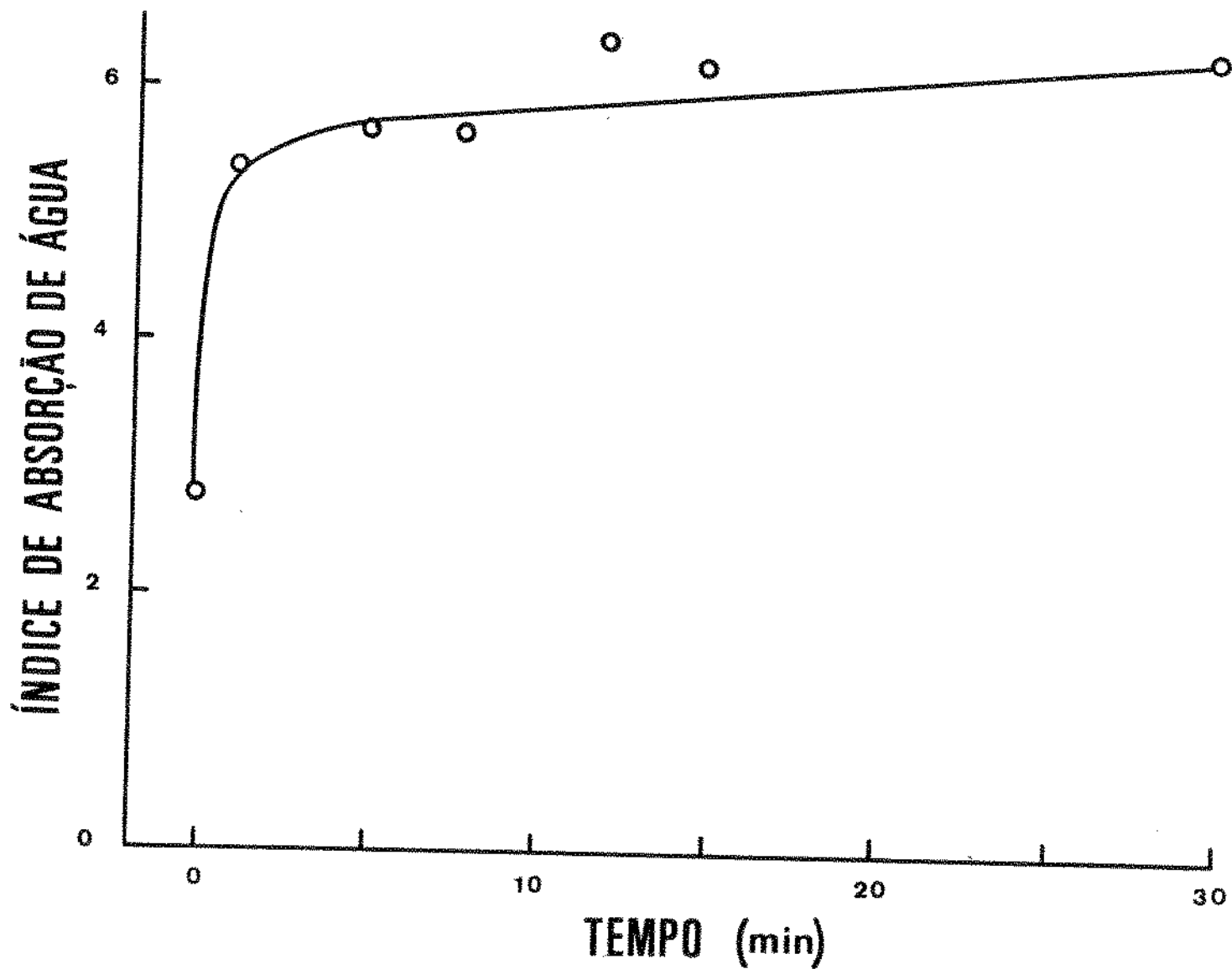


Figura 8. Efeito do tempo de tratamento térmico sobre o Índice de absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada a 118°C.

gos e custos produtivos mais baixo, decorrentes de menor consumo de energia e maior produção por unidade de tempo.

C. EMPREGO DE α -AMILASE BACTERIANA NO PROCESSO DE GELATINIZAÇÃO DA QUIRERA DE ARROZ

A ação de α -amilase de origem bacteriana sobre as características de viscosidade de suspensões de farinha de quirera foi estudada de duas maneiras distintas, inicialmente em um sistema dinâmico, que possibilita grande liberdade de movimento e estreita interação entre enzima e substrato, e depois em um sistema restrito, no qual o ambiente impõe dificuldades de movimento causando limitações de contato entre enzima e substrato. A influência da concentração e do tempo de ação de α -amilase em um sistema restrito foram também objeto de estudo.

1. Determinação da concentração de α -amilase necessária para modificar as características de gelatinização

O efeito da adição de diversas concentrações de α -amilase sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera, estudado por adição da enzima imediatamente antes da obtenção dos viscoamilogramas, é apresentado na tabela IX. Verificou-se que 6,5 UAB por grama de farinha é a concentração de enzima necessária para modificar completamente as curvas, reduzindo a viscosidade a valores muito baixos ao longo de todos os ciclos (figura 9). Com base nos resultados obtidos pode-se afirmar que, nas amostras de farinha tratadas com

TABELA IX

Efeito da adição de α -amilase imediatamente antes da obtenção de viscoamilogramas sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quireira

Concentração (UAB/g)	Temperatura inicial de gelatinização (°C)	Temperatura de viscosi- dade máxima (°C)	Viscosidade máxima (U.A.)	Viscosidade após 20 min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade final a 50°C (U.A.)
0	73,0	93,5	800	470	>1000
1,0	73,0	93,5	310	160	530
3,25	73,0	92,0	120	50	160
6,50	76,0	84,5	40	0	30

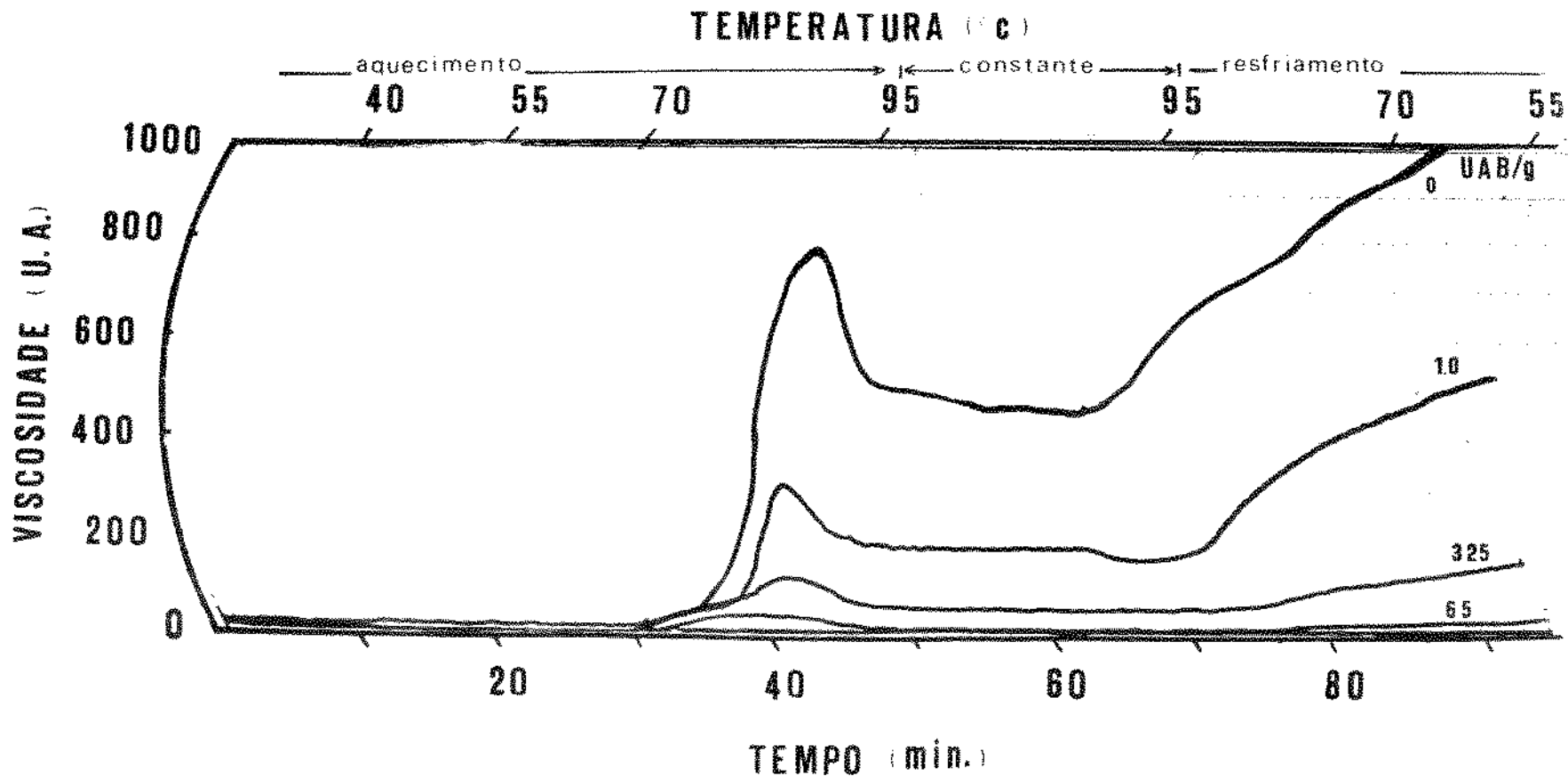


Figura 9. Efeito da adiç~o de α -amilase imediatamente antes da obtenç~o de viscoamilogramas sobre as caracter~sticas de viscosidade das suspens~es de farinha de quirera.

concentração igual ou superior a 6,5 UAB por grama, a maior parte das moléculas de amido foi transformada em outras com pequena tendência a sofrer retrogradação. Esta elevada taxa de hidrólise pode ser atribuída à ação conjunta do calor e da enzima, que é termo-resistente e bastante efetiva à temperatura máxima alcançada pelo viscoamilógrafo (apêndice 1). Pode-se também observar a existência de uma correlação não linear entre a viscosidade máxima, a viscosidade após 20 minutos a 95°C e a viscosidade final a 50°C das suspensões de farinha de quirera e a concentração de enzima adicionada (figura 10).

Pela análise dos resultados apresentados pode-se concluir que o emprego de concentrações de α -amilase da ordem de 6,5 UAB por grama de farinha é suficiente para causar a completa gelatinização da quirera de arroz, nas condições do ensaio.

2. Absorção de α -amilase pela quirera durante a maceração

A capacidade da quirera em absorver α -amilase foi estudada através dos efeitos provocados na viscosidade das suspensões de farinha de quirera macerada em presença de enzima. Os resultados obtidos são apresentados na tabela X. A intensidade do efeito observado sobre os perfis de viscosidade mostrou depender da concentração de enzima absorvida (figura 11). Verificou-se que as amostras que absorveram enzima apresentaram menor tendência à retrogradação, quando comparadas àquelas em que a enzima foi adicionada imediatamente antes da obtenção dos viscoamilogramas (figura 9). Aparentemente, este efeito pode

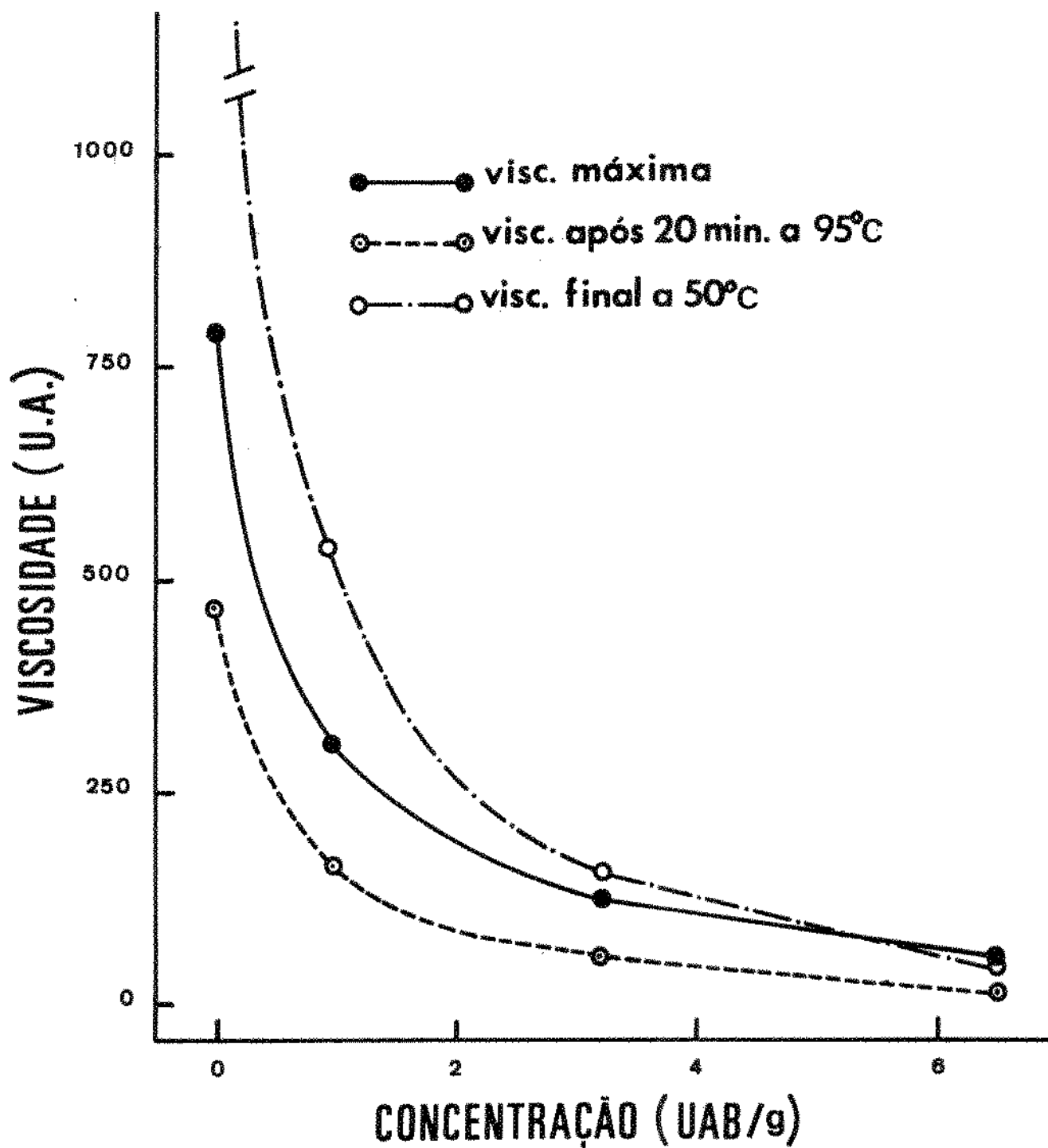


Figura 10. Correlação entre concentração de α -amilase adicionada imediatamente antes da obtenção de viscoamilogramas e viscosidade das suspensões de farinha de quirera.

TABELA X

Efeito da concentração de α -amilase absorvida sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera

Concentração (UAB/g)	Temperatura inicial de gelatinização (°C)	Temperatura de viscosi- dade máxima (°C)	Viscosidade máxima (U.A.)	Viscosidade após 20min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade final a 50°C (U.A.)
0	73,0	93,5	800	470	>1000
1	73,0	89,0	300	60	140
3,25	76,0	83,0	100	0	0
6,50	76,0	81,5	40	0	0

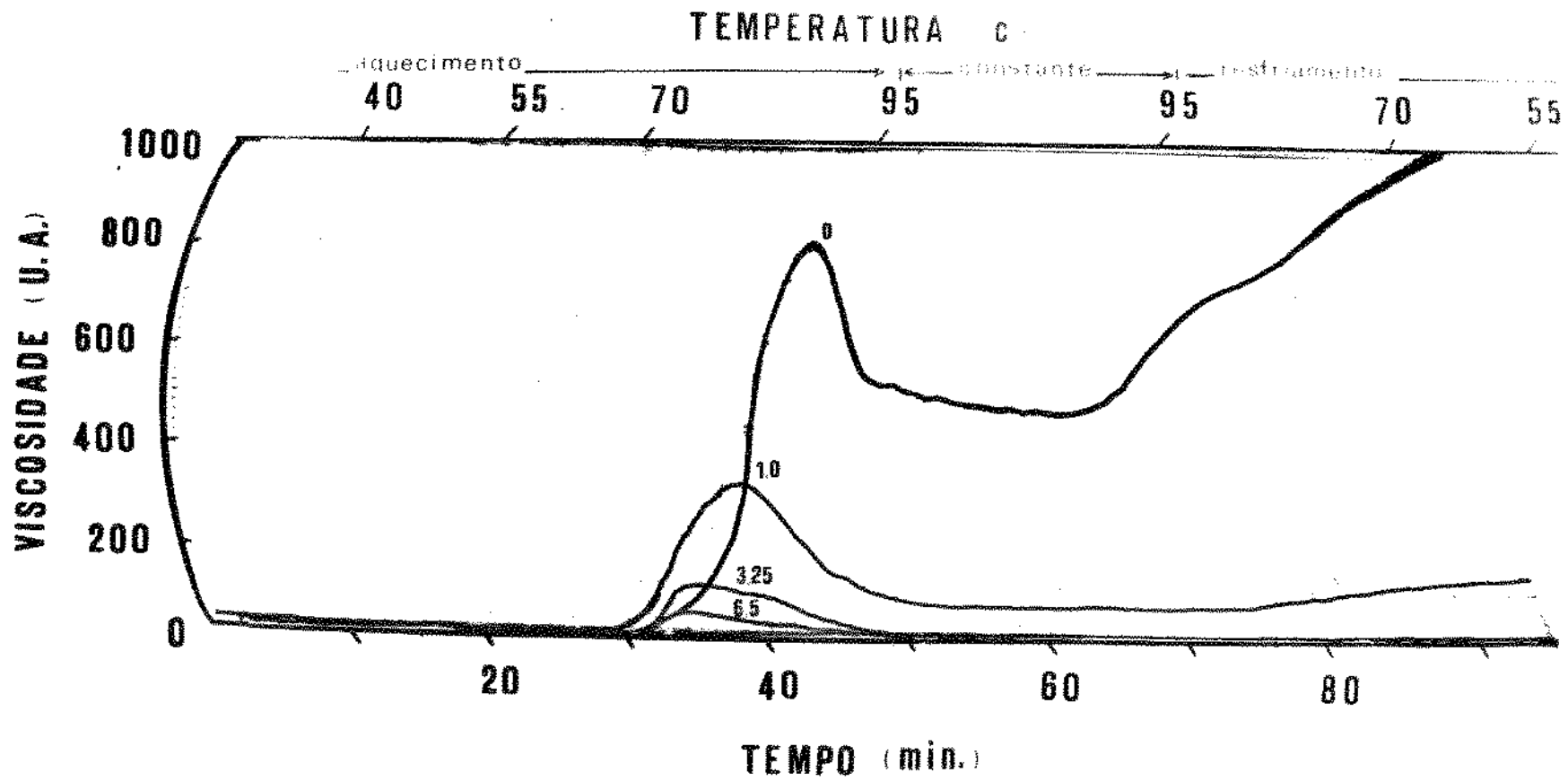


Figura 11. Efeito da concentração de α -amilase absorvida sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera.

ser explicado com base na ação da enzima sobre as moléculas de amilose e amilopectina durante o período de secagem (12-16 horas a 40-45°C); nestas condições a enzima apresenta cerca de 70% de sua máxima atividade (apêndice 1).

Através da análise dos resultados obtidos pode-se afirmar que a quirera de arroz não oferece barreiras à penetração da enzima, absorvendo a quantidade necessária para gelatinizar completamente o amido (6,5 UAB por grama), nas condições do ensaio.

3. Influência do tempo de pré-aquecimento

A influência do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C sobre o grau de gelatinização da quirera de arroz tratada com vapor por 1 minuto a 118°C após absorção de 6,5 UAB por grama foi estudada através das modificações sofridas pela viscosidade das suspensões de farinha, pelas características de solubilidade e absorção de água das farinhas e pelo conteúdo de açúcares reduzidos e totais das farinhas.

A influência do tempo de pré-aquecimento sobre amostras de quirera pré-gelatinizada sem enzima foi também estudada, uma vez que a faixa de temperatura utilizada é suficientemente alta para induzir, por si só, modificações na estrutura dos grânulos de amido.

a. Características de viscosidade

O efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C é apresentado na tabela XI. As amostras pré-aquecidas por 5 minutos mostraram valores de viscosidade sensivelmente mais baixos àqueles próprios das amostras não submetidas a esta operação; tempos maiores, entretanto, não resultaram em qualquer modificação adicional dos perfis de viscosidade. Os valores observados para 5 e 30 minutos foram idênticos.

A influência do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada em presença de enzima é exposta na tabela XII. Observou-se que o grau de gelatinização alcançado pelas amostras era proporcional ao tempo de reação da enzima, e que os valores de viscosidade se reduziam quando se prolongava o tempo. O efeito mais acentuado correspondeu ao tempo mais longo de ação da enzima, 30 minutos (figura 12).

b. Características de solubilidade e absorção em água

A influência do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C sobre as características de solubilidade e absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada é apresentado na tabela XIII. O índice de solubilidade em água manteve-se inalterado, o que pode ser interpretado como decorrência do fato de a etapa de

TABELA XI

Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C

Tempo (min)	Viscosidade a 95°C (U.A.)	Viscosidade após 20 min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade final a 50°C (U.A.)
0	350	460	940
5	250	320	640
30	250	320	640

TABELA XII

Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C em presença de 6,5 UAB/g de α -amilase sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C

Tempo (min)	Viscosidade a 95°C (U.A.)	Viscosidade após 20 min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade final a 50°C (U.A.)
0	220	280	580
5	60	100	220
10	60	80	200
30	30	60	110

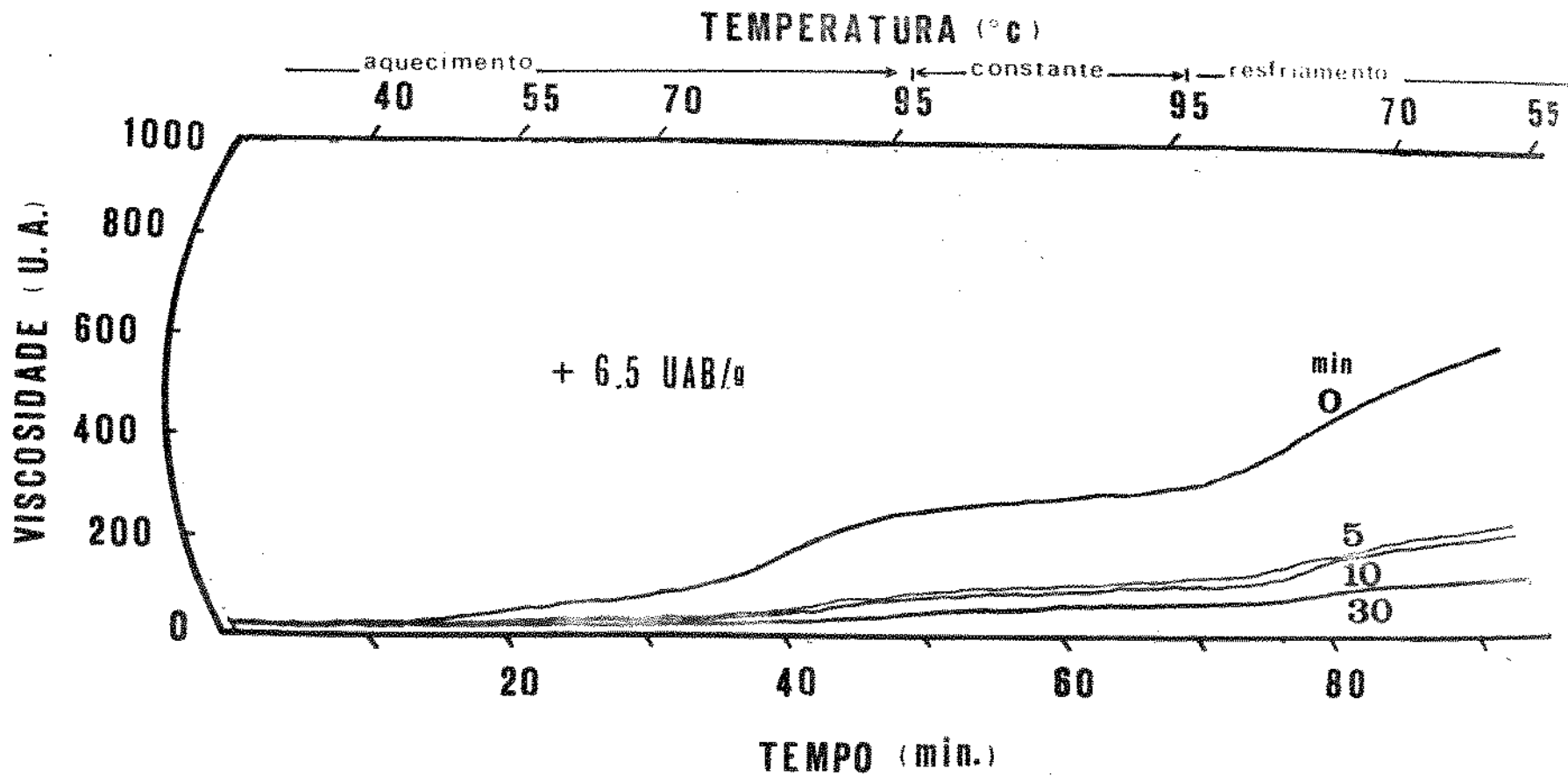


Figura 12. Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C em presença de 6,5 UAB/g de α -amilase sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C.

TABELA XIII

Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C sobre as características de solubilidade e absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C

Tempo (min)	Índice de solubilidade em água	Índice de absorção de água
0	2,4	5,4
5	2,5	6,2
30	2,3	6,0

pré-aquecimento não provocar o aparecimento, em quantidades relevantes, de moléculas solúveis. O índice de absorção de água aumentou com a realização da etapa de pré-aquecimento. A diferença entre os valores observados para 5 e 30 minutos, entretanto, é muito pequena, podendo-se afirmar que são de pequena importância as modificações sofridas pelas características de absorção de água no decorrer de tempos superiores a 5 minutos de tratamento.

A influência do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C sobre as características de solubilidade e absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada em presença de enzima é apresentada na tabela XIV.

Observou-se que o índice de solubilidade em água aumentou proporcionalmente ao tempo, o que pode ser explicado com base no aumento do número de moléculas solúveis resultante da ação enzimática. O valor mais alto atingido correspondeu ao tempo mais longo, ou seja, à ação mais prolongada da enzima (figura 13). Estes resultados estão em concordância com as observações extraídas do estudo das características de viscosidade, confirmando ser o grau de gelatinização causado pela ação da enzima mais pronunciado à medida que se estende seu tempo de reação. O índice de absorção de água, entretanto, permaneceu inalterado ao longo dos diversos tempos de tratamento.

c. Teor de açúcares

A influência do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C sobre

TABELA XIV

Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90^oC em presença de 6,5 UAB/g de α -amilase sobre as características de solubilidade e absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118^oC

Tempo (min)	Índice de solubilidade em água	Índice de absorção de água
0	3,5	5,5
5	10,9	5,6
10	11,7	5,3
30	13,4	5,5

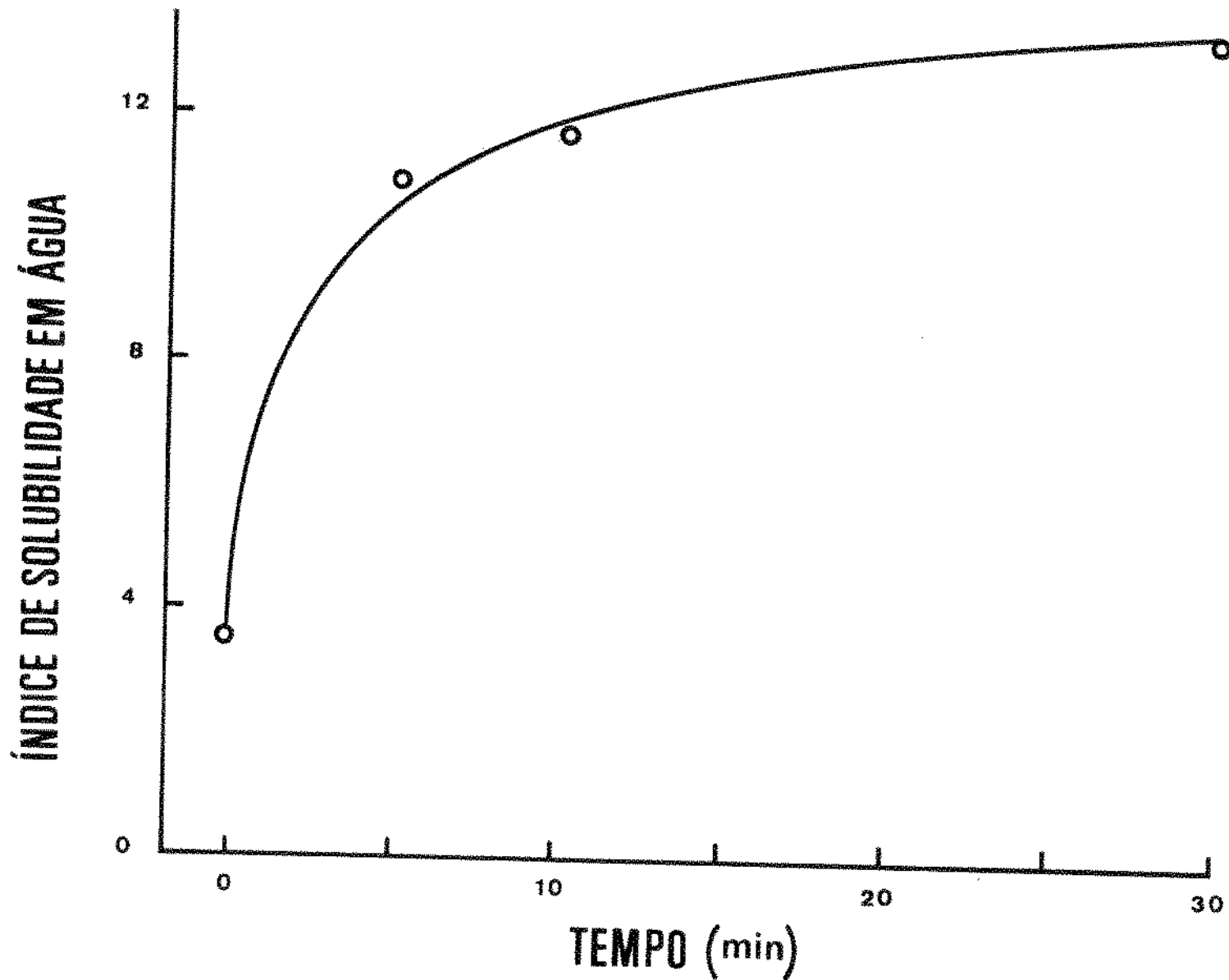


Figura 13. Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C em presença de 6,5 UAB/g de α -amilase sobre as características de solubilidade das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C.

o conteúdo de açúcares redutores e totais das farinhas de quirera pré-gelatinizada é apresentado na tabela XV. O conteúdo de açúcares sofreu um ligeiro aumento com o decorrer do tempo. Estando afastada a hipótese da ação de amilases nativas dos grãos de quirera (secção IV.A.5), o fenômeno poderia ser creditado, aparentemente, à hidrólise de moléculas de amido por ocasião do tratamento térmico em autoclave, catalizada pela ação do calor em presença do meio ligeiramente ácido (pH 6,1).

A influência do tempo de pré-aquecimento sobre o conteúdo de açúcares redutores e totais das farinhas de quirera pré-gelatinizada em presença de enzima é descrita na tabela XVI. Observou-se que o conteúdo de açúcares redutores aumentou proporcionalmente ao tempo (figura 14). Este fato está em concordância com os resultados observados para o índice de solubilidade em água, confirmando que, em períodos mais dilatados de tempo, a enzima age com maior intensidade, dando origem a maior número de moléculas solúveis.

A partir da análise dos resultados apresentados, pode-se concluir que o grau de gelatinização da quirera de arroz submetida a tratamento hidrotérmico por 1 minuto a 118°C foi profundamente afetado pela adição de concentrações de α -amilase de origem bacteriana da ordem de 6,5 UAB/g, e que o efeito causado pode ser controlado pela correta manipulação do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C, permitindo a obtenção de produtos finais de características variadas.

TABELA XV

Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C sobre o conteúdo de açúcares redutores e totais das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C

Tempo (min)	Açúcares redutores (mg/100g)	Açúcares totais (mg/100g)
0	280	390
5	340	450
30	390	500

TABELA XVI

Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C em presença de 6,5 UAB/g de α -amilase sobre o conteúdo de açúcares redutores e totais das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C

Tempo (min)	Açúcares redutores (mg/100g)	Açúcares totais (mg/100g)
0	560	670
5	1380	1490
10	2390	2660
30	2950	3220

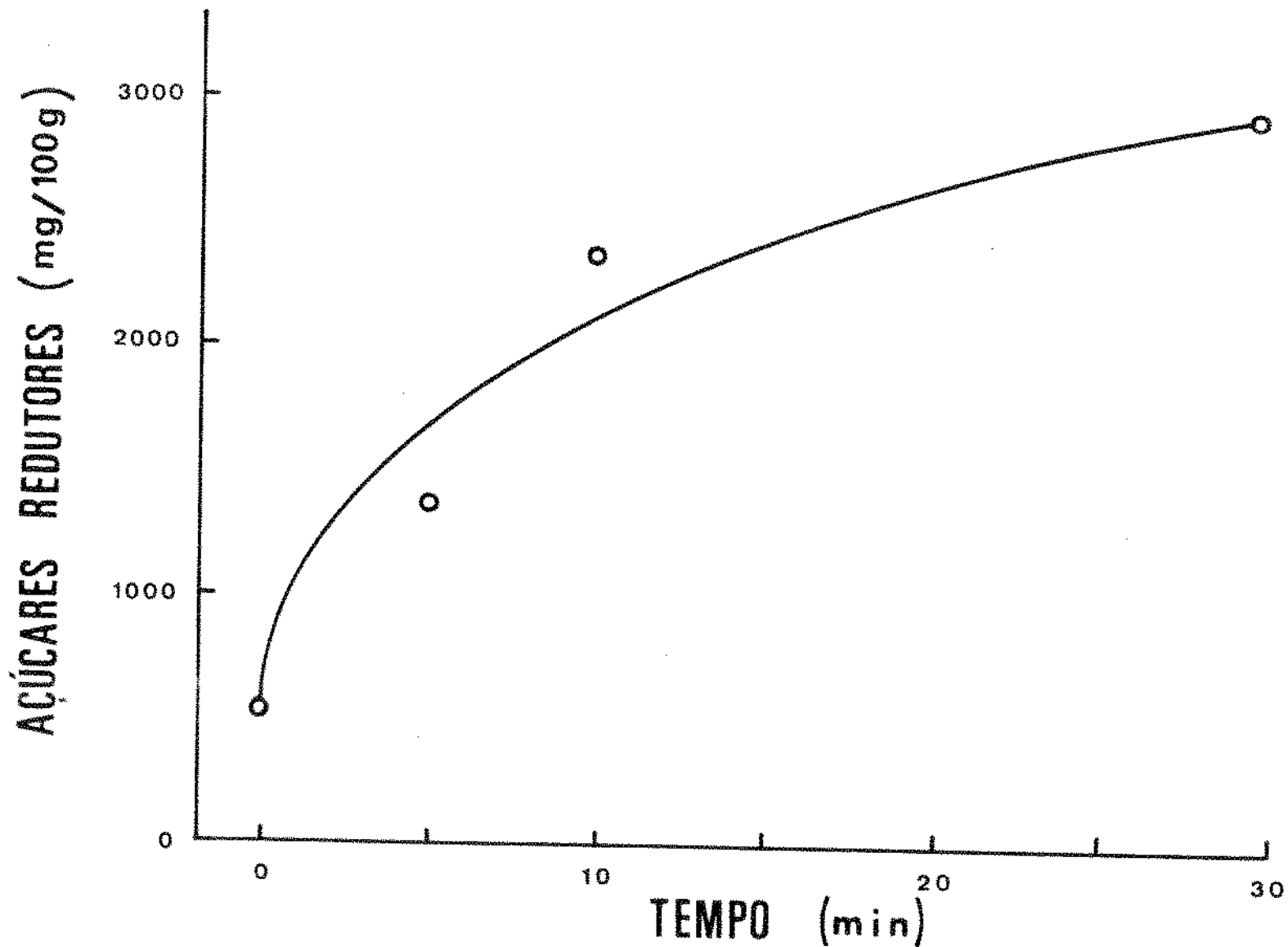


Figura 14. Efeito do tempo de pré-aquecimento a 85-90°C em presença de 6,5 UAB/g de α -amilase sobre o conteúdo de açúcares redutores das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C.

4. Influência da concentração de α -amilase

A influência da concentração de α -amilase absorvida sobre o grau de gelatinização da quirera de arroz tratada por 1 minuto a 118^oC após 5 minutos de pré-aquecimento a 85-90^oC foi estudada a partir das modificações sofridas pelas características de viscosidade das suspensões de farinha, pelas características de solubilidade e absorção de água e pelo conteúdo de açúcares redutores e totais das farinhas.

a. Características de viscosidade

O efeito da concentração de α -amilase absorvida sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada é apresentado na tabela XVII. Verificou-se que o grau de gelatinização alcançado pelas amostras era proporcional à concentração de enzima, e o máximo efeito alcançado correspondeu à maior concentração, 6,5 UAB por grama de quirera (figura 15). Observou-se ainda que a viscosidade a 95^oC, a viscosidade após 20 minutos a 95^oC e a viscosidade final a 50^oC estavam correlacionadas não-linearmente à concentração de α -amilase absorvida (figura 16). A α -amilase revelou-se um agente capaz de reforçar o efeito do calor, dando maior flexibilidade ao processo hidrotérmico; através de seu emprego, torna-se possível atingir valores de viscosidade consideravelmente menores que aqueles obtidos unicamente pelo emprego de vapor. As amostras apresentaram também evidências de dextrinização. As partículas de quirera, após o tratamento com vapor,

TABELA XVII

Efeito da concentração de α -amilase sobre as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a 85-90°C

Concentração (UAB/g)	Viscosidade a 95°C (U.A.)	Viscosidade após 20 min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade final a 50°C (U.A.)
0	250	320	640
1,0	170	220	480
3,25	110	160	330
6,5	60	100	220

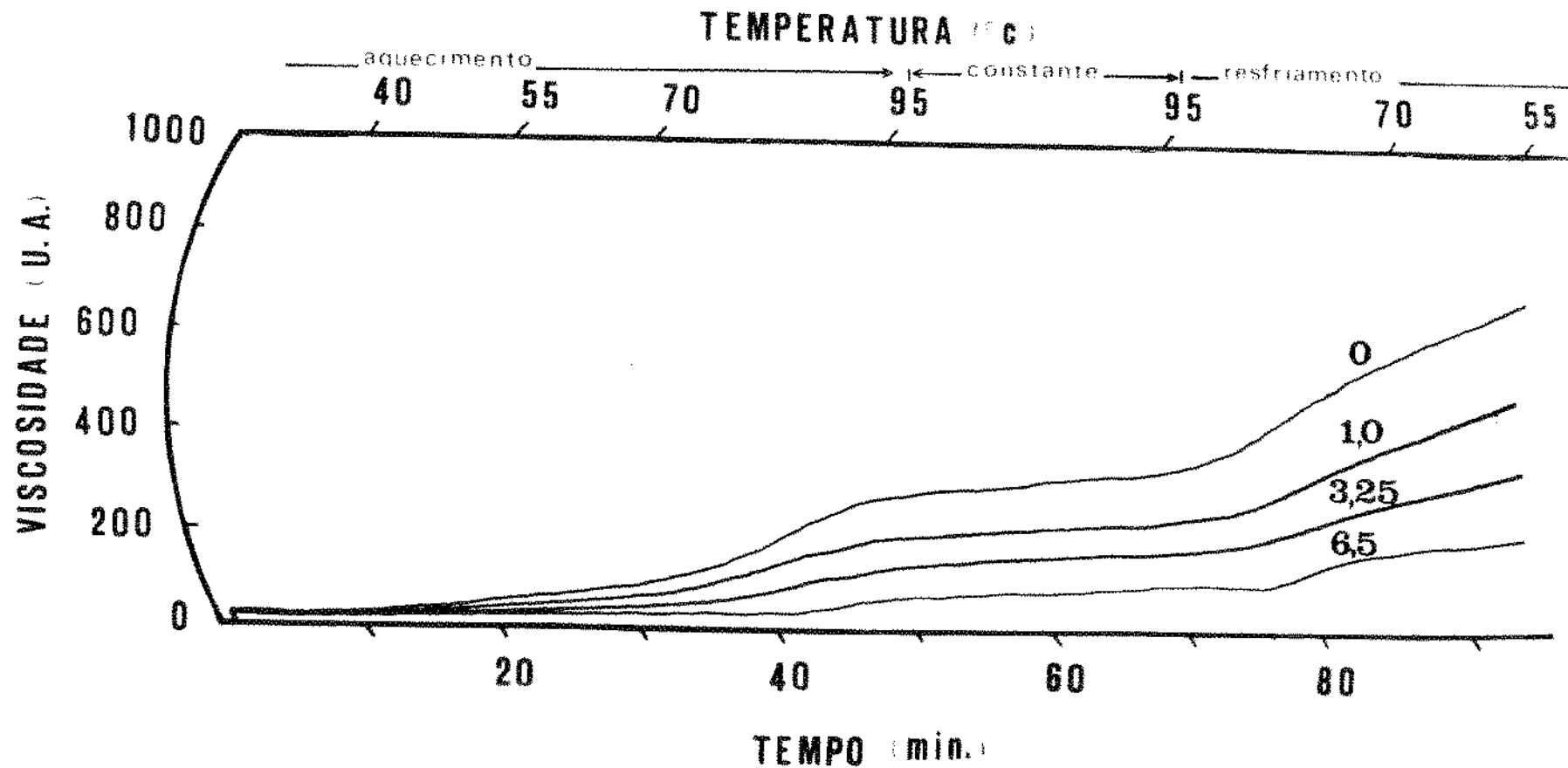


Figura 15. Efeito da concentração de α -amilase sobre as características de viscosidade de das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a 85-90°C.

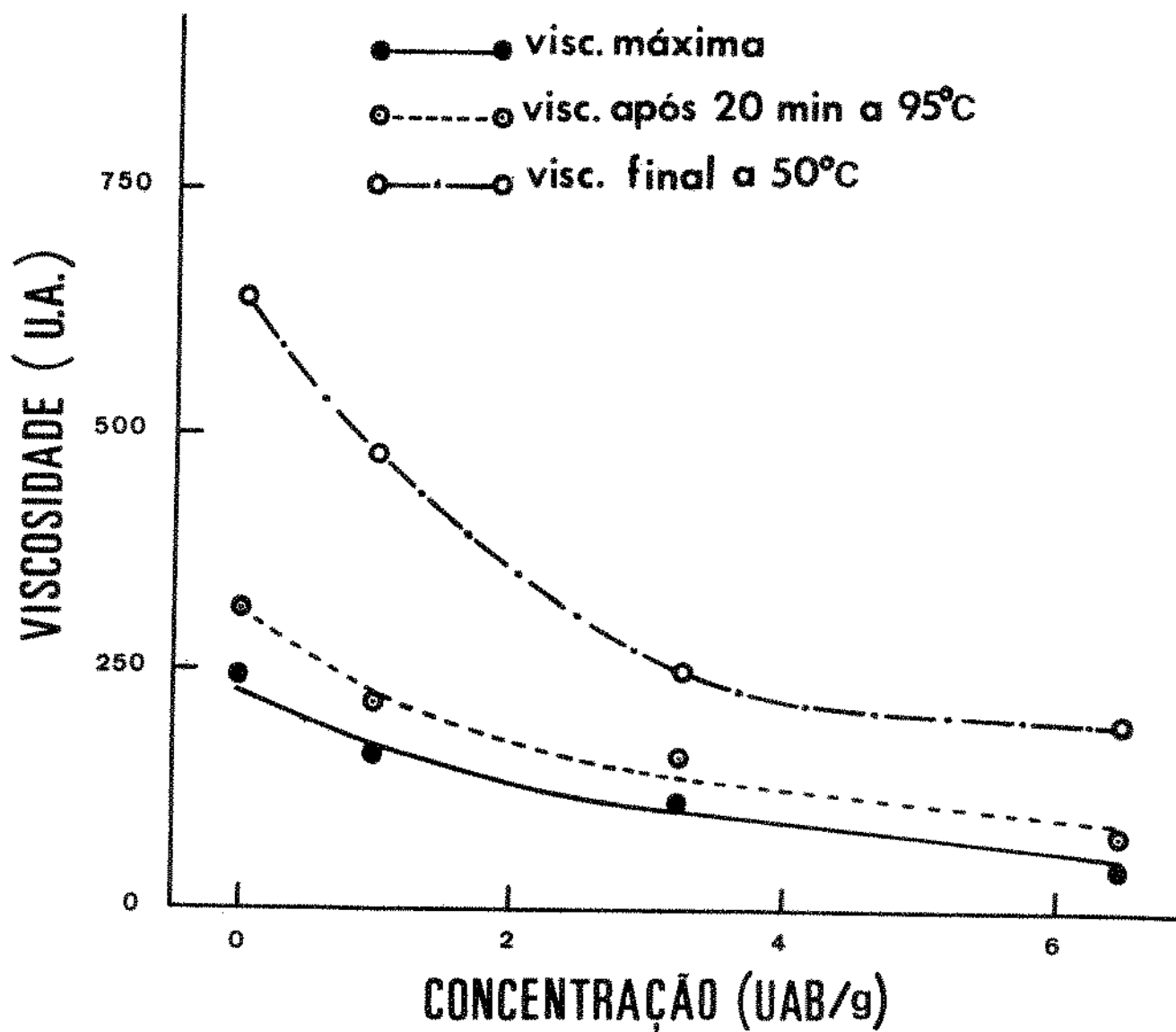


Figura 16. Correlação entre concentração de α -amilase e viscosidade das suspensões de farinha de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a 85-90°C.

tornaram-se brilhantes e pegajosas ao tato, aderindo aos objetos e entre si, formando aglomerados. Este efeito era tanto mais intenso quanto maior era a concentração de enzima utilizada; as amostras tratadas com 6,5 UAB por grama de quirera sofreram intensa dextrinização, conforme se deduz a partir dos reduzidos valores de viscosidade registrados ao final do ciclo de resfriamento.

b. Características de solubilidade e absorção de água

A influência da concentração de α -amilase absorvida sobre as características de solubilidade e absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada é apresentada na tabela XVIII. O índice de solubilidade em água aumentou proporcionalmente à concentração de α -amilase (figura 17), o que pode ser explicado com base em um aumento do número de moléculas solúveis e uma correspondente redução no conteúdo de moléculas de elevado peso molecular, em decorrência da ação enzimática. Estes resultados vêm reforçar as evidências de dextrinização observadas ao longo da análise dos perfis de viscosidade, estando em concordância com os mesmos. O índice de absorção de água manteve-se praticamente inalterado para as amostras tratadas com concentrações de enzima de até 3,25 UAB por grama de quirera, sofrendo uma redução de 6,3 para 5,6 para a amostra tratada com 6,5 UAB por grama. Este resultado pode aparentemente ser explicado devido ao fato de a elevada concentração de enzima reduzir a quantidade de estruturas moleculares capazes de ab-

TABELA XVIII

Efeito da concentração de α -amilase sobre as características de solubilidade e absorção de água das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a 85-90°C

Concentração (UAB/g)	Índice de solubilidade em água	Índice de absorção de água
0	2,5	6,2
1,0	5,3	6,5
3,25	8,0	6,3
6,5	10,9	5,6

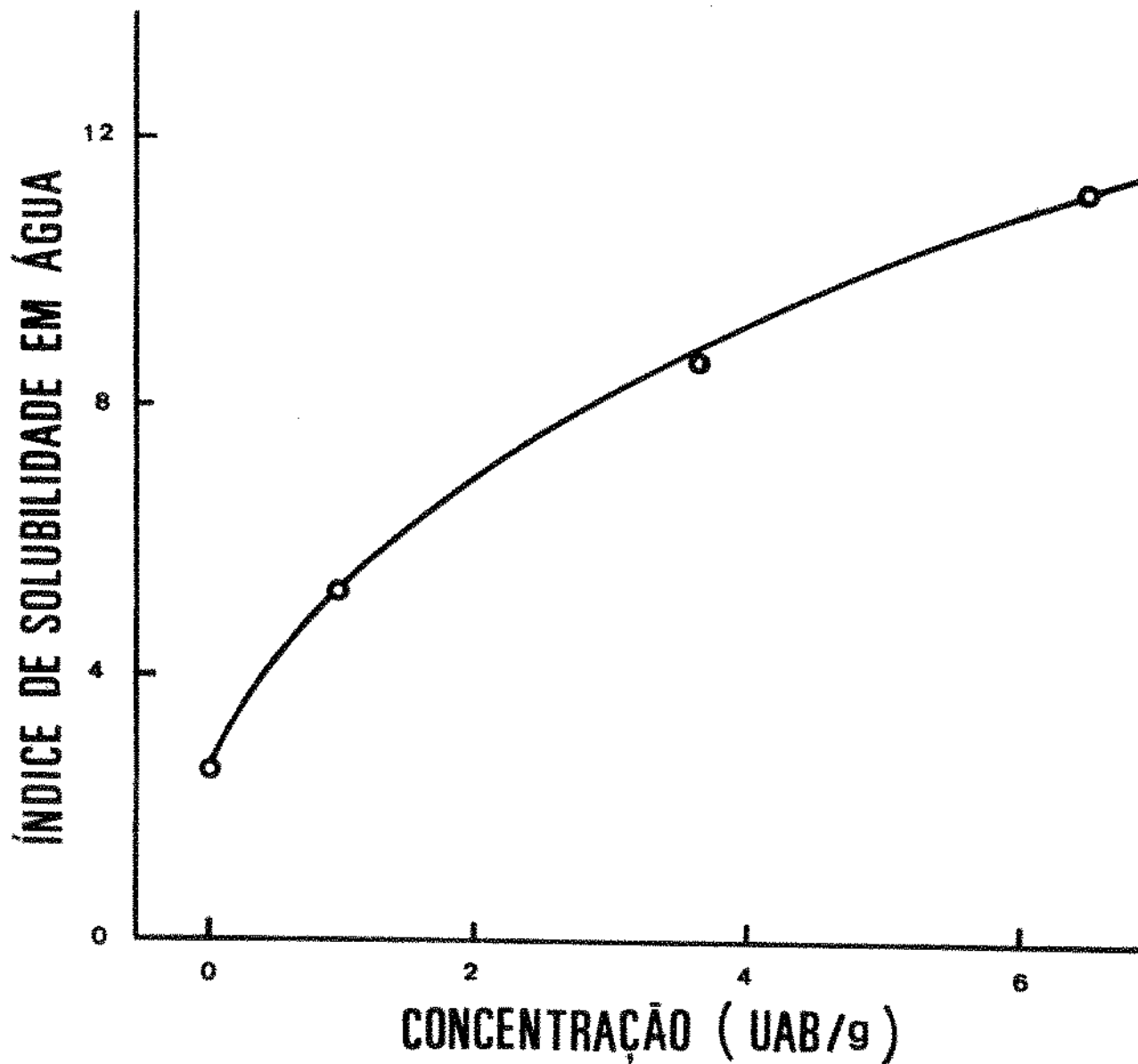


Figura 17. Efeito da concentração de α -amilase sobre as características de solubilidade das farinhas de quiroera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a $85-90^{\circ}\text{C}$.

sorver grandes quantidades de água.

c. Teor de açúcares

O efeito da concentração de α -amilase absorvida sobre o conteúdo de açúcares redutores e totais das farinhas de quireira pré-gelatinizada é apresentado na tabela XIX. O conteúdo de açúcares redutores mostrou estar direta e linearmente correlacionado à concentração de enzima (figura 18), observando-se que incrementos na concentração corresponderam a proporcionais aumentos do teor de açúcares. Estes resultados estão em concordância com aqueles observados para a viscosidade e o índice de solubilidade das amostras, exprimindo o grau de dextrinização resultante da ação enzimática.

TABELA XIX

Efeito da concentração de α -amilase sobre o conteúdo de açúcares redutores e totais das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a 85-90°C

Concentração (UAB/g)	Açúcares redutores (mg/100g)	Açúcares totais (mg/100g)
0	340	450
1,0	510	620
3,25	840	950
6,5	1380	1490

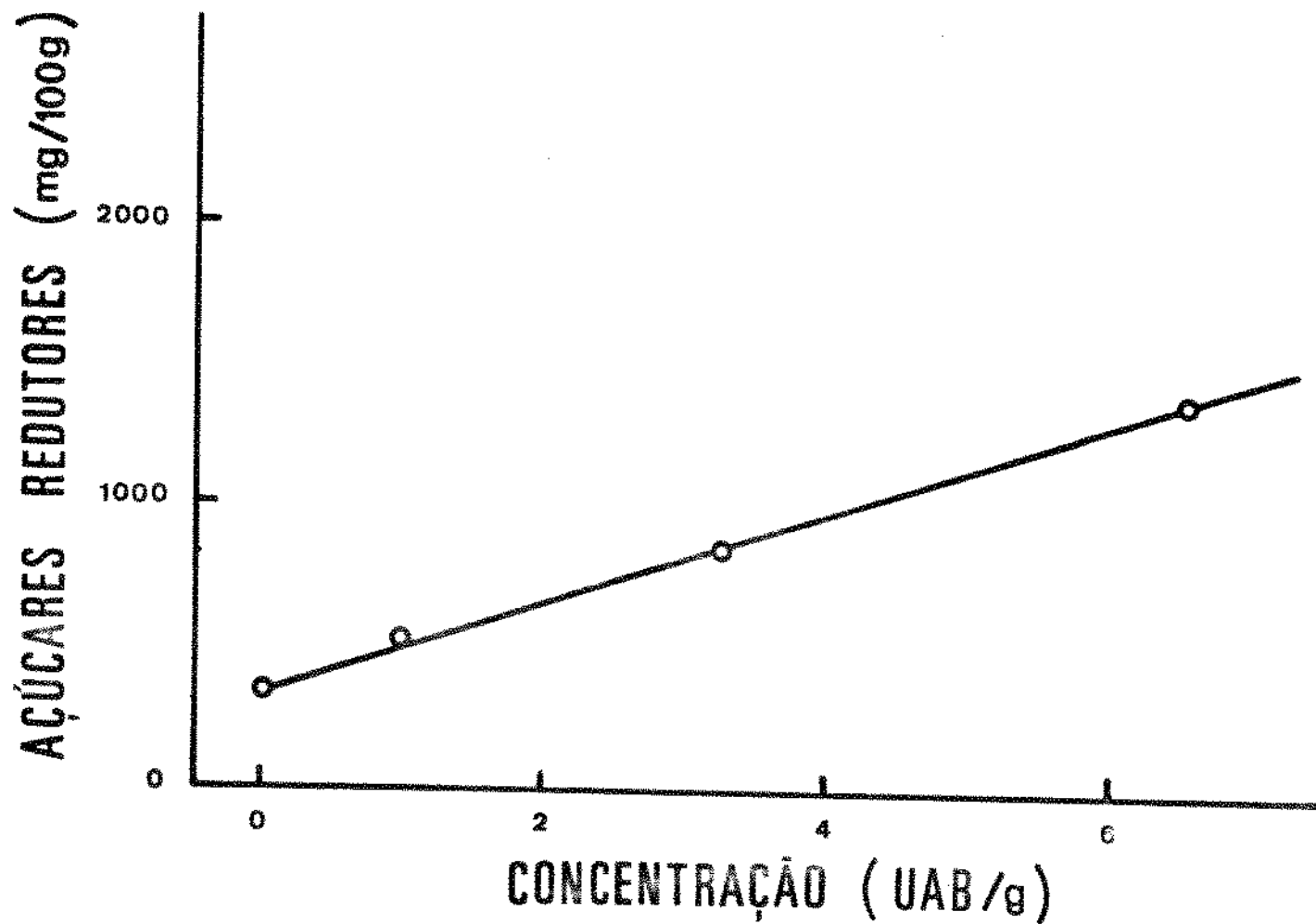


Figura 18. Efeito da concentração de α -amilase sobre o conteúdo de açúcares redutores das farinhas de quirera pré-gelatinizada por 1 minuto a 118°C após 5 minutos de pré-aquecimento a $85-90^{\circ}\text{C}$.

V. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do processo hidrotérmico de gelatinização da quirera de arroz e modificação das características da quirera gelatinizada pelo emprego de α -amilase de origem bacteriana, podem ser extraídas diversas conclusões.

A viscosidade das suspensões de farinha de quirera não tratada mostrou estar diretamente correlacionada à concentração; verificou-se a existência de uma correlação linear entre a concentração das suspensões e os valores da viscosidade máxima e da viscosidade final a 50°C.

A quirera de arroz absorveu água com grande facilidade; a 25°C o equilíbrio foi alcançado após 30 minutos de maceração, e a 50°C, após apenas 10 minutos, observando-se a existência de uma proporcionalidade entre a taxa de hidratação e as temperaturas ensaiadas. A umidade de equilíbrio, entretanto, não mostrou depender destas temperaturas, registrando-se em ambos os casos valores da ordem de 30%.

A quirera de arroz macerada até o equilíbrio e submetida ao contato com vapor sofreu o fenômeno de gelatinização proporcional à temperatura e ao tempo de exposição. O tratamento térmico à pressão ambiente, correspondente a uma temperatura de cerca de 98°C, mostrou-se pouco eficiente, demandando um míni-

mo de 15 minutos de exposição para que modificações apreciáveis fossem observadas. Já o tratamento em autoclave à pressão de 1 kg/cm^2 , correspondente a cerca de 118°C , mostrou-se bastante efetivo, provocando profundas modificações na estrutura granular do amido de arroz. Os testes realizados indicaram que o efeito gelatinizante provocado por 1 minuto de exposição a 118°C foi mais intenso que aquele causado por 30 minutos a 98°C , e que tempos mais prolongados de tratamento não causaram modificações relevantes nas características dos produtos. Portanto, as condições mais adequadas para a gelatinização da quirera de arroz envolvem a realização de uma etapa de maceração por 30 minutos a 25°C , seguida por um tratamento térmico por 1 minuto a 118°C .

A adição de diversas concentrações de α -amilase termoes-tável de origem bacteriana por ocasião da obtenção de viscoamilogramas afetou as características de viscosidade das suspensões de farinha de quirera. Observou-se a existência de uma correlação não-linear entre a viscosidade máxima, a viscosidade após 20 minutos a 95°C e a viscosidade final a 50°C e a concentração de enzima utilizada; concentrações iguais ou superiores a $6,5 \text{ UAB/g}$ mostraram-se suficientes para causar a completa gelatinização da quirera de arroz, nas condições do ensaio.

Ao se investigar a capacidade de absorção de α -amilase pela quirera de arroz, verificou-se que esta não oferece barreiras à penetração de $6,5 \text{ UAB/g}$, que é a concentração necessária para gelatinizar completamente o amido nas condições do

ensaio. As amostras que absorveram α -amilase apresentaram menos tendência à retrogradação quando comparadas àquelas em que a enzima foi adicionada imediatamente antes da obtenção dos viscoamilogramas, aparentemente devido à ação enzimática durante o período de secagem.

O grau de gelatinização da quirera de arroz tratada com vapor por 1 minuto a 118°C após absorção de 6,5 UAB/g mostrou estar correlacionado ao tempo de pré-aquecimento a $85-90^{\circ}\text{C}$. À medida que se estendeu este tempo, reduziram-se os valores de viscosidade a 95°C , viscosidade após 20 minutos a 95°C e viscosidade final a 50°C , enquanto cresceram o índice de solubilidade em água e o conteúdo de açúcares redutores e totais, em decorrência da ação mais extensiva de enzima. Com base nos resultados observados pode-se concluir que 5 minutos de pré-aquecimento a $85-90^{\circ}\text{C}$ são suficientes para causar profundas modificações no grau de gelatinização das amostras, e que produtos finais de características variadas podem ser obtidos variando-se o tempo de pré-aquecimento.

O efeito gelatinizante mais intenso observado correspondeu ao tempo mais prolongado de ação da enzima, 30 minutos.

O grau de gelatinização das amostras de farinha de quireira pré-aquecida por 5 minutos a $85-90^{\circ}\text{C}$ e tratada por 1 minuto a 118°C mostrou ser proporcional à concentração de α -amilase absorvida. Aumentando-se esta concentração observou-se uma correspondente redução nos valores de viscosidade a 95°C , viscosi

dade após 30 minutos a 95°C e viscosidade final a 50°C, e aumento no índice de solubilidade em água e no conteúdo de açúcares redutores e totais. O efeito gelatinizante mais intenso correspondeu à maior concentração ensaiada, 6,5 UAB/g. Observou-se ainda a existência de uma correlação não linear entre a concentração de α -amilase absorvida e os parâmetros de viscosidade acima citados.

Os experimentos realizados demonstram que quierera de arroz de diversos graus de gelatinização pode ser produzida por processo hidrotérmico em conjunto com emprego de α -amilase termoestável de origem bacteriana. Produtos de características variadas podem ser obtidos através do controle da concentração de enzima ou de seu tempo de reação. A α -amilase revelou-se um agente capaz de reforçar o efeito do calor, dando maior flexibilidade ao processo hidrotérmico; através de seu emprego torna-se possível atingir graus de gelatinização superiores àqueles alcançados unicamente pelo uso de vapor. O emprego de α -amilase bacteriana no processo hidrotérmico de gelatinização é bastante simples, implicando apenas na introdução de uma etapa de pré-aquecimento com temperatura próxima àquela de atividade ótima da enzima, imediatamente antes do tratamento com vapor sob pressão.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. AACC Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, 7^{nt} Ed. (1969).
2. ADAIR, C.R. "Production and utilization of rice" in "Rice Chem. and Tech." ed. by Houston, D.F., publ. by AACC (1972).
3. ANDERSON, R.A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V.F. and GRIFFIN JR. E.L. "Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-cooking" Cereal Sci. Today, 14, 4-7, 11, 12 (1969).
4. ANDERSON, R.A., PFEIFER, V.F., BOOKWALTER, G.N. and GRIFFIN JR, E.L. "Instant CSM food blends for world-wide feeding" Cereal Sci. Today, 16, 5-11 (1971).
5. ANKER, C.A. and GEDDES, W.F. "Gelatinization studies with the amylograph" Cereal Chem., 24, 200-213 (1947).
6. A.O.A.C. Approved methods of the Association of Official Agricultural Chemists, 12nd Ed. (1975).
7. AUTREY, H.S.; GRIGORIEFF, W.W. and FREEMAN, E.E. "Effect of milling conditions on breakage of rice grains" J. Agr. Food Chem., 3(7), 593, (1955).
8. BANKS, W.; GREENWOOD, C.T. and MUIR, D.D. "The characterization of starch and it's components" Staerke, 26, 73-78 (1974).

9. BANKS, W.; GREENWOOD, C.T. and MUIR, D.D. "Studies on the biosynthesis of starch granule" *Staerke*, 25, 181-335 (1973).
10. BARBER, S. "Basic studies on aging of milled rice and application to discriminating quality factors" USDA, ARS, Foreign Research and Technical Program Division, Project No E-25-AMS-9, Final Report, 189 pp (1969).
11. BARFOED, H.C. "Enzymes in starch processing" *Cereal Foods World*, 21, 588-593 (1976).
12. BEACHELL, H.M. "Rice Chem. and Tech." in "Cereal as Food and Feed" ed. by Matz, S.A. publ. by AVI (1959).
13. BECKFORD, O.C. and SANDSTEDT, R.M. "Starch gelatinization studies. I Simplified equipment for the study of starch gelatinization by means of light transmission". *Cereal Chem.*, 24, 250 (1947).
14. BERNHARD, S.A. "The structure and function of enzymes" Ed. by Benjamin, N. York, 1968.
15. BHATIA, K. "Effect of environmental conditions during - milling on breakage of rice grains. Thesis - L.A. State Univ. (1969).
16. CASES, A.; BARBER, S. e CASTILLO, P. "Factores de Calidad de arroz: distribución de grasa en el endosperma. *Rev. Agroquim Tec Alim*, 3, 241 (1963).

17. CHIANG, B.Y. and JOHNSON, J.A. "Gelatinization of starch in extruded products". Cereal Chem., 54, 436-433 (1977).
18. CHIANG, B.Y. and JOHNSON, J.A. "Measurement of total and gelatinized starch by glucoamylase and o - toluidine Cereal Chem., 54, 429-435 (1977).
19. COLLISON, R. "Retrogradation of starch" in "Starch and it's derivatives" ed. by Radley, J.A., Chapman and Hall, London (1968).
20. COLLISON, R. "Swelling and Gelation of Starch" p 168 in "Starch and it's derivatives" ed. by Radley, J.A. Chapman and Hall, London (1968).
21. DEOBALD, H.J. "Rice Flours" in "Rice Chem. and Tech." ed. by Houston, D.F., publ. by AACC (1972).
22. "ESTUDO PARA FORMULAÇÃO E ELABORAÇÃO DE ALIMENTOS P/GRUPOS VULNERÁVEIS DAS POPULAÇÕES MARGINAIS DOS GRANDES CENTROS DO PAÍS". Relatório final apresentado à Secretaria de Assistência Social do Ministério de Previdência Social pela Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia. Campinas, SP. (1976).
23. FERREL, R.E. and PENCE, J.W. "Use of amylograph to determine the extent of cooking in the steamed rice". Cereal Chem., 41, 1-8 (1964).

24. FIRST SUPPLEMENT TO THE FOOD CHEMICALS CODEX, Second Ed. (1974). α -Amylase Activity p 62-66. National Academy of Science, Washington, DC 20418.
25. FISCHER, E.H. and HAZELBACK, C.H. "Contribution a l'etude de l'alpha-amylase d'orge". Helv. Chim. Acta, 34, 325-337 (1951).
26. FRENCH, D. and YOUNGQUIST, R.W. "Die wirkungsweise von alpha-amylase auf starkeoligosacharide". Staerke, 15, 425-431 (1963).
27. FRITZE, H. "Dry gelatinized starch produced on different types of drum dryers". Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop, 12, 142-148 (1973).
28. GREENWOOD, C.T. "Starch" in "Advances in Cereal Sci and Tech" ed. by Poweranz, publ. by AACC (1976).
29. GREENWOOD, C.T. "Structure, properties and amylolytic degradation of starch". Food Technol., 18, 732 (1964).
30. HENDERSON, S.M. and PERRY, R.L. "Agricultural process engineering" Ed. by John Wiley & Sons Inc, NY (1955).
31. HOUSTON, D.F.; MOHAMMAD, A.; WASSERMAN, T. and KASTER, E.B. "High protein rice flours". Cereal Chem., 41, 514 (1964).
32. HOUSTON, D.F. "Rice Hulls" in "Rice Chem. and Tech." ed. by Houston, D.F., publ. by AACC (1972).

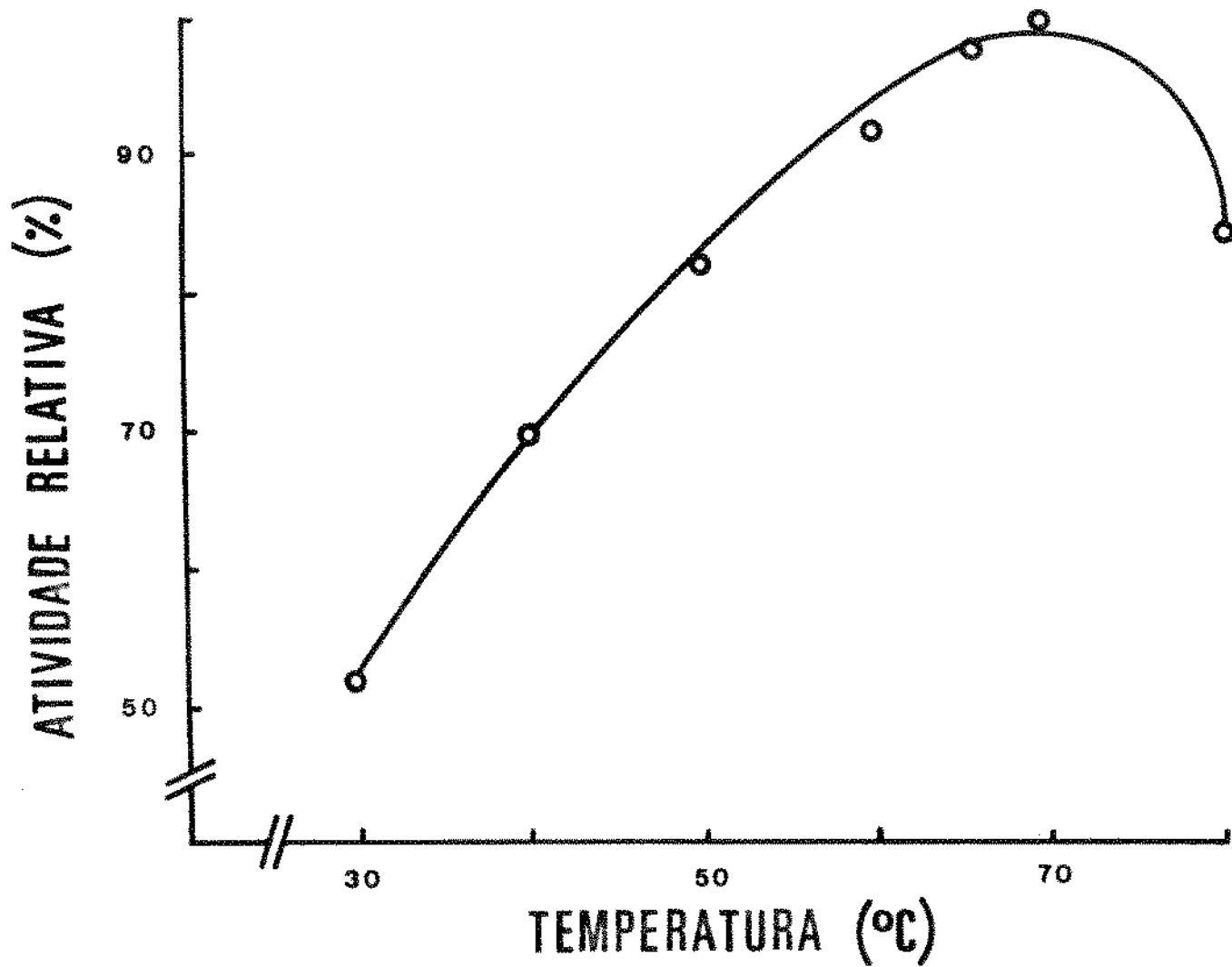
33. HULLINGER, C.H. "Production and uses of cross linked starch" Chem. and Tech" ed. by Whistler, R.L. and Paschall, E.L. Academic Press, N. York (1967).
34. JONES, C.R. "The production of mechanically damaged starch in milling as a governing factor in the diastatic - activity of flour". Cereal Chem., 17, 133 (1940).
35. JULIANO, B.O. and ALDAINA, M.J. "Morphology of Oryza Sativa L". Phillipine Agriculturist, 26, 1 (1937).
36. JULIANO, B.O. "The rice caryopsis and it's composition" in "Rice Chem. and Tech." ed. by Houston D.F., publ. by AACC (1972).
37. JULIANO, B.O. "Physico-chemical properties of starch and protein in relation to grain quality and nutritional value of rice" International Rice Research Institute, (1972).
38. KERR, R.W. "Chem. and Ind. of Starch" 2nd ed., Academic Press, NY (1950).
39. KERR, R.W.; CLEVELAND, F.C. and KATZBECK, W.J. "The action of amyloglucosidase on amylose and amylopectin" J. Am Chem. Soc., 73, 3916-3921 (1951).
40. KROG, N. "Influence of food emulsifiers on pasting temp. and viscosity of various starches" Staerke, 25, 22-27 (1973).

41. LEACH, W.H. "Gelatinization of starch" in Starch Chem. and Tech" ed. by Whistler, R.L. and Paschall, E.F. vol. I. Academic Press, N. York (1967).
42. LEACH, W.H.; McCOWEN, L.D. and SCHOCH, T.J. "Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns" Cereal Chem., 36, 534-544 (1959).
43. LEACH, H.W. and SCHOCH, T.J. "Structure of the starch granule II. action of various amylases on granular starches". Cereal Chem., 38, 34-46 (1961).
44. LEACH, H.W.; SCHOCH, T.J. and CHESSMAN, E.F. "Alkali sorption and gelation of starch". Staerke, 13, 100-102 (1961).
45. LEHNINGER, A.L. "Bioquímica" 4V. Ed. Blucher, SP. (1976).
46. MANGELS, C.E. and BAILEY, C.H. "Modification of wheat Starch with inorganic salts". J.Am. Chem. Soc., 55, 1981, (1947).
47. MENTOVAY, L. and SCHMITZ, A.O. "Gelatinization and cooking in extruded food" (abstract) Cereal Sci Today, 17, 278 (1972).
48. MERCIER, C. and FEILLET, P. "Modification of Carbohydrate components by extrusion - cooking of cereal products" Cereal Chem., 52, 283-297 (1975).
49. MILLER, B.S.; JOHNSON, J.A. and PALMER, D.L. "A comparaison of cereal, fungal and bacterial alpha-amylases as supplements for bread making" Food Technol., 7, 38-45, (1953).

50. MOTTERN, H.H.; SPADARO, J.J. and GALLO, A.S. "Cooking extrusion-expansion of rice" Food Tech., 23, 567-568 (1969).
51. MUELENAERE, H.J. and BUZZAR, J.L. "Cook extruders in service of world feeding" Food Techn., 23, 71-77 (1969).
52. OSMÁN, E.M. and DIX, M.R. "Effect of fats and nonionic surface-active agents on starch pastes". Cereal Chem., 37, 464-475 (1960).
53. OSMÁN, E.M. "Starch in the food industry" in "Starch Chem. and Tech" ed. by Whistler, R.L. and Paschall, E.L. 2V Academic Press, N. York (1967).
54. PEPLINSKY, A.J. and PFEIFER, U.F. "Gelatinization of corn sorghum grits by steam-cooking". Cereal Sci. Today, 15, 144-151 (1970).
55. PETERSEN, N.B. "Edible starches and starch-derived syrups" Noyes Data Co., 1975.
56. POWELL, E.L. "Production and uses of pre-gelatinized starches" in "Starch Chem. and Tech", Vol II, ed. by Whistler, R.L. and Paschall, E.F. Academic Press, N.Y. (1967).
57. PROGNÓSTICO 78/79. edt. por Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da Agricultura, IEA (1977).

58. RADLEY, J.A. "Solubility pattern of various starches -
obtained refractometrically". *Staerke*, 12, 232 (1960).
59. REED, G. "Enzymes in Food Processing". Academic Press, N.
York (1966).
60. SANDSTEDT, R.M. "Fifty years of progress in starch chemistry"
Cereal Sci Today, 31, 17-47 (1965).
61. SANTOS, J.K. "Morphology of the mature grain of Phillipine
rice" *Phillipine J. Sci*, 52, 475 (1933).
62. SCHOCH, T.J. "Measuring the useful properties of starch".
Staerke, 11, 156 (1959).
63. SCHOCH, T.J. "Properties and uses of rice starch" in -
"Starch Chem. and Tech" ed. by Whistler, R.L. and
Paschall, E.F., Academic Press, N.Y. (1967).
64. SCHOCH, T.J. and ELDER, A.L. "Starches in the food industry"
Adv. in Chem. Series, 12, 21-34 (1955).
65. SHILDENECK, P. and SMITH, C.E. "Production and uses of
acid-modified starch" in "Starch Chem. and Tech" ed. by
Whistler, R.L. and Paschall, E.F.
66. SMITH, O.B. "Why extrusion cooking?" *Cereal Foods World*,
21, 4-7 (1976).
67. STERMER, R.A. "Objective measurement of the color of milled
rice. *Cereal Chem.*, 45, 365 (1968).

68. SULLIVAN, J.W. and JOHNSON, J.A. "Measurement of starch gelatinization by enzyme susceptibility". Cereal Chem., 41, 73 (1964).
69. TKACHUK, R. and TIPPLES, K.H. "Wheat beta-amylases II - Characterization". Cereal Chem., 43, 62-79 (1966).
70. U.S. DEPT. OF AGRICULTURE. "Rice Situation" RS-13, Economic Research Service, (March 1969).
71. WALKER, G.J. and HOPE, P.M. "Action of some alpha-amylases on starch granules" Biochem. J., 86, 452-457 (1963).
72. WEBB, B.D. and STERMER, R.A. "Criteria of Rice Quality" in "Rice Chem. and Tech" ed. by Houston, D.F. publ. by AACC (1972).
73. WHISTLER, R.L. and JOHNSON, C. "Effect of acid hidrolisis on the retrogradation of amylase". Cereal Chem., 25, 418 (1948).
74. WITTE JR, G.C. "Conventional Rice Milling in USA" in "Rice Chem and Tech" ed. by Houston, D.F., publ. by AACC (1972).
75. WOLFROM, M.L. and KHADEM. H.E. "Chemical evidence for the structure of starch" in "Starch Chem. and Tech", ed. by Whistler, R.L. and Paschall, E.F. Vol I p 251-278. Academic Press N. York (1967).
76. ZAKIUDDIN ALI, S. and BHATTACHARYA, K.R. "Starch - retrogradation and starch damage in parboiled rice and flaked rice". Staerke, 28, 233-239 (1976).



Apêndice: Atividade relativa de α -amilase bacteriana "Tena-se" em função da temperatura (a pH = 6,0).