


PROCESSO HIDROTÉRMICO RÁPIDO PARA A PRODUÇÃO
DE FARINHA PRÉ-GELATINIZADA DE MILHO

Por

Jairo Alfonso González Sánchez

Tese apresentada para obtenção
do título de Mestre em
Engenharia de Alimentos



Dr. Ahmed A. El-Dash
Orientador

Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola
Universidade Estadual de Campinas

1977

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Com Amor e Carinho:

À minha mãe, à meu pai e a
todós meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

O autor expressa sua profunda gratidão ao Professor Dr. Ahmed A. El-Dash pela orientação, ensinamentos e amizade oferecidos durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos Drs. Cesar F. Ciacco e José L. Agapito Fernandes pelas valiosas sugestões e a colaboração prestada.

À Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola pelas facilidades concedidas para a execução do trabalho.

À Organização dos Estados Americanos pelo apoio econômico.

Ao Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Bogotá - Colômbia, pela ajuda e apoio prestados.

À minha família, aos meus amigos e a todas as pessoas que sempre me incentivaram e apoiaram.

III. MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
A. MATERIAIS.....	19
1. Matérias Primas.....	19
2. Equipamento.....	19
B. MÉTODOS EXPERIMENTAIS.....	20
1. Preparação de suspensões de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada de milho de diferentes concentrações.....	20
2. Preparação de misturas de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada de milho.....	20
3. Processo de gelatinização de "grits" de milho por tratamento com vapor.....	21
4. Processo de gelatinização por extrusão.....	23
C. MÉTODOS ANALÍTICOS.....	25
1. Determinação da viscosidade.....	25
2. Índice de absorção de água.....	26
3. Índice de solubilidade em água.....	27
4. Granulometria.....	27
5. Umidade.....	28
6. Proteína.....	28
7. Gordura.....	28
8. Cinzas.....	28
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
A. CARACTERÍSTICAS DA FARINHA DE MILHO E DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA DE MILHO.....	29
1. Efeito da concentração de farinha nas características de viscosidade.....	29
a) Farinha de milho.....	29
b) Farinha de milho pré-gelatinizada.....	30

2. Efeito da adição de farinha de milho sobre as características de farinha pré-gelatinizada de milho.....	35
a) Efeito na viscosidade.....	35
b) Efeito na capacidade de absorção e solubilidade em água.....	42
B. PROCESSO DE GELATINIZAÇÃO POR TRATAMENTO TÉRMICO COM VAPOR.....	45
1. Características da matéria prima.....	45
2. Efeito do tempo de maceração à temperatura ambiente e o tempo de tratamento térmico nas características das farinhas pré-gelatinizadas..	49
a) Correlação entre tempo de maceração e umidade.....	49
b) Efeito sobre a viscosidade.....	49
c) Efeito sobre a capacidade de absorção e solubilidade.....	61
d) Comparação da viscosidade entre a farinha de milho e a farinha pré-gelatinizada.....	64
3. Efeito da temperatura de maceração nas características das farinhas pré-gelatinizadas.....	66
a) Correlação entre tempo de maceração e umidade.....	66
b) Efeito sobre a viscosidade.....	66
c) Efeito sobre a capacidade de absorção e solubilidade.....	74
4. Comparação das farinhas pré-gelatinizadas por tratamento térmico nas condições de operação para obter o máximo grau de gelatinização.....	74
C. PROCESSO DE GELATINIZAÇÃO POR EXTRUSÃO.....	77

1. Características das matérias primas.....	77
2. Características das farinhas pré-gelatiniza das por extrusão.....	78
D. COMPARAÇÃO ENTRE A PRÉ-GELATINIZAÇÃO POR TRATA MENTO COM VAPOR E A PRÉ-GELATINIZAÇÃO POR EXTRU SÃO.....	85
1. Características das farinhas.....	85
2. Processo de elaboração.....	86
V. CONCLUSÕES.....	92
VI. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	95
VII. BIBLIOGRAFIA.....	96

ÍNDICE DE TABELAS

1. Variação das características de viscosidade a dife rentes concentrações de farinha de milho.....	31
2. Variação das características de viscosidade a dife rentes concentrações de farinha de milho pré-gela tinizada.....	34
3. Efeito da adição de farinha de milho nas caracte rísticas de milho pré-gelatinizada.....	40
4. Composição química do "grits" grosso de milho.....	46
5. Análise granulométrica do "grits" grosso de milho...	46
6. Características de viscosidade do "grits" grosso de milho.....	48
7. Efeito do tempo de maceração sobre as característi cas de viscosidade das farinhas de milho pré-gelati nizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 1 minuto.....	53
8. Efeito do tempo de maceração sobre as característi	

cas de viscosidade das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 5 minutos.	54
9. Efeito do tempo de maceração sobre as características de viscosidade das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 15 minutos...	55
10. Efeito do tempo de maceração à temperatura ambiente e o tempo de tratamento térmico sobre os índices de absorção de água das farinhas pré-gelatinizadas de milho.....	62
11. Efeito do tempo de maceração à temperatura ambiente e o tratamento térmico sobre os índices de solubilidade em água das farinhas pré-gelatinizadas de milho.....	63
12. Efeito da temperatura de maceração sobre as características de viscosidade das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 1 minuto (tempo de maceração = 1 hora).....	71
13. Efeito da temperatura e tempo de maceração sobre as características de viscosidade das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 1 minuto.....	73
14. Efeito da temperatura e tempo de maceração sobre os índices de absorção e solubilidade em água das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 1 minuto.....	75
15. Comparação de características das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor nas condições de operação para obter o máximo grau de gelatinização.....	76
16. Composição química das matérias primas usadas na pré-gelatinização por extrusão.....	79
17. Análise granulométrica do "grits" fino de milho.....	79
18. Análise granulométrica da farinha de milho.....	80
19. Características viscoamilográficas das matérias pri	

mas usadas na pré-gelatinização por extrusão.....	81
20. Características das farinhas de milho pré-gelatiniza <u>das</u> por extrusão (matéria prima: "grits" de milho - DM = 1014 μ).....	83
21. Características das farinhas de milho pré-gelatiniza <u>das</u> por extrusão (matéria prima: farinha de milho - DM = 174 μ).....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Efeito da concentração na viscosidade de farinha de milho.....	32
2. Correlação logarítmica entre a viscosidade e a concen <u>tração</u> de farinha de milho.....	33
3. Efeito da concentração na viscosidade de farinha pré-gelatinizada de milho.....	36
4. Correlação logarítmica entre a viscosidade e a concen <u>tração</u> de farinha pré-gelatinizada de milho.....	37
5. Efeito da concentração na viscosidade inicial (25°C) e na viscosidade final (50°C) de farinha pré-gelatinizada de milho.....	38
6. Correlação logarítmica entre a viscosidade inicial (25°C) e final (50°C) e a concentração de farinha pré-gelatinizada de milho.....	39
7. Efeito da adição de farinha de milho na viscosidade de farinha de milho pré-gelatinizada.....	41
8. Variação da viscosidade máxima de misturas de farinha de milho e farinha de milho pré-gelatinizada.....	43
9. Efeito da adição de farinha de milho na capacidade de absorção e solubilidade de farinha de milho pré-gelatinizada.....	44

10. Correlação entre o tempo de maceração à temperatura ambiente (28-30°C) e a porcentagem de umidade no "grits" de milho.....	50
11. Efeito do tratamento térmico a 118°C na viscosidade do "grits" grosso de milho.....	52
12. Variação de viscosidade a 95°C com o tempo de maceração à temperatura ambiente (28-30°C).....	56
13. Variação da viscosidade após 20 minutos a 95°C com o tempo de maceração à temperatura ambiente (28-30°C)..	58
14. Variação da viscosidade final a 50°C com o tempo de maceração à temperatura ambiente (28-30°C).....	60
15. Comparação de viscosidade entre farinha de milho e farinha de milho pré-gelatinizada por tratamento com vapor.....	65
16. Modificação dos grânulos de amido de farinha de milho, pelo aquecimento e resfriamento em meio aquoso.....	67
17. Modificação dos grânulos de amido de farinha de milho pré-gelatinizada por tratamento com vapor, pelo aquecimento e resfriamento em meio aquoso.....	68
18. Correlação entre tempo de maceração a 60 e 70°C e a umidade no "grits" de milho.....	69
19. Efeito da temperatura de maceração na viscosidade das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 1 minuto.....	72
20. Fluxograma da obtenção de "grits" grosso de milho....	87
21. Fluxograma da obtenção de farinha pré-gelatinizada de milho por tratamento com vapor.....	88
22. Fluxograma da obtenção de "grits" fino de milho.....	90
23. Fluxograma da obtenção de farinha pré-gelatinizada de milho por extrusão.....	91

RESUMO

Foi desenvolvido um processo hidrotérmico rápido para produção de farinha pré-gelatinizada de milho, e estudadas variáveis que afetam o grau de gelatinização do produto, a fim de estabelecer condições apropriadas de processamento. A umidificação de "grits" de milho, com diâmetro médio igual a 378μ , usado como matéria prima, foi feita por maceração em água, variando-se o tempo desde 15 minutos até 20 horas e usando-se temperaturas de maceração de 28 - 30°C (temp. ambiente), 50, 60 e 70°C. A gelatinização foi feita por tratamento do "grits" com vapor a 118°C sob pressão, por períodos de tempo de 1, 5 e 15 minutos. Todos os produtos, após o tratamento térmico foram submetidos a secagem, com circulação de ar a 40 - 50°C e moagem final. Além disso, farinhas pré-gelatinizadas por extrusão foram produzidas experimentalmente para efeito de comparação de processos de gelatinização.

O grau de gelatinização dos produtos obtidos foi avaliado medindo-se a viscosidade pelo viscoamilógrafo Brabender e determinando-se a capacidade de absorção de água e o índice de solubilidade destes.

O efeito da concentração de farinha de milho e farinha de milho pré-gelatinizada na viscosidade em meio aquoso e a variação das características de viscosidade, absorção de água e solubilidade de misturas das duas farinhas em diferentes proporções foram estudados.

Os resultados obtidos indicaram que existe uma correlação linear entre o logaritmo da concentração e o logaritmo da viscosidade das suspensões aquosas de farinha de milho e farinha de milho pré-gelatinizada. A adição de farinha de milho afetou as características de viscosidade, absorção de água e solubilidade da farinha de milho pré-gelatinizada. Houve diminuição da

viscosidade inicial e da capacidade de absorção de água, enquanto que a viscosidade máxima e a viscosidade no ciclo de temperatura constante alcançaram valores mínimos com 30% de adição de farinha de milho. A viscosidade final depois do resfriamento variou em relação direta com a porcentagem de farinha de milho adicionada.

O grau de gelatinização das farinhas pré-gelatinizadas pelo processo hidrotérmico dependeu diretamente da umidade do "grits" e da intensidade do tratamento térmico. Durante a hidratação do material, por maceração em água à temperatura ambiente, a umidade aumentou em relação direta com o tempo entre 0 e 5 horas, mas não apresentou modificações significativas com tempos maiores (até 20 horas). O aumento da temperatura de maceração aumentou a velocidade de absorção de água do "grits".

O grau máximo de gelatinização obtido pelo processo hidrotérmico foi conseguido com diferentes condições de maceração e tratamento térmico. Usando-se o tratamento por vapor por 1 minuto foi necessário aumentar previamente a umidade do "grits" até 30%, através de 5 horas de maceração em água a 28°C. Um nível de umidade do "grits" de 27% foi suficiente quando foi usado o tratamento por vapor por 15 minutos. Neste caso foram necessárias 2 horas de maceração a 28°C. O tempo de maceração pode ser diminuído em até 30 minutos quando uma temperatura de 70°C foi usada, juntamente com um posterior tratamento por vapor de 1 minuto.

Na pré-gelatinização de "grits" de milho pelo processo por extrusão, a umidade do material afetou inversamente o grau de gelatinização das farinhas.

Neste trabalho, pelo uso do processo hidrotérmico, foi possível produzir-se, de "grits" de milho, farinha pré-gelatinizada com características de viscosidade semelhantes às obtidas pelo processo por extrusão. Esse resultado se mostra altamente interessante, pois o processo hidrotérmico é mais simplifica

do, com menos etapas de preparação de matéria prima e usa um sistema de tratamento térmico mais simples do que o processo por extrusão.

SUMMARY

Due to the high cost of the installation of presently-existing equipment for the pregelatinization of flour, a simplified hydrothermal process for the production of pre-gelatinized corn flour was developed; this should permit adoption by small and medium-sized corn industries.

The degree of gelatinization of corn flour was measured by determining its viscosity with the Brabender visco-amylograph as well as its water absorption and solubility index. A linear correlation was found between the logarithm of concentration and the logarithm of viscosity of the aqueous suspensions of both corn flour and pre-gelatinized corn flour.

The degree of gelatinization of corn flour during the hydrothermal treatment was found to depend directly on the moisture content of the grits and the steaming period. During the soaking of grits in water at room temperature, the moisture content increased in a direct relation to time, reaching a maximum of 30% after 5 hours. A longer soaking time of up to 20 hours resulted in no additional increase in moisture content. Increasing the temperature of the soaking water to 70°C resulted in an increase in the rate of absorption of water of the grits, permitting a reduction of soaking time to only 30 minutes.

Steaming of pre-soaked grits with 30% moisture content for 1 minute at 118°C gave approximately the same degree of gelatinization as steaming pre-soaked grits with 27% moisture content for 15 minutes at 118°C. Pre-gelatinized corn flour can thus be produced either by soaking coarse corn grits (DM = 3781 μ) in water at room temperature for 5 hours or at 70°C for 30 minutes, followed by 1 minute of steaming at 118°C, or by soaking corn grits at room temperature for 2 hours, followed by steaming for 15 minutes at 118°C. The steamed corn grits are then dried at 40-

50°C and milled to the desired particle size. Pre-gelatinized corn flour produced by this procedure was similar in viscosity to that produced by the extrusion process.

I. INTRODUÇÃO

Os cereais são atualmente uma das mais importantes fontes alimentícias para o homem, como o têm sido por milênios e continuarão sendo por muitos anos (18). Pela magnitude da sua produção, o milho, junto com o trigo e o arroz, ocupa um lugar de importância entre os cereais cultivados no mundo. A produção anual de milho é equivalente a quase uma quarta parte do total de cereais (25).

Embora uma alta porcentagem da produção mundial de milho esteja sendo destinada para alimentação animal (55), a sua importância como alimento humano não pode ser esquecida principalmente na América Latina, onde constitui um alimento básico para muitos povos (34). Como fonte protéica, o milho fornece na América Latina aproximadamente 13% das proteínas ingeridas pela produção (62), além de ser uma das principais fontes de calorias.

De uma maneira geral, pode-se dizer que as formas de consumo do milho na alimentação humana na América Latina envolvem ainda técnicas de preparação tradicionais e pouco práticas, devido em parte ao baixo grau de industrialização existente, o que limita o uso de produtos processados. Esta característica tem ocasionado uma tendência de não utilização do milho como alimento humano promovendo indiretamente o consumo de outros produtos elaborados de matérias primas menos disponíveis, como é o caso do trigo (16).

Uma forma de promover o aumento do consumo humano do milho, é através da elaboração de produtos de uso prático, na forma de alimentos de preparação rápida ou instantânea. Isto pode ser efetuado no caso dos cereais através do processo de gelatinização (52). Uma farinha pré-gelatinizada é um produto submetido a um tratamento térmico prévio, o que facilita seu uso no preparo dos alimentos tradicionalmente feitos a base de milho

(45), e que além disso pelas propriedades funcionais que apresenta, tem outras formas de aplicação.

A nível industrial estão sendo usados diversos processos para a manufatura de farinhas pré-gelatinizadas, usando-se métodos que combinam tratamentos térmicos e mecânicos para produzir a gelatinização do produto. Esses processos têm sido desenvolvidos em países altamente industrializados, e fazem uso de tecnologias sofisticadas que implicam no emprego de equipamentos e instalações de alto custo, para grandes capacidades de produção. Esses fatores limitam a produção de farinha pré-gelatinizada, pela pequena e média indústria típica da América Latina.

O objetivo deste trabalho consistiu em estudar a possibilidade de elaborar farinha pré-gelatinizada de milho através de um processo de manufatura simplificado e o estabelecimento de condições apropriadas de processamento do produto.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. ASPECTOS GERAIS SOBRE O MILHO

O milho (Zea mays, Linneus) está classificado como uma herbácea monocotiledônea, monóide pertencente à família gramínea (32). Considera-se este cereal como originário do hemisfério ocidental, onde constituiu-se num alimento básico das antigas civilizações que povoaram esta parte do mundo (55). Atualmente, pela multiplicidade de aplicações como alimento humano, como alimento de animais, e pelos seus usos industriais, o milho é um dos cereais mais cultivados do mundo (45).

De acordo com os dados estatísticos da FAO (25), em 1975 a produção mundial de milho foi de 322,5 milhões de toneladas, quantidade equivalente ao 22% da produção total de cereais. O maior produtor de milho no mundo é o Estados Unidos, com uma produção equivalente a 46% da produção mundial. A América do Sul produz um pouco menos de 10% do total, sendo o Brasil o maior produtor desta área e o segundo no mundo, com uma produção da ordem de 16 milhões de toneladas por ano.

Segundo dados obtidos por Senti e Shaefer (55), a nível mundial na metade da década passada, 67% do milho era usado na alimentação animal, 29% na alimentação humana e 4% para fins industriais diversos.

Como alimento humano, a forma de consumo do milho varia de região para região. As principais áreas onde o milho é consumido como um alimento básico são México, América Central, América do Sul e África (34), apresentando estas regiões os maiores índices de consumo per capita (15).

Na América Latina, os principais países consumidores de milho são: Guatemala, México, Nicarágua, Salvador, Colômbia e Bolívia, onde o consumo diário varia entre 120 e 350 g por habitante (15). O consumo per capita de milho no Brasil está próximo

de 100g por dia.

Nos países mais industrializados o milho para o consumo humano é processado pelas indústrias de moagem por via seca e por via úmida (34), ao contrário dos países latinoamericanos onde o uso de produtos industrializados de milho ainda é limitado, e são empregados métodos de preparação que envolvem operações de torrefação, cozimento e moagem de grão.

Na procura de novas e mais práticas formas de consumo de milho, há algum tempo estão sendo produzidas farinhas pré-gelatinizadas ou instantâneas, cujo emprego no preparo de alimentos tem sido crescente no Brasil e em outros países latinoamericanos, substituindo as farinhas de milho tradicionalmente usadas.

B. CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS DO MILHO

Muitas análises em diferentes variedades de milho tem demonstrado plenamente que este é um alimento de baixo teor de proteínas e alto teor de carboidratos, o que faz com que o milho, como todos os cereais, seja considerado uma excelente fonte calórica (15).

A composição de aminoácidos em milho normal apresenta como característica a baixa concentração de dois aminoácidos essenciais, lisina e triptofano. Esta talvez seja a principal causa da baixa qualidade da proteína de milho normal, evidenciada através de estudos biológicos em ratos, que tem mostrado valores de PER entre 0,90 e 1,50 para diferentes variedades (14).

Muitos esforços tem sido feitos visando o melhoramento e o melhor aproveitamento da proteína do milho. Assim, novas variedades de melhor qualidade nutricional, tais como o milho opaco 2, foram desenvolvidas. A alta qualidade nutricional do milho opaco tem sido demonstrada através de diversos estudos (15). Valor de PER de 2,80 tem sido determinado para milho opaco, demonstrando igualmente que sua proteína apresenta maior digestibi

lidade e maior valor biológico que a proteína de milho normal (15).

C. ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DO MILHO

1 - Estrutura

Earle et al (24) estudaram detalhadamente as proporções e composição média das partes componentes do grão de milho. Ele é composto de quatro partes principais: pericarpo, germe, endosperma e glumelas.

O pericarpo é composto do conjunto de camadas exteriores que rodeiam o grão e representa 5,5% do total. A parte que contém a maior parte do óleo do milho é o germe, que constitui cerca de 11,5% do grão e é uma porção altamente nutritiva pelo seu alto teor de proteína (19%) e sais minerais. A maior e mais importante fração do grão é o endosperma, que representa 82% do total, sendo constituído principalmente por amido (86%) e proteína (9%). Existe mais uma pequena porção do grão (0,8%), as glumelas, que são os resíduos do tecido que liga o grão ao sabugo.

2 - Composição química

Os principais componentes químicos do milho são proteínas, lipídeos e amido. Ele contém também quantidades menores de fibra, açúcares, minerais e outras substâncias orgânicas como as vitaminas lipossolúveis (33).

a) Proteínas

As proteínas do milho constituem aproximadamente 10% do grão, e concentram-se principalmente no endosperma e no germe (14). Quantitativamente as proteínas que predominam no milho são as prolaminas (solúveis em álcool) e neste grupo especificamente a zeína que equivale a 50% das proteínas totais. A segunda fração de importância está constituída pelas glutelinas que agrupam

as proteínas solúveis em álcalis (33).

Bressani e Mertz (14) determinaram que as prolaminas estão concentradas no endosperma e as glutelinas no germe, o que explica as diferenças em composição de aminoácidos entre as proteínas do endosperma e do germe.

b) Lipídeos

O conteúdo de lipídeos do milho está em torno de 5%, sendo que 85% dos mesmos estão presentes no germe. Os lipídeos do milho encontram-se principalmente como triglicerídeos de ácidos graxos. Breadle et al (9) determinaram que os principais ácidos graxos que compoem o óleo de milho são os ácidos linoléico (59%), oleico (27%) e palmítico (12%).

c) Carboidratos

O milho, como todos os cereais, constitui uma importante fonte de carboidratos. Contém entre 1 e 3% de açúcares totais e aproximadamente 2% de fibra. Entre os açúcares o principal é a sacarose, estando presentes também quantidades menores de glucose, frutose e rafinose. O maior constituinte e principal carboidrato no milho é o amido, que representa aproximadamente 72% dos componentes totais (24, 33).

O amido é um polímero biológico de alto peso molecular formado na planta pela condensação progressiva de unidades de glucose (53). Está constituído por dois tipos de moléculas; um polímero linear que é a amilose e um polímero ramificado, a amilopectina, os que diferem em peso molecular e estrutura química.

A amilose está constituída por unidades de glucose (200 - 1000), unidas por ligações glicosídicas α -D (1,4); enquanto que a amilopectina contém ligações glicosídicas α -D (1,4) e periodicamente ligações α -D (1,6) nos pontos de ramificação (42). A maioria dos amidos comuns, milho, batata, trigo, mandioca,

apresentam as duas frações. No amido de milho normal, a proporção é de 24 - 27% de amilose e 73 - 76% de amilopectina (53).

A observação microscópica mostra que o amido está organizado em pequenos grânulos, cujo tamanho e forma são geneticamente controlados. Chabot et al (17) observaram que o amido de milho normal está constituído por grânulos poligonais e esféricos. Os tamanhos variam desde 10 μ nas esferas pequenas até 25 - 40 μ de diâmetro para os grânulos grandes irregulares.

Sobre a natureza da arquitetura molecular dos grânulos de amido, tem sido estabelecido que existem regiões amorfas, nas quais as moléculas não tem uma ordem particular e regiões cristalinas onde as moléculas estão arranjadas em forma de rede e apresentam um modelo cristalino de difração de raios X (58).

Dentro do grânulo de amido, as duas frações componentes dispõem-se radialmente, associadas por ligações de hidrogênio (37, 42). As áreas cristalinas ou "micelas" formam-se quando as cadeias lineares de amilose e os segmentos lineares externos das moléculas de amilopectina se arranjam paralelamente, constituindo regiões de alto grau de associação. Entre essas áreas "micelares", encontram-se regiões de maior ou menor carácter amorfo, onde as ligações de hidrogênio, que associam as moléculas, são mais fracas e as cadeias e ramificações entrecruzam-se mais ou menos, aos acaso (53).

A disposição ordenada das moléculas de amido nas regiões cristalinas, fazem com que a luz polarizada passe através do grão e apresente um padrão característico. Este é o fenómeno da birefringência (52).

D. GELATINIZAÇÃO DO AMIDO

1 - Definição

Dentre as propriedades do amido, é de grande importância prática o seu comportamento em meio aquoso sob a ação de

calor. O grânulo de amido em estado nativo apresenta limitada capacidade de absorção em água fria. Quando uma suspensão aquosa de amido é submetida à ação do calor, os grânulos não se modificam apreciavelmente na sua aparência até atingir uma certa temperatura crítica. A partir deste ponto, inicia-se o enfraquecimento da rede que forma o grânulo, pela quebra das ligações de hidrogênio, ocorrendo a hidratação e entumescimento irreversível do grão. Este fenômeno é conhecido como gelatinização do amido (19, 36, 53).

Schoch e Elder (53) explicam o fenômeno em termos da estrutura do grão. Antes de atingir a temperatura crítica do início da gelatinização, a água somente atinge as áreas "intermicelares" do grânulo. Uma vez que a temperatura necessária é alcançada, inicia-se a ruptura das ligações de hidrogênio mais fracas que caracterizam estas áreas amorfas e o grânulo inicia o seu entumescimento rápido. Este processo continua enquanto a temperatura eleva-se, e mais água penetra no grânulo.

Além do entumescimento, durante a gelatinização do amido, existem outras modificações. Os grânulos perdem a sua birefringência, a solubilidade do amido aumenta, a suspensão torna-se viscosa e mais clara, e o amido fica susceptível à ação das enzimas amilolíticas. Baseados nestas modificações muitos estudos tem sido feitos sobre as características de gelatinização de diferentes amidos (19).

Leach et al (37) pesquisaram sobre o comportamento de diferentes amidos durante a gelatinização, medindo o grau de entumescimento e a solubilidade durante o aquecimento em meio aquoso. O amido de milho apresentou dois estágios de entumescimento, sugerindo que as ligações no grânulo apresentam dois níveis de resistência à ruptura pelo calor.

Diversos autores (6, 10, 27, 40) têm estudado as variações de viscosidade durante a gelatinização do amido. A viscosidade está afetada grandemente pela concentração da suspensão,

pH do meio, e presença de compostos tais como lipídeos e proteínas.

Beckford e Sandstedt (11) verificaram o aumento da claridade da pasta durante a gelatinização, registrando espectro fotrometricamente o aumento de transmissão de luz com a temperatura. Encontraram amplas variações nas características de gelatinização entre amidos de batata, trigo, milho e arroz.

As soluções aquosas de certas substâncias podem gelatinizar o amido à temperatura ambiente. Este tipo de gelatinização tem sido denominado gelatinização química (36). Mangels e Bailey (39) gelatinizaram amido de trigo a frio, usando soluções alcalinas em diferentes concentrações. A gelatinização química usando compostos alcalinos, ocorre somente quando o amido absorve uma certa quantidade crítica de álcali. Esta quantidade é maior para amido de milho que para amido de batata (19).

2 - Intervalo de Temperatura de Gelatinização

Em um determinado amido, nem todos os grânulos gelatinizam-se a uma mesma temperatura, mas sim num intervalo de 8 a 10°C (36). Diversos métodos tem sido estudados para medir a faixa de temperatura de gelatinização do amido, e os resultados sugerem que a temperatura de gelatinização é um ponto bastante arbitrário, que varia de acordo com o método usado para sua determinação.

Schoch e Maywold (54) determinaram, para amido de milho, um intervalo de gelatinização de 62 - 73°C com base na perda de birefringência do grânulo. Definiram a temperatura média de gelatinização como aquela, na qual, 50% dos grânulos perderam a sua birefringência.

Sullivan e Johnson (59) encontraram um alto índice de correlação entre as medidas da temperatura média de gelatinização por perda de birefringência, e as medidas pela quantidade de maltose produzida após 3 horas de hidrólise com beta amilase.

Para amido de milho, a temperatura média de gelatinização foi de 66°C, definida como a temperatura na qual são produzidas 5 mg de maltose pela ação enzimática.

Outros pesquisadores (30) verificaram que através do visco-amilógrafo foi possível determinar a temperatura inicial da gelatinização do amido, definida como o ponto da curva onde começa a aumentar a viscosidade, num ciclo de aquecimento controlado.

Goering et al (29) demonstraram que na temperatura final de birefringência a porcentagem máxima de gelatinização foi de 80%, medida enzimaticamente, e concluíram que é incorreto definir a temperatura de gelatinização através da perda de birefringência do grânulo.

3 - Retrogradação

Uma propriedade importante do amido, estreitamente relacionada com o fenômeno da gelatinização, e de importância na tecnologia dos alimentos, onde o amido é incluído como componente, é o fenômeno da retrogradação.

A retrogradação representa a transformação espontânea do amido a um estado menos solúvel ou menos hidratado. Ela ocorre principalmente pela agrupação das moléculas lineares, o que ocasiona a formação de gels ou precipitados insolúveis (53).

Durante a gelatinização simultaneamente com o entumescimento do grânulo de amido, ocorre a solubilização de uma porção dos componentes moleculares do grão. Assim sendo, uma suspensão de amido a alta temperatura pode ser considerada como uma mistura de grânulos entumescidos e fragmentos dispersos de grânulos, agrupados com as moléculas de amido. Estes elementos apresentam tendência a se associarem ou retrogradar quando a pasta é resfriada, formando um gel rígido de viscosidade elevada (36).

O fenômeno de retrogradação é explicado pelo alinhamento dos fragmentos de amilose solúveis, que são ligados através

de pontes de hidrogênio (53). Leach (36) reconhece tres fatores básicos que influem na retrogradação: concentração de amilose, comprimento das moléculas de amilose e o estado de dispersão das cadeias lineares.

Freeman e Verr (27), gelatinizando amido de milho e sorgo em suspensão aquosa, estudaram o efeito da temperatura, tempo de aquecimento, concentração de amido, e pH sobre a magnitude da retrogradação, medida através do aumento relativo da viscosidade no resfriamento da pasta. Sugerem que a máxima tendência à retrogradação ocorre quando os grânulos estão suficientemente concentrados para permitir que as moléculas lineares solúveis se agrupem com os grânulos entumescidos para produzir um grande aumento da viscosidade pelo resfriamento.

E. ELABORAÇÃO DE FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE MILHO

1 - Aspectos Gerais

Farinha de milho pré-gelatinizada é produzida e comercializada nos Estados Unidos há mais de 50 anos para diversos usos industriais e alimentícios. Nos países da América Latina e particularmente no Brasil, nos últimos anos, a elaboração e uso alimentício de farinha pré-gelatinizada de milho tem sido crescente (45).

Sendo o amido o principal constituinte do milho ou de qualquer cereal, quando uma farinha ou "grits" são suficientemente aquecidos por qualquer meio, com um adequado nível de umidade, os grânulos de amido presentes irão gelatinizar. Este é o princípio básico da elaboração de farinha pré-gelatinizada (52).

Pelo uso deste tipo de tratamento, consegue-se modificar uma série de propriedades funcionais da farinha, tais como a capacidade de absorção de água, a solubilidade, e as propriedades de viscosidade num sistema aquoso, capacitando este produto a novos e variados usos na alimentação (52, 60).

Por ser um produto pré-cozido, uma farinha pré-gelatinizada apresenta a vantagem de facilitar o preparo dos alimentos tradicionalmente feitos à base de farinha não gelatinizada de milho, o que é especialmente útil naquelas zonas onde o fornecimento de eletricidade e combustíveis são limitados (49).

Além de milho, outras matérias primas tem sido usadas em produtos pré-gelatinizados de cereais, tais como arroz (48, 51), e sorgo (4, 7, 21, 50). Além disso, cereais pré-gelatinizados tem sido enriquecidos com produtos de alto teor proteico (22, 57).

2 - Medida do Grau de Gelatinização em Farinhas Pré-Gelatinizadas

As propriedades funcionais das farinhas pré-gelatinizadas de milho estão fundamentalmente em função do grau de modificação que sofre o amido, durante o processamento (16). Diversas técnicas tem sido usadas para obter informação sobre o grau de gelatinização do amido em farinhas de milho, sendo todas elas baseadas nas modificações físicas que sofre o amido, durante o processo de gelatinização, tais como a capacidade de absorção de água, a sua capacidade para contribuir na viscosidade de um sistema aquoso, seu conteúdo de substâncias solúveis em água e sua susceptibilidade a hidrólise por ação enzimática (52).

Mentovay e Schmitz (43) desenvolveram um método quantitativo para determinar o grau de gelatinização de farinha de milho, baseados nas curvas de viscosidade obtidas no viscoamílografo Brabender.

Ferrel e Pence (26) também verificaram a utilidade dos amilogramas na procura de informação sobre o grau de gelatinização. Eles usaram esta técnica para determinar a intensidade de cozimento de arroz termicamente tratado com vapor. Seus resultados indicam que existe uma alta correlação entre a queda de viscosidade que experimenta a pasta quando é mantida a 95°C, por

20 minutos e a intensidade do tratamento térmico do material analisado.

Buckle e Pardo (16) estudaram seis métodos diferentes para medir o grau de gelatinização do amido em farinhas em milho pré-gelatinizadas. Tomando como referência o grau de gelatinização determinado por susceptibilidade enzimática, encontraram que outros métodos, que medem características físicas das farinhas, apresentam boa correlação com o método enzimático e que por serem mais simples, deveriam ser utilizados para a caracterização de farinhas pré-gelatinizadas.

3 - Métodos de elaboração de farinha pré-gelatinizada de milho

Geralmente, a matéria prima usada na elaboração de farinha pré-gelatinizada está constituída basicamente pelo endosperma do grão, uma vez que a casca e o germe são removidos. Porém, em alguns casos tem sido usado milho integral moído (7, 47).

Basicamente, utilizam-se três métodos para a produção de farinha pré-gelatinizada em escala industrial: pré-gelatinização com secadores de rolos ("drum dryer"), pré-gelatinização com cilindros aquecidos e pré-gelatinização por extrusão (52).

a) Gelatinização em secadores de rolos ("drum dryer")

A produção de produtos pré-gelatinizados em secadores de rolos, está baseada no aproveitamento do calor transferido da superfície de cilindros aquecidos a vapor ao material previamente umedecido, que vai ser gelatinizado (28). Uma suspensão aquosa de farinha (30 - 40% sólidos) ou uma pasta pré-cozida de farinha, é passada através de dois cilindros de aço em rotação, onde sofre um severo tratamento térmico que produz a gelatinização do amido com secagem simultânea do material (52). Os produtos obtidos por este processo caracterizam-se por ter um elevado

grau de gelatinização, como mostram suas altas capacidades de absorção de água e solubilidade (28).

A principal desvantagem deste processo é o alto custo de operação em razão das grandes quantidades de água que devem ser evaporadas por unidade de tempo (52).

b) Gelatinização com cilindros aquecidos

Neste método de pré-gelatinização, a matéria prima ("grits" ou farinha) é previamente acondicionada para elevar o seu teor de umidade até 20 - 30%, através de adição de água ou tratamento com vapor. De maneira similar ao sistema de gelatinização em secadores de rolos, neste caso o amido é gelatinizado pelo contato do material úmido com os cilindros em rotação a alta temperatura; porém o grau de gelatinização que alcança o produto é menor devido ao baixo nível de umidade usado (3, 52).

Existe pouca informação sobre os fatores que afetam as características dos produtos obtidos por este processo. Sabe-se, porém, que o grau de gelatinização dos materiais é afetado pelo conteúdo de umidade da matéria prima, o tamanho de partícula, a temperatura, a pressão nos cilindros e o tempo de contato (3).

Anderson et al (2, 3) estudaram como as condições de operação afetam as características das farinhas de milho pré-gelatinizadas pelo sistema de cilindros. Na medida que a pré-gelatinização é feita a maiores temperaturas e maiores níveis de umidade, a farinha obtida apresenta uma maior capacidade de absorção de água, e torna-se ligeiramente mais solúvel. A temperatura afeta igualmente a viscosidade da farinha, produzindo aumento na viscosidade a frio e redução na viscosidade da pasta aquecida.

c) Gelatinização por extrusão

O sistema de extrusão é o de mais recente uso na elaboração de produtos gelatinizados. Neste processo, atuam esforços mecânicos, além de calor e pressão, para produzir a modifica

ção do material (52).

Define-se a cocção-extrusão como o processo no qual um material amiláceo ou proteínáceo umidificado é plastificado num cilindro por uma combinação de pressão, calor e ação mecânica. Este tratamento provoca a gelatinização do amido presente, a desnaturação das proteínas e a expansão exotérmica do produto extrudado (56).

i. Princípios básicos da extrusão

Para produzir a pré-gelatinização de um material amiláceo por extrusão, a matéria prima deve ser inicialmente pré-acondicionada para elevar o seu conteúdo de umidade e temperatura, antes de entrar no cilindro de extrusão. Uma vez esta operação é feita, o produto é transportado ao cilindro de extrusão, onde é comprimido e aquecido, atingindo temperaturas entre 100 - 170°C, sendo depois forçado a passar através de uma matriz de múltiplas perfurações na sua superfície. Nesta seção onde a energia gerada por fricção é convertida em calor, ocorre a pré-gelatinização do material.

Quando o material extrudado deixa a matriz, sofre uma expansão violenta devido à transição desde a alta pressão de extrusão até as condições ambientais. Logo após a expansão inicial o material se contrai até atingir um diâmetro de equilíbrio, que é consideravelmente menor que o inicial e que depende da composição do produto extrudado (49).

ii. Efeito das condições de processamento nas características do produto

Os parâmetros mais importantes que afetam as características de um produto pré-gelatinizado por extrusão, são a umidade do material, a temperatura no cilindro de extrusão, o grau de compressão, o tempo de residência, e o tamanho de partícula (2, 4, 20, 21, 44).

Mercier e Feillet (44) estudaram detalhadamente os efeitos da temperatura de extrusão e da umidade do material sobre a estrutura dos carboidratos solúveis em água e em etanol (80%), e sobre características típicas dos produtos, como a viscosidade em meio aquoso, a capacidade de absorção de água e a solubilidade; usando como matéria prima "grits" de milho. Seus resultados mostraram que a temperatura de extrusão afetou diretamente o índice de solubilidade em água e o conteúdo de carboidratos solúveis em água dos produtos pré-gelatinizados, e inversamente a viscosidade da pasta e a fração de carboidratos solúveis em álcool (80%). O índice de absorção de água apresentou um valor máximo quando a temperatura foi de 180 - 200°C durante a extrusão. O aumento do conteúdo de umidade do "grits" antes da extrusão produziu diminuição na solubilidade, enquanto a viscosidade e o índice de absorção de água aumentaram.

Outros pesquisadores (2, 3, 20) verificaram também os efeitos das condições de operação nas características de produtos pré-gelatinizados por extrusão, a partir de "grits" de milho e obtiveram resultados similares aos obtidos por Mercier e Feillet (44). Eles verificaram que no processo de extrusão, o trabalho mecânico a que o material é submetido, contribui grandemente na modificação do amido.

Anderson et al (5) e Conway et al (23) chegaram a concluir que, sob o ponto de vista de aplicação no preparo de alimentos, o processo de extrusão é altamente versátil em vista da sua capacidade para produzir farinhas pré-gelatinizadas de diversas propriedades funcionais, dependendo da seleção adequada das condições de operação.

Alterações no teor vitamínico do produto durante o processamento por extrusão, também tem sido estudadas (12, 49). Beetner et al (12) encontraram que a degradação de tiamina é afetada principalmente pela temperatura, enquanto que a degradação de riboflavina depende do conteúdo de umidade do material.

Muelenaere e Buzzard (49) demonstraram que os produtos processados por extrusão são de boa qualidade bacteriológica, inclusive nos casos em que a matéria prima utilizada estava altamente contaminada por microrganismos.

F. USOS DE FARINHA PRÉ-GELATINIZADA DE MILHO

Nos Estados Unidos, grande parte das pesquisas feitas sobre a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas de milho (2, 4, 20, 50), tem sido feitas visando seu emprego como ingredientes básicos em alimentos instantâneos tipo C.S.M. (corn-soy-milk) usados na alimentação infantil (5). Neste tipo de produto de alto valor nutritivo, além de ser a principal fonte de carboidratos, a farinha pré-gelatinizada de milho é altamente responsável pelo comportamento funcional da mistura em suspensão aquosa; devido à importância das suas características de absorção de água, solubilidade e viscosidade.

Na América Latina têm sido desenvolvidas e comercializadas misturas vegetais do mesmo tipo do C.S.M., tais como Incaparina, Colombiharina e Cerealina, entre outras, sendo a farinha pré-gelatinizada de milho usada como componente básico. As farinhas pré-gelatinizadas têm sido aplicadas no preparo de alimentos tradicionalmente feitos com farinha de milho normal, nos diferentes países da América Latina, onde este cereal forma parte importante da dieta alimentícia (60).

Diversos estudos (8, 38, 40, 46, 61) têm sido publicados sobre a possibilidade de aplicação de farinha pré-gelatinizada de milho como substituinte parcial da farinha de trigo em panificação, preparo de bolos, bolachas e pastas alimentícias.

Matthews et al (40) determinaram que o grau de gelatinização e o nível de substituição de farinha de trigo por farinha pré-gelatinizada de milho causam alterações nas propriedades reológicas da massa, mas não afetam significativamente a caracte

rísticas do pão, e portanto concluem que seria viável a possibilidade de empregar farinha pré-gelatinizada de milho na elaboração de pão. Resultados similares foram obtidos por Bär (8).

Vitti (61) experimentou o uso de farinha pré-gelatinizada de milho na elaboração de bolos e bolachas, chegando a concluir que é possível substituir até 40% da farinha de trigo sem afetar as características do produto.

A possibilidade de aplicação de farinha pré-gelatinizada de milho, na elaboração de pastas alimentícias tem sido estudada (38, 46). Molina et al (46) verificaram as vantagens de usar farinha pré-gelatinizada em lugar de farinha normal como substituinte de trigo na fabricação de pastas alimentícias, enquanto que Leitão et al (38) acharam possível usar até 30% de farinha pré-gelatinizada de milho sem afetar as características do produto.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. MATERIAIS

1 - Matérias primas

a) "Grits" de milho

"Grits" é um termo comumente usado nas indústrias de milho e refere-se a grânulos de endosperma de milho. "Grits" são produzidos através de degerminação e descascamento de grãos de milho.

"Grits" grosso, "grits" fino e farinha de milho comerciais, obtidos da firma Minasa S.A., Campinas, S.P., foram utilizados como matérias primas para a obtenção experimental de farinha pré-gelatinizada.

b) Farinha pré-gelatinizada de milho

Farinha pré-gelatinizada de milho comercial, produzida pela mesma industria também foi utilizada.

2 - Equipamentos

Autoclave Dixie Canner Equipment Co. Modelo RD-TI-3. Provida com sistema de mando digital SET Programmer Taylor Instruments Co.

Extrusor Wenger Manufacturing Co. Modelo X-25 CF-CB.

Secador Wenger Manufacturing Co. Modelo 600.

Moinho de martelos de rotação livre. Tipo CV-2.

Viscoamilógrafo Brabender, Caixa de sensibilidade: 700 cmg.

Centrífuga de laboratorio Damon/IEC Division. Modelo IEC HN-S. Velocidade de rotação de 3000 rpm.

Estufa de laboratorio marca Fanem com circulação forçada de ar.

Milivoltímetro Leeds & Northrup. Modelo 8690-2.

Peneiras de laboratorio marca Granutest.

Vibrador para peneiragem marca Produtest.

Além destes equipamentos principais, foram utilizados outros de uso comum no laboratorio.

B. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

- 1 - Preparação de suspensões de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada de milho de diferentes concentrações.

Para estudar o efeito da concentração sobre a viscosidade, foram preparadas suspensões aquosas de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada de milho em diferentes concentrações.

Para a farinha de milho, obtida em laboratório por moagem de "grits" fino na seção de quebra do moinho Brabender Quadrumat Senior até um tamanho menor de 300 μ , usaram-se concentrações de 33,75; 45,00; 56,25; 61,88; 64,71; 67,50; 70,56 e 73,58 grs. de farinha na base de 14% de umidade em 450 ml. de água.

Para a farinha de milho pré-gelatinizada comercial, foram usadas concentrações de 56,25; 67,50; 74,25; 76,50; e 80,00 grs. de farinha na base de 14% de umidade em 450 ml. de água. Em todos os casos, os viscoamilogramas foram obtidos segundo a metodologia descrita na seção de métodos analíticos.

- 2 - Preparação de misturas de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada de milho

Para estudar o efeito da adição de farinha de milho sobre as características da farinha pré-gelatinizada, foram preparadas misturas das duas farinhas em diferentes proporções, em uma quantidade total de 73,58 grs. de mistura (base de 14% de umidade) em cada caso. As proporções usadas em porcentagem foram 100:0; 90:10; 80:20; 70:30; 60:40; 50:50; 40:60; 30:70; 20:80; 15:85; 10:90; 5:95 e 0:100, de farinha pré-gelatinizada de milho

e farinha de milho respectivamente. Cada uma destas misturas teve determinadas suas características de viscosidade, segundo a metodologia descrita na seção de métodos analíticos.

3 - Processo de gelatinização de "grits" de milho por tratamento com vapor

Para a obtenção de farinha de milho pré-gelatinizada por tratamento com vapor, foi usado o "grits" grosso como matéria prima, obedecendo ao seguinte esquema:

a) Maceração do "grits"

Com exceção dos casos em que foi processado com seu nível normal de umidade, o "grits" de milho foi macerado em água para modificar o seu conteúdo de umidade.

i. Maceração à temperatura ambiente

Dois quilos de "grits" foram colocados num recipiente plástico de 5 lts. onde adicionou-se 2 lts. de água à temperatura ambiente, que oscilou entre 28 e 30°C. O material foi deixado em maceração, sem agitação e sem trocar de água, durante o tempo determinado para cada experimento.

ii. Maceração a temperaturas superiores à ambiente

Dois quilos de material foram colocados num recipiente de alumínio, adicionando-se logo após 2 lts. de água previamente aquecida à temperatura determinada para cada experimento (50, 60 ou 70°C). O recipiente foi depois mantido num banho termostático à temperatura adequada para manter o material à temperatura desejada, durante o tempo requerido para cada caso. Para evitar aquecimento excessivo do material colocado no fundo do recipiente, foi necessário fazer uma agitação intermitente durante o tempo de maceração.

b) Tratamento térmico

O material a ser submetido ao tratamento térmico, "grits" sem maceração ou "grits" macerados depois do escoamento da água, foi levado à autoclave Dixie Canner, colocado numa cesta cilíndrica de arame, onde formava uma camada de espessura aproximada de 3,5 cms.

A operação na autoclave foi programada em cada caso no sistema digital de mando. Inicialmente efetuou-se o aquecimento da autoclave desde a temperatura ambiente até a temperatura de operação num tempo de 1 minuto. Uma vez estabilizadas as condições, foi efetuado o tratamento térmico propriamente dito, com vapor sob pressão a 1189C (1,94 kgs/cm²), durante o tempo determinado em cada experimento (1, 5 ou 15 minutos). Finalmente foi realizada a descarga de vapor com a liberação da pressão na autoclave num tempo de 1 minuto. Logo após este ciclo, o material foi descarregado e esfriado rapidamente por circulação de ar, aproximadamente durante 1 minuto, para facilitar seu posterior manuseio e evitar aglomeração das partículas.

c) Secagem

Para a secagem, o "grits" pré-gelatinizado, foi espalhado em peneiras (40 cm x 25 cm), formando camadas de aproximadamente 1 cm de espessura e levado à estufa de laboratório, onde foi submetido à desidratação com circulação forçada de ar a uma temperatura de 40 - 50°C, regulada termostaticamente. O tempo de secagem nestas condições oscilou entre 15 e 18 horas.

d) Moagem

A moagem do material pré-gelatinizado foi feita em dois estágios. Uma moagem primária foi feita no moinho de martelos, usando uma peneira de abertura de 1,5 mms. e 5 passagens sucessivas do material através do moinho.

Para a moagem final, foi usada a seção de quebra do

moinho de cilindros Brabender Quadrumat Senior, obtendo uma farinha com tamanho menor de 300μ . Nesta seção, o material sofre 3 quebras sucessivas ao passar por um conjunto de 4 cilindros, corrugados, dispostos em pares. O número de corrugações dos cilindros do moinho são de 7, 9, 10 e 12, por cm.

4 - Processo de gelatinização por extrusão

Para a obtenção de farinha pré-gelatinizada pelo processo de extrusão, foram usadas como matérias primas o "grits" fino e a farinha de milho. Neste caso, o equipamento de extrusão Wenger Manufacturing Co. X-25 CF-CB. foi utilizado.

a) Modificação da umidade do material

O material a ser processado foi transportado ao tanque cônico de descarga. Daí, o produto foi levado ao cilindro pré-acondicionador através de uma rosca de alimentação de velocidade variável. A rosca foi usada na posição 2, para uma velocidade de alimentação de 1,0 - 1,5 kgs/min.

No cilindro pré-acondicionador ocorre aplicação de umidade ao material por adição controlada de água, e simultaneamente se produz homogeneização do material pela ação de mistura do eixo central que gira a uma velocidade de 360 rpm. Um rotâmetro indicou a quantidade de água (0,45 - 0,60 kgs/min), injetada no cilindro pré-acondicionador, para aumentar a umidade do material até 26 - 35% dependendo do experimento.

b) Tratamento térmico por extrusão

Uma vez umidificado, o material cai por gravidade na boca de entrada do cilindro extrusor. Nesta parte do equipamento o "grits" ou farinha é homogeneizado, plastificado e comprimido e ao mesmo tempo sofre um tratamento térmico por injeção indireta de vapor.

O cilindro de extrusão é montado sobre um eixo para 7 cabeças com um comprimento útil de 154 cms e um diâmetro de

7,53 cms. Os componentes principais do cilindro de extrusão são as roscas, os anéis de retenção de vapor e as cabeças de extrusão. As 7 roscas, colocadas sucessivamente sobre o eixo, são separadas uma da outra pelos anéis de retenção de vapor, onde o espaço anular para o fluxo do material é restringido para evitar que o material possa fluir em direção contrária durante a extrusão e para promover turbulência no fluxo do material.

Sobre cada uma das roscas é colocada uma cabeça, para formar o cilindro de extrusão. Cada cabeça está provida de válvulas individuais para aplicação indireta de vapor para aquecimento ou água para resfriamento. As cabeças de extrusão apresentam corrugações na sua superfície interna, as quais podem ser retas ou em espiral, e que se usam alternadamente para produzir modificações bruscas no fluxo do material durante a extrusão.

No fim do cilindro de extrusão, coloca-se a matriz de saída, que consiste numa placa perfurada de 0,958 cms de espessura e 14,61 cms de diâmetro externo, provida de 24 furos de 3/16" de diâmetro cada um.

A temperatura do material em cada cabeça de extrusão, foi registrada por um milivoltímetro Leeds & Northrup, usando-se termopares de cobre e constantan acoplados em cada seção. As temperaturas nas seções de extrusão 1 a 6 variaram entre 30 e 80°C e na última seção variou entre 105 e 140°C de acordo com as condições de cada experimento.

Um amperímetro registrou a carga do motor durante a operação (60-90 A), sendo a velocidade de rotação do eixo do extrusor de 300 rpm.

c) Secagem

O material extrudado foi recolhido e espalhado em peneiras para ser submetido a secagem. Para esta operação foi usado o secador Wenger Manufacturing Co. Modelo 600 em operação estática. A temperatura de secagem foi de 80 - 100°C, com circula

ção transversal de ar a uma velocidade de 300 - 350 m/min. O tempo de secagem foi de 4 - 5 horas.

d) Moagem

Finalmente o material foi moído, usando os dois moinhos descritos no processo de pré-gelatinização com vapor.

C. MÉTODOS ANALÍTICOS

1 - Determinação da viscosidade

a) Obtenção do viscoamilograma

O viscoamilógrafo Brabender foi usado para a determinação das características de viscosidade das farinhas, obedecendo a seguinte metodologia:

A amostra (tamanho de partícula menor que 300μ) foi pesada num erlenmeyer na quantidade determinada para cada experimento, sendo que para as farinhas pré-gelatinizadas obtidas experimentalmente, usou-se uma concentração de 56,25 grs. (14% de umidade) em 450 mls de água destilada.

Aproximadamente 100 mls de água destilada foram adicionados à farinha e agitou-se rapidamente com uma espátula, até formar-se uma pasta homogênea e livre de grumos. Posteriormente, adicionaram-se mais 250 mls de água e a pasta foi entornada no vaso do amilógrafo. A amostra foi transferida quantitativamente ao vaso, usando-se os 100 mls, de água restantes para lavar o resíduo no erlenmeyer.

Depois que a suspensão, na concentração exata, foi colocada no recipiente de medida do amilógrafo, foi iniciado o teste, ajustando-se a velocidade de rotação em 75 rpm. A temperatura inicial foi de 25°C, aumentando 1,5°C por minuto até 95°C, temperatura na qual a suspensão foi mantida durante 20 minutos. Logo após começou-se o ciclo de resfriamento, sendo a temperatura diminuída 1,5°C por minuto até 50°C.

b) Avaliação dos viscoamilogramas

i. Viscosidade Inicial

É o valor da viscosidade da suspensão em unidades amilográficas (U.A.) no início do ciclo de aquecimento a 25°C.

ii. Temperatura inicial de gelatinização

É a temperatura da suspensão no instante em que inicia-se o aumento da viscosidade durante o ciclo de aquecimento.

iii. Temperatura final de gelatinização

Corresponde à temperatura na qual a suspensão atinge o valor de viscosidade máxima durante o ciclo de aquecimento.

iv. Viscosidade máxima

É o valor máximo de viscosidade em U.A. que consegue a suspensão durante o ciclo de aquecimento.

v. Viscosidade a 95°C

Corresponde ao valor de viscosidade em U.A. quando a suspensão chega a 95°C no final do ciclo de aquecimento.

vi. Viscosidade mínima no ciclo de temperatura constante

É o valor mínimo que alcança a viscosidade da pasta em U.A. depois de mantida 20 minutos a 95°C.

vii. Viscosidade final a 50°C

Corresponde ao valor de viscosidade em U.A. no ponto final do ciclo de resfriamento.

2 - Índice de absorção de água

Os índices de absorção de água das amostras foram determinados usando a metodologia descrita por Anderson et al (3).

Uma amostra de 2,5 grs. de farinha (tamanho de partícula menor que 250 μ), é suspensa em 30 mls. de água destilada a

30°C, num tubo de centrífuga de 50 mls. previamente pesado. A suspensão é mantida a temperatura constante (30°C) durante 30 minutos, sendo submetida durante este período a uma agitação intermitente. Logo após, a suspensão é centrifugada a 3000 rpm. durante 10 minutos. Posteriormente é cuidadosamente separada a fase líquida e determinado o peso dos resíduos que permanecem no tubo de centrífuga.

O índice de absorção de água é expresso como a relação entre o peso dos resíduos e o peso de amostra em base seca, do qual deve-se descontar o peso dos sólidos solúveis da fase líquida.

3 - Índice de solubilidade em água

O líquido sobrenadante separado após a centrifugação, é entornado numa placa de petri e submetido a evaporação em estufa a 105°C até peso constante.

O índice de solubilidade é expresso como a porcentagem de sólidos solúveis recuperados por evaporação em relação ao peso da amostra em base seca.

4 - Granulometria

A determinação do tamanho de partícula dos materiais foi feita usando-se um conjunto de peneiras de laboratório Granu test e o vibrador para peneiragem Produ test. Foi usada uma amostra de 100 grs. em cada caso e um tempo de agitação de 10 minutos, na intensidade máxima de vibração do aparelho.

Foi calculado o diâmetro médio de cada material usando-se a seguinte expressão (31):

$$D. M. = 104,14 (2)^{f_m}$$

Onde D. M. representa o diâmetro médio em microns e f_m representa o módulo de finura que depende da distribuição de tamanho do material analisado (31).

5 - Umidade

Para as matérias primas e as farinhas pré-gelatinizadas obtidas experimentalmente, a umidade foi determinada pelo método de estufa a 130°C por 1 hora, descrito no AACC (1), método 44-15 A.

Para as amostras com teores de umidade superiores a 16% ("grits" macerados e pré-acondicionados no extrusor), a umidade foi determinada em estufa a 105°C até peso constante.

6 - Proteína

Determinou-se o conteúdo de nitrogênio total pelo método de Kjeldahl, descrito pela AACC (1), método 46-10. O conteúdo de proteína total foi calculado usando-se o fator $N \times 6,25$.

7 - Gordura (extrato etéreo)

Determinou-se de acordo com o método 30 - 20 da AACC (1) e utilizando-se extração contínua com éter no extrator "Goldfish".

8 - Cinzas

O teor de cinzas foi determinado por calcinação da amostra durante 2 horas a 600°C, segundo o método da AACC 08 - 03 (1).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. CARACTERÍSTICAS DA FARINHA DE MILHO E DA FARINHA PRÉ-GELATINIZADA DE MILHO

Existem diversas técnicas analíticas usadas para a caracterização de uma farinha de milho, sob o ponto de vista da gelatinização, e compará-la com uma farinha pré-gelatinizada. Dentre elas estão a medida da viscosidade da farinha em meio aquoso e suas variações com a temperatura, a medida da capacidade de absorção e a solubilidade em água.

A determinação das características de viscosidade de uma farinha em água, é feita pelo uso do viscoamilôgrafo Brabender. Este aparelho permite medir e registrar continuamente as variações de viscosidade quando a suspensão em determinada concentração é submetida a um aumento e diminuição uniforme de temperatura (6).

Estas características dependem, dentre outros fatores, da concentração de amido na suspensão e do grau de gelatinização da farinha (6, 16).

Estabeleceu-se a correlação que existe entre a concentração de farinha no meio e a viscosidade, para farinhas de milho sem pré-gelatinizar e pré-gelatinizada. Estudaram-se igualmente as diferenças nas características dos dois produtos respeito à sua viscosidade, capacidade de absorção e solubilidade, e como são afetadas quando as duas farinhas são misturadas em diferentes proporções.

1 - Efeito da concentração de farinha nas características de viscosidade.

a) Farinha de milho

As características de viscosidade da farinha de milho, a diferentes concentrações em meio aquoso estão apresenta

das na tabela 1. Um aumento nos valores da viscosidade máxima e da viscosidade mínima à temperatura constante ocorreu com o aumento da concentração de farinha na suspensão, (figura 1). Verificou-se que existiu uma correlação logarítmica entre a concentração de farinha e a viscosidade, (figura 2). A declividade da reta que correlaciona logaritmicamente a concentração e a viscosidade máxima teve um valor de 4,03, enquanto que a correlação entre a concentração e a viscosidade mínima no ciclo de temperatura constante obteve uma declividade de 3,43.

Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Anker et al (6) que, trabalhando com amidos de batata, milho e trigo, encontraram uma correlação similar entre concentração e viscosidade. Outros pesquisadores (27, 41) têm estudado também o efeito da concentração na viscosidade com resultados similares, usando diferentes amidos.

A viscosidade final das suspensões a 50°C apresentou a tendência de aumentar com a concentração, como consequência de haver maior quantidade de amido para se retrogradar e formar gel.

A temperatura inicial de aumento de viscosidade como registrada no viscoamilógrafo foi inversamente relacionada com a concentração de farinha. Esta variação foi observada provavelmente devido ao grau de sensibilidade deste aparelho. Quando há menor quantidade de grânulos de amido na suspensão, seria necessário um maior grau de expansão, para que eles atinjam o valor mínimo de viscosidade que o viscoamilógrafo é capaz de registrar.

b) Farinha de milho pré-gelatinizada

As curvas de viscosidade da farinha de milho pré-gelatinizada, obtidas a diferentes concentrações, apresentaram os resultados mostrados na tabela 2. Comparada com a farinha de milho na mesma concentração, a farinha de milho pré-gelatinizada apresentou valores mais baixos de viscosidade máxima, viscosidade mínima no ciclo de temperatura constante e viscosidade final no ciclo de resfriamento. Ao contrário, a viscosidade inicial

Tabela 1

Variação das características de viscosidade a diferentes concentrações de farinha de milho

Concentração		Viscosidade	Viscosidade $m\bar{i}$	Viscosidade $f\bar{i}$	Temperatura ini
%	Peso de farinha ¹⁾ (grs.)	máxima (U.A.)	nima à temp. constante (U.A.)	nal no ciclo de resfriamento (U.A.)	cial de gelati nização (°C)
7,50	33,75	25	300	60	72,5
10,00	45,00	140	135	270	70,0
12,50	56,25	320	285	810	68,5
13,75	61,88	470	395	> 1000	67,0
14,38	64,71	560	450	> 1000	65,5
15,00	67,50	620	480	> 1000	67,0
15,68	70,56	750	575	> 1000	65,5
16,35	73,58	840	620	> 1000	62,5

1) Na base de 14% de umidade em 450 mls. de água destilada.

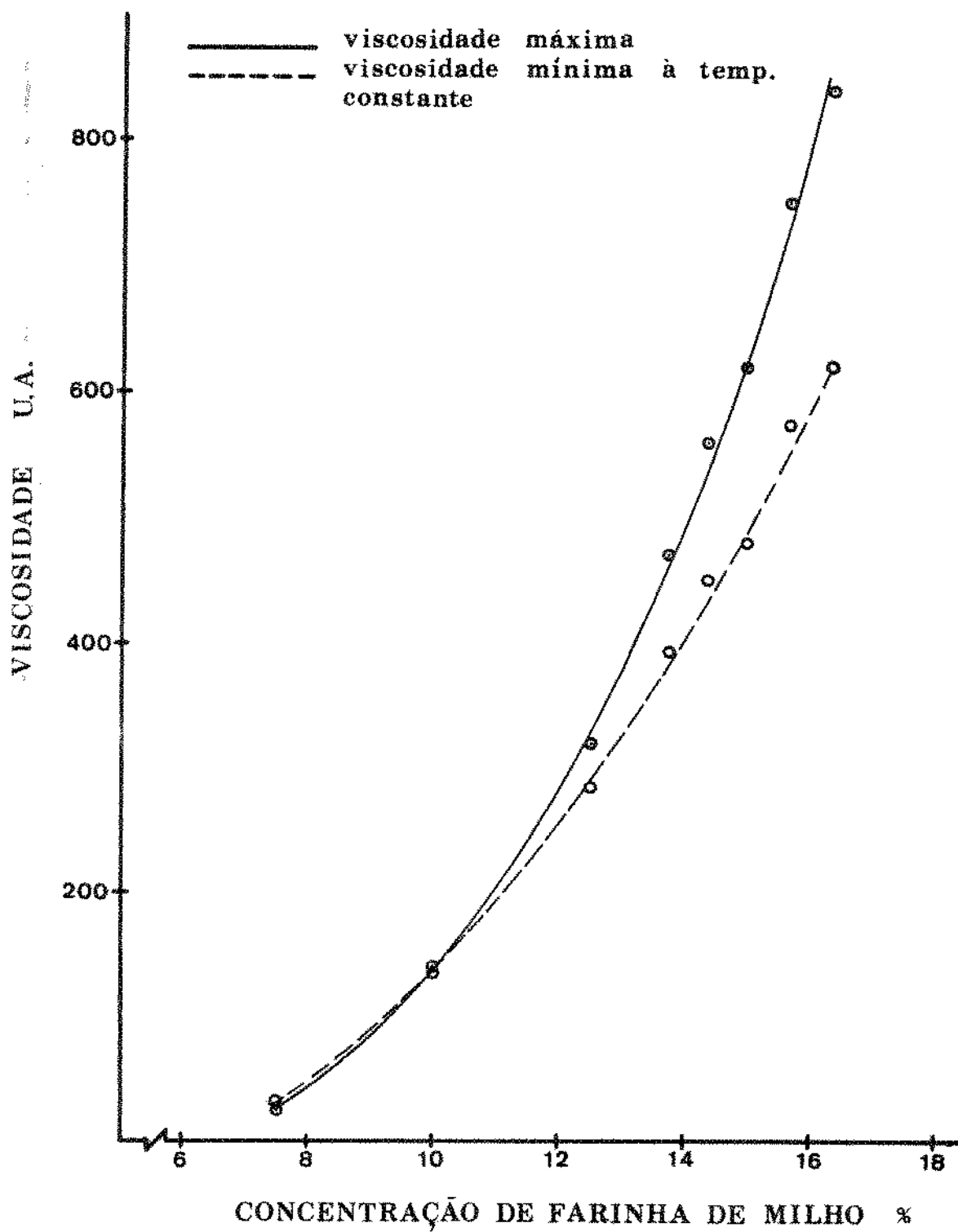


Figura 1. Efeito da concentração na viscosidade de farinha de milho.

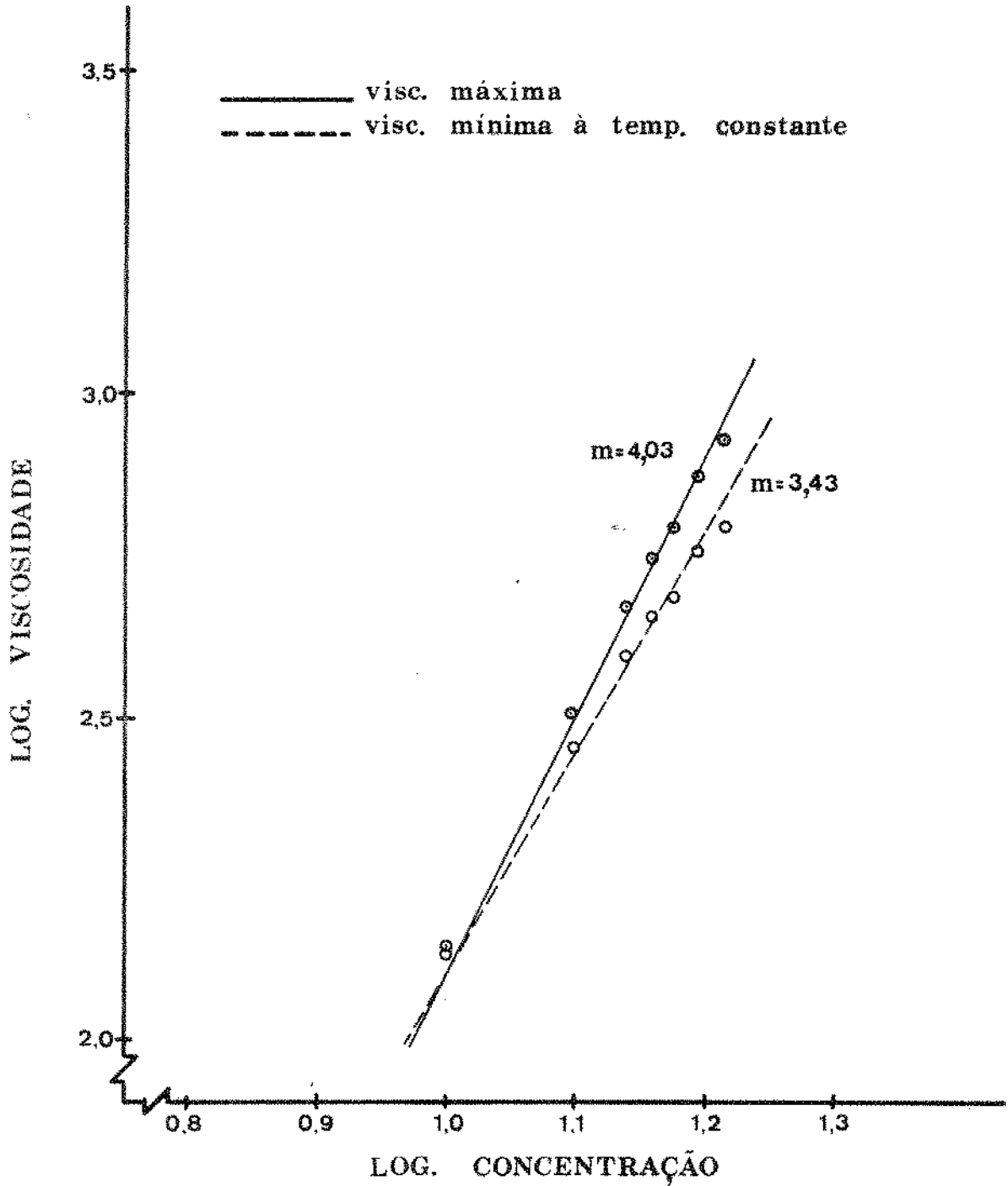


Figura 2. Correlação logarítmica entre a viscosidade e a concentração de farinha de milho.

Tabela 2

Variação das características de viscosidade a diferentes concentrações de farinha de milho pré-gelatinizada.

Concentração		Viscosidade	Viscosidade m _i	Viscosidade ini	Viscosidade fi
%	Peso de farinha ¹⁾ (grs.)	máxima (U.A.)	nima à temp. constante (U.A.)	cial (25°) (U.A.)	nal no ciclo de resfriamento (U.A.)
12,50	56,25	65	70	45	90
14,00	63,00	100	100	80	195
15,00	67,50	150	150	90	260
16,35	74,25	200	180	150	520
17,00	76,50	240	220	170	630
17,70	80,00	270	250	250	700

1) Na base de 14% de unidade em 450 ml. de água destilada.

(25°C) foi sempre maior para a farinha de milho pré-gelatinizada, devido à maior capacidade de absorção de água dos seus grânulos de amido.

O aumento da concentração de farinha pré-gelatinizada, provocou um aumento na viscosidade máxima e na viscosidade mínima no ciclo de temperatura constante, (figura 3). Além disso, verificou-se que a correlação logarítmica entre a concentração e estes dois valores de viscosidade, apresenta caráter linear (figura 4).

A concentração de farinha de milho pré-gelatinizada afetou similarmente os valores da viscosidade inicial a 25°C e a viscosidade final a 50°C, depois do resfriamento, (figura 5). Quando foram relacionados graficamente os logaritmos da concentração e a viscosidade inicial e final, encontrou-se uma dependência linear das medidas de viscosidade com a concentração de farinha na suspensão, (figura 6).

2 - Efeito da adição de farinha de milho sobre as características da farinha pré-gelatinizada de milho.

a) Efeito na viscosidade

Os resultados obtidos na determinação das características de viscosidade das misturas de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada de milho estão na tabela 3. O aumento da porcentagem de farinha de milho na mistura produziu uma diminuição contínua na viscosidade inicial a 25°C, (figura 7), devido a uma redução na quantidade de grânulos de amido com alta capacidade de absorver água os quais são responsáveis pela viscosidade a frio da farinha.

As variações da viscosidade máxima e da viscosidade mínima no ciclo de temperatura constante, pelo efeito do aumento da porcentagem de farinha de milho na mistura, seguiram a mesma tendência, (figura 7). Inicialmente apresentou-se uma diminuição

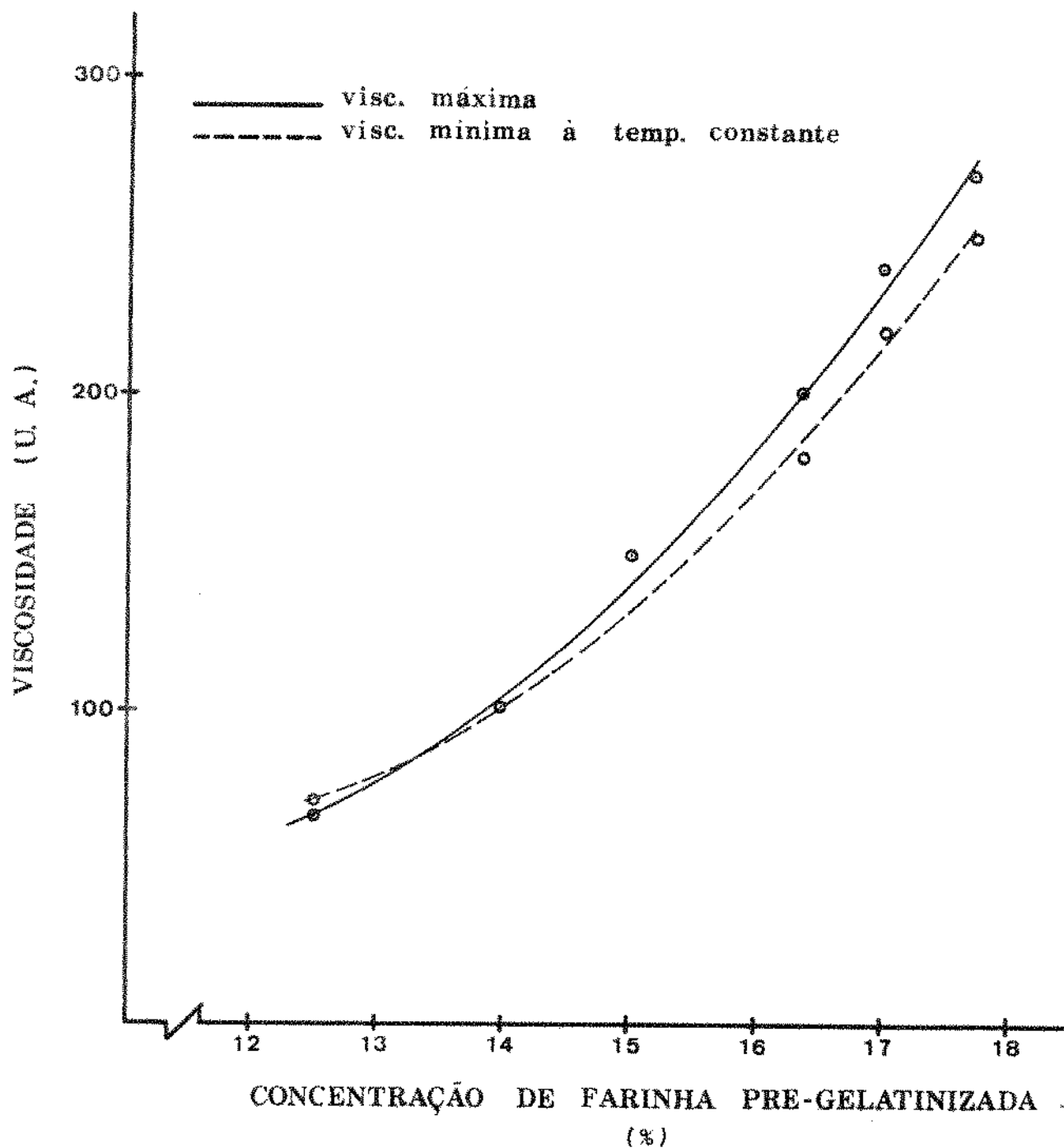


Figura 3. Efeito da concentração na viscosidade de farinha pré-gelatinizada de milho.

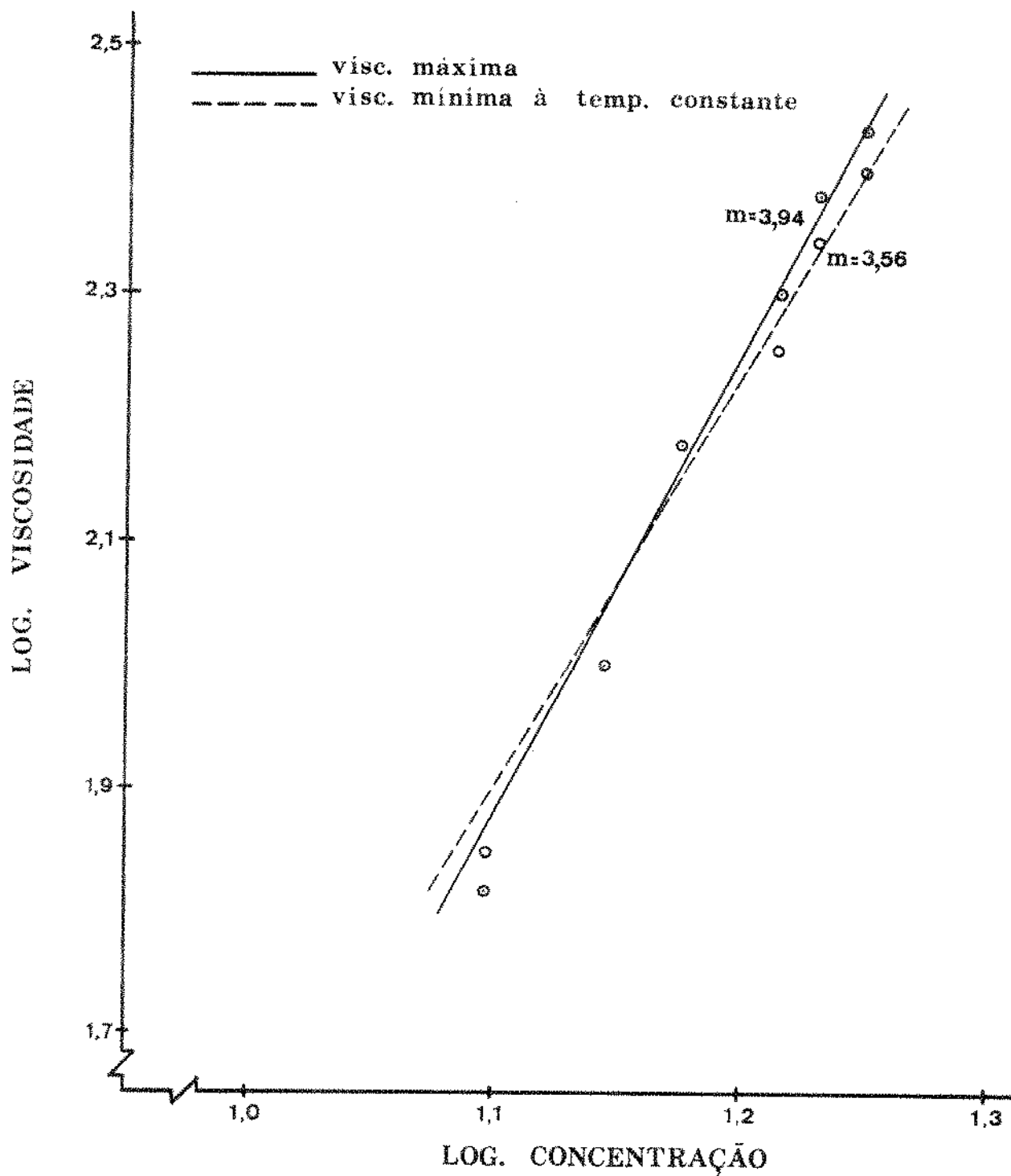


Figura 4. Correlação logarítmica entre a viscosidade e a concentração de farinha pré-gelatinizada de milho.

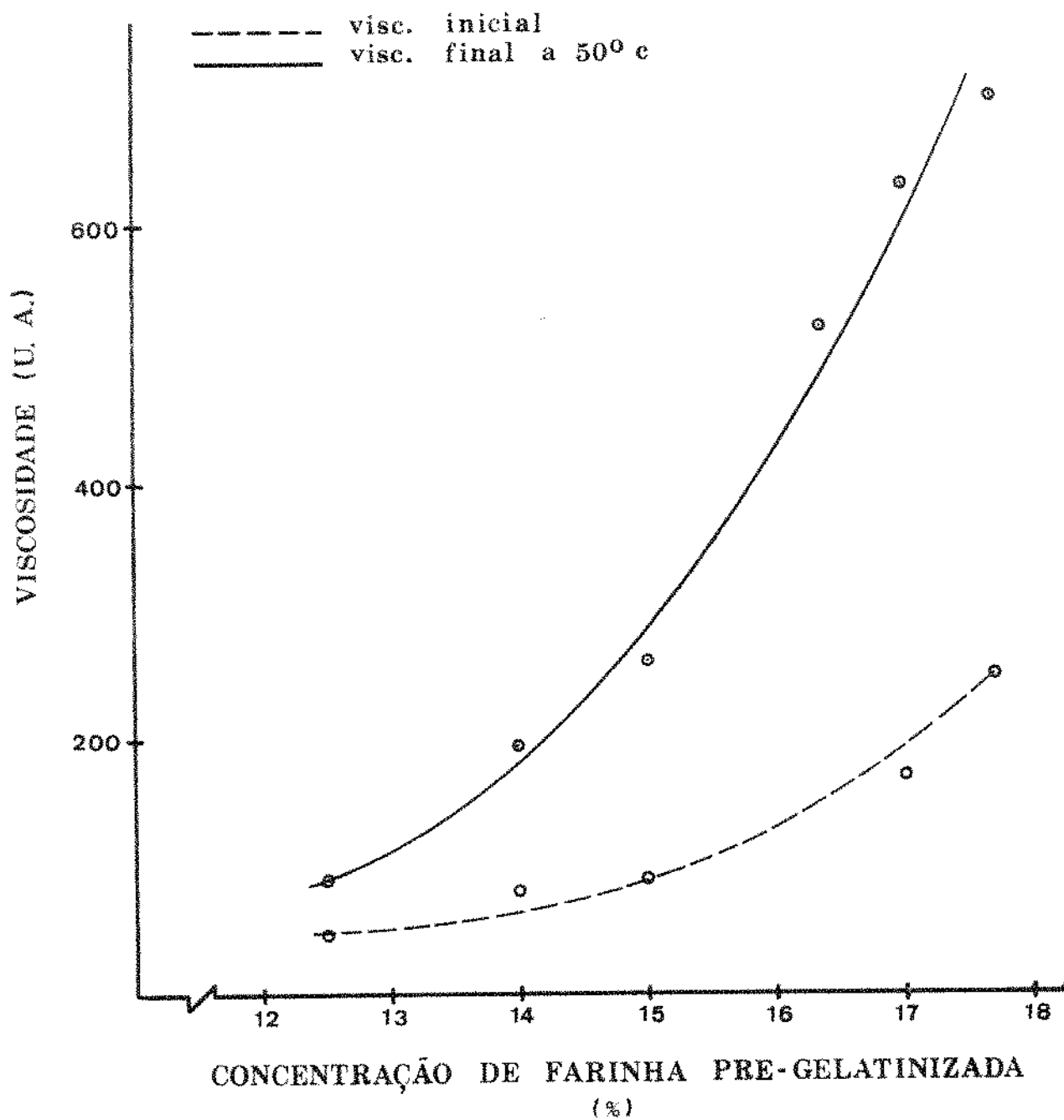


Figura 5. Efeito da concentração na viscosidade inicial (25°C) e na viscosidade final (50°C) de farinha pré-gelatinizada de milho.

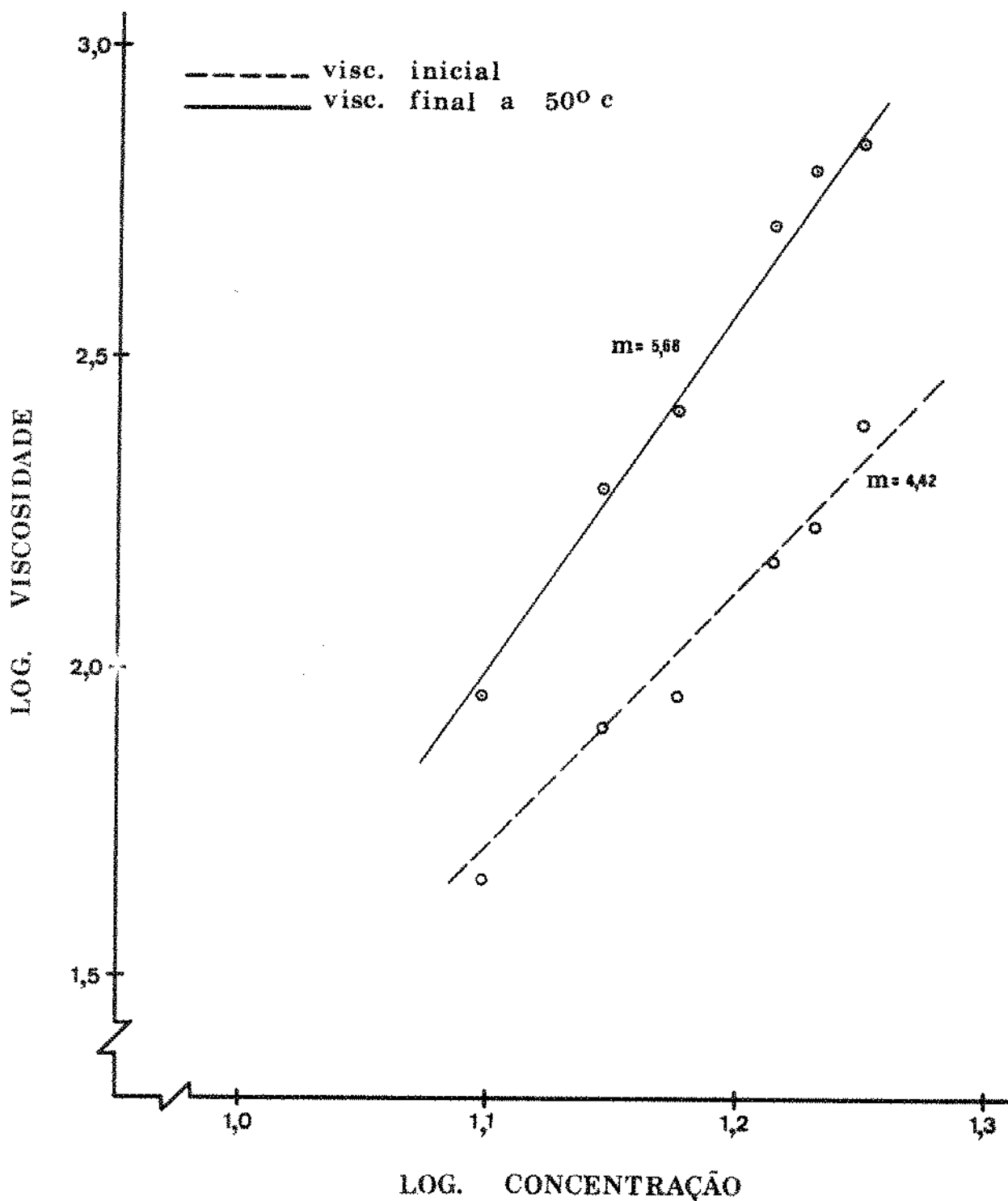


Figura 6. Correlação logarítmica entre a viscosidade inicial (25°C) e final (50°C) e a concentração de farinha pré-gelatinizada de milho.

Tabela 3

Efeito da adição de farinha de milho nas características de farinha de milho pré-gelatinizada.

Proporções da mistura (%)		Viscosidade máxima (U.A.)	Viscosidade mínima à temp. constante (U.A.)	Viscosidade inicial (25°C) (U.A.)	Viscosidade final no ciclo de resfriamento (U.A.)	Índice de absorção de água	Índice de solubilidade em água
Farinha de milho	Farinha de milho pré-gelatinizada						
0	100	200	180	150	520	7,74	26,45
10	90	130	140	100	450	6,93	28,60
20	80	105	120	70	460	5,75	30,24
30	70	100	120	50	480	5,25	29,05
40	60	130	145	35	670	4,54	26,52
50	50	155	185	25	760	4,23	22,78
60	40	210	240	20	860	4,13	18,88
70	30	330	340	15	955	3,91	15,40
80	20	440	420	10	> 1000	3,65	11,33
85	15	535	390	10	> 1000	-	-
90	10	625	540	10	> 1000	3,56	7,06
95	5	730	590	10	> 1000	-	-
100	0	840	620	10	> 1000	3,30	2,45

1) Concentração usada para a determinação da viscosidade: 73,58 grs (14% unidade) em 450 mls. de água destilada.

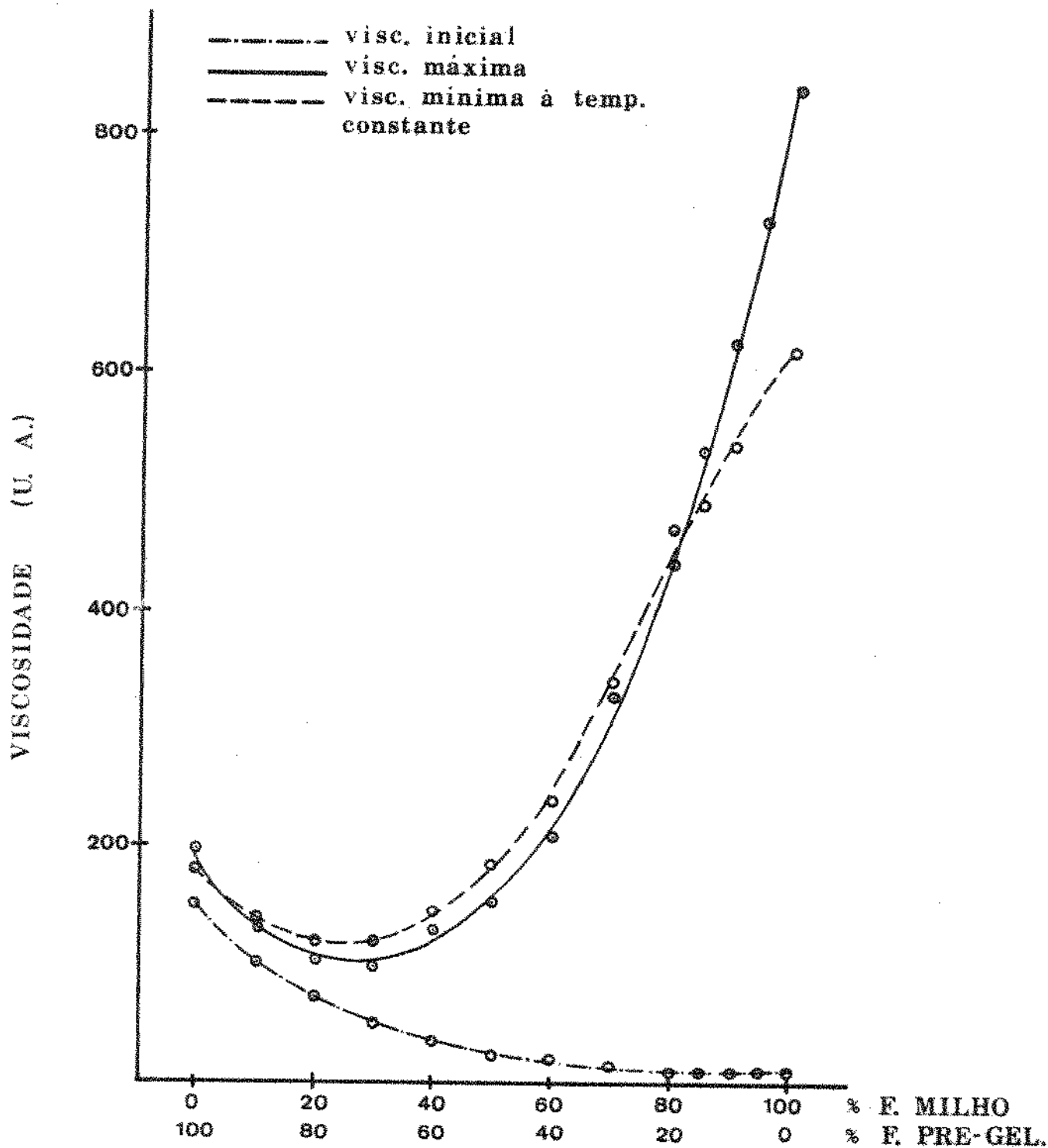


Figura 7. Efeito da adição de farinha de milho na viscosidade de farinha de milho pré-gelatinizada.

até a viscosidade chegar num ponto mínimo, quando a porcentagem de farinha de milho foi de 30%, para depois aumentar progressivamente ao aumentar a proporção de farinha de milho na mistura.

A queda de viscosidade que ocorreu até um nível de 30% de farinha de milho na mistura, provavelmente deve-se à diminuição de concentração de farinha de milho pré-gelatinizada no meio, o que contribui numa redução na viscosidade, como está mostrado na curva teórica de viscosidade máxima para a farinha pré-gelatinizada, calculada pela correlação entre concentração e viscosidade determinada neste trabalho (figura 8). Até este nível, a quantidade de farinha de milho adicionada ainda foi pouca para contrabalançar o efeito da diminuição. Além disso, pela alta capacidade de absorção de água da farinha pré-gelatinizada, a quantidade de água disponível para o entumescimento dos grânulos de amido da farinha de milho sem pré-gelatinizar pode ser baixa, o que limitaria a sua contribuição para aumentar a viscosidade. Quando a porcentagem de farinha de milho ultrapassou 30%, a viscosidade começou a aumentar, como consequência do progressivo aumento da concentração de farinha de milho no meio, como o mostra sua curva teórica de viscosidade máxima (figura 8), determinada pela correlação previamente estabelecida neste trabalho.

b) Efeito na capacidade de absorção e solubilidade em água.

O índice de absorção de água da mistura foi afetado inversamente pela porcentagem de farinha de milho (figura 9). Estes resultados indicam que provavelmente existe uma relação direta entre a capacidade de absorção de água e a viscosidade ao início do ciclo de aquecimento.

O índice de solubilidade em água apresentou um aumento inicial até um ponto máximo quando a porcentagem de farinha de milho foi de 20% e uma progressiva redução para porcentagens maiores, indicando uma provável relação inversa entre a solubilidade e a viscosidade máxima de farinha em meio aquoso.

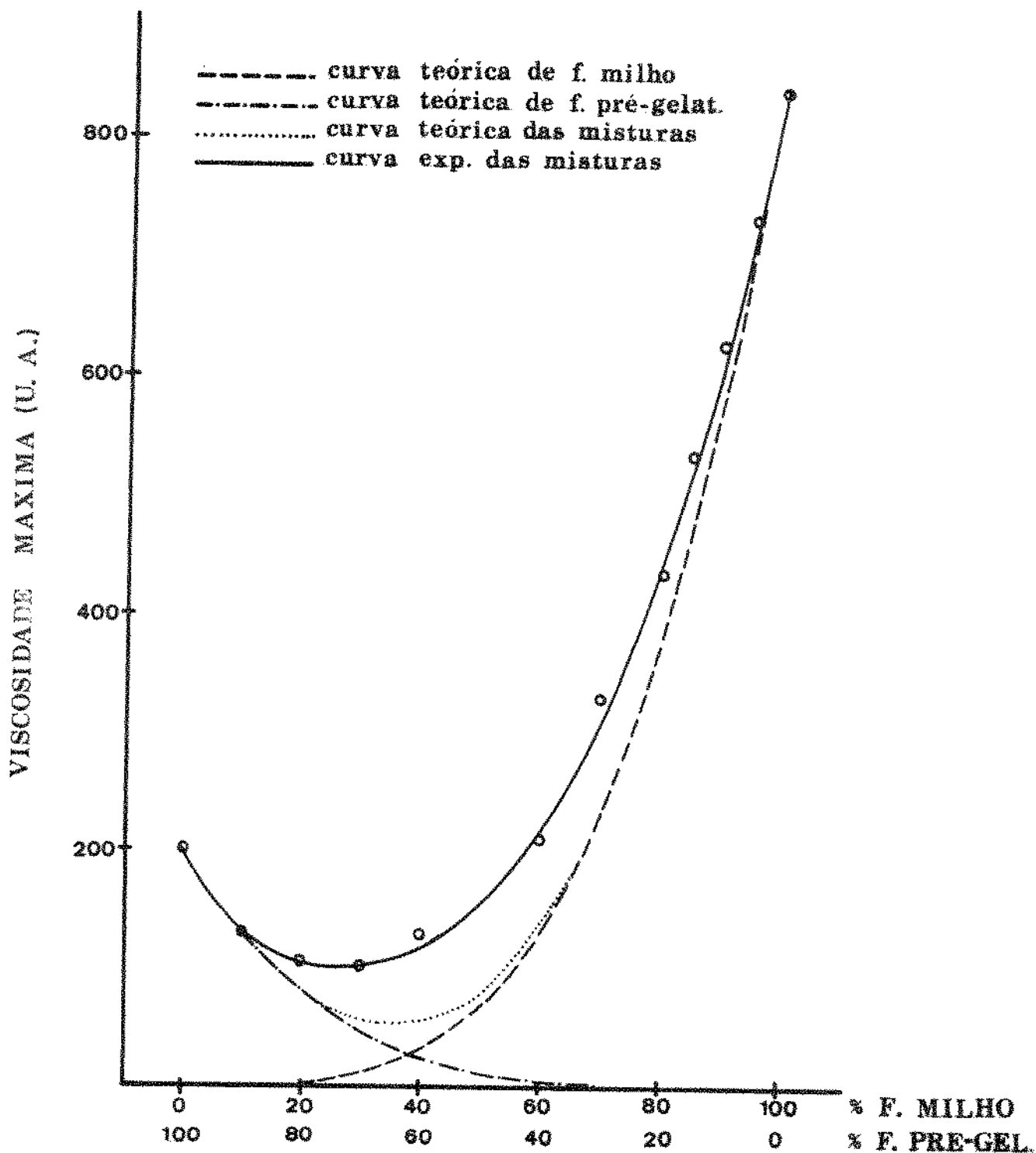


Figura 8. Variação da viscosidade máxima de misturas de farinha de milho e farinha de milho pré-gelatinizada.

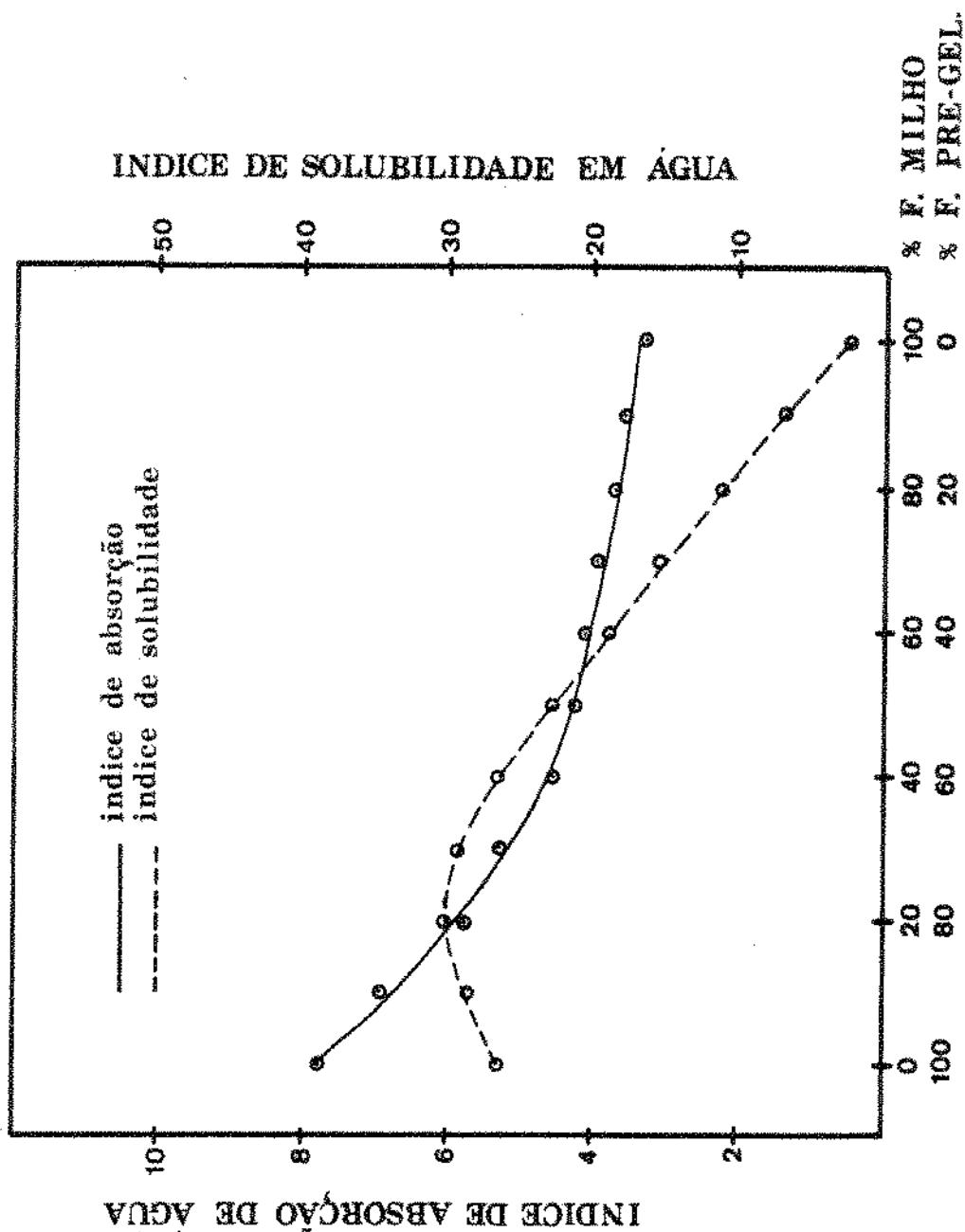


Figura 9. Efeito da adição de farinha de milho na capacidade de absorção e solubilidade de farinha de milho pré-gelatinizada.

B. PROCESSO DE GELATINIZAÇÃO POR TRATAMENTO TÉRMICO COM VAPOR

O grau de gelatinização de farinhas pré-gelatinizadas pelo tratamento com vapor, é afetado principalmente por dois fatores; o conteúdo de água da matéria prima e a intensidade do tratamento térmico (2, 5, 50).

Normalmente, o conteúdo de umidade de uma farinha ou de um "grits" de milho, como obtidos na moagem por via seca, está entre 11 e 14%. Este nível é considerado baixo para efetuar a gelatinização, sendo necessário aumentar o conteúdo de água do material, se um adequado grau de gelatinização é desejado. A adição de umidade pode-se efetuar pela maceração do material em água à temperatura ambiente ou a temperaturas superiores.

Foi determinado o nível ótimo de umidade para a gelatinização de "grits" de milho com vapor, e o tempo mínimo de maceração necessário para obter um adequado grau de gelatinização; assim como também o tempo mínimo de tratamento térmico a 118°C. Os resultados obtidos estão apresentados a seguir.

1 - Características da matéria prima

a) Composição química

"Grits" grosso de milho foi usado como matéria prima para estudar o processo de pré-gelatinização por tratamento com vapor. A sua composição química está apresentada na tabela 4.

Pelo fato de ser um produto constituído basicamente pelo endosperma do milho caracterizou-se pelo seu baixo teor de gordura e cinzas, pelo seu alto teor de carboidratos, basicamente amido. O teor de proteína apresentou-se dentro dos níveis normais para este tipo de material (33).

b) Granulometria

Os resultados da análise granulométrica do "grits"

Tabela 4

Composição química do "grits" grosso de milho¹⁾

Componente	Porcentagem
Proteína (N x 6,25)	8,30
Gordura	0,33
Cinzas	0,28
Carboidratos	91,09

1) Base seca

Tabela 5

Análise granulométrica do "grits" grosso de milho

Sobre peneira Tyler nº	Tamanho de partícula (μ)	Material retido (%)
4	> 4.760	20,7
6	3.360-4.760	63,4
8	2.380-3.360	13,4
Fundo	< 2.380	2,5

Diâmetro médio das partículas (μ) = 3.781

(tabela 5), mostram que aproximadamente 75% do material tem um diâmetro de partícula menor que 4760μ (passa pela peneira Tyler No. 4) e maior que 2380μ (retido sobre a peneira Tyler No. 8). O diâmetro médio do material foi de 3781μ .

c) Viscosidade

As características de viscosidade da materia prima como determinadas no viscoamilógrafo Brabender são apresentadas na tabela 6. O material apresentou uma temperatura inicial de gelatinização de $65,5^{\circ}\text{C}$. Neste ponto os grânulos de amido começam a absorver água, aumentando seu tamanho, e a viscosidade começou a aumentar até atingir um valor máximo de 820 U.A. a uma temperatura de 88°C . No ponto de viscosidade máxima, os grânulos estão altamente entumescidos, e devido à agitação, ocorre a desintegração de alguns deles, produzindo uma queda de viscosidade até 740 U.A. quando a temperatura aumentou a 95°C . Este valor diminuiu para 620 U.A. após a suspensão ser mantida a 95°C durante 20 minutos. Finalmente, durante o ciclo de resfriamento, a viscosidade aumentou por causa da retrogradação do amido, atingindo um valor final a 50°C superior a 1000 U.A.

d) Capacidade de absorção de água e solubilidade

Como uma medida da capacidade de absorção de água do material, foi medido o índice de absorção de água; expresso como o peso dos resíduos (água + farinha) por grama de amostra seca. O índice de solubilidade em água, está representando como a porcentagem de sólidos solúveis na fase líquida, recuperados após a centrifugação, em relação ao peso de amostra seca.

Os valores dos índices de absorção de água e solubilidade do "grits" de milho foram calculados em 3,42 e 2,42 respectivamente. Estes valores podem ser considerados normais em razão de que o amido presente neste material não sofreu modificação, e apresentou baixa capacidade de absorção e solubilidade em água.

Tabela 6

Características de viscosidade do "grits" grosso de milho

Característica	Valor
Temperatura Inicial de Gelatinização (°C)	65,5
Viscosidade Máxima (U.A.)	820
Temperatura de viscosidade máxima (°C)	88,0
Viscosidade a 95°C (U.A.)	740
Viscosidade após 20' a 95°C (U.A.)	620
Viscosidade final no ciclo de resfriamento (U.A.)	1.590

2 - Efeito do tempo de maceração à temperatura ambiente e o tempo de tratamento térmico nas características das farinhas pré-gelatinizadas.

No processo de tratamento com vapor, a gelatinização do material ocorre por um efeito hidrotérmico, e como foi estabelecido, o nível de umidade do material e a intensidade do tratamento térmico, são dois parâmetros que influem sobre o grau de gelatinização (2, 5, 50). Neste trabalho, o efeito destes dois parâmetros foi estudado através do tempo de maceração e o tempo de tratamento.

a) Correlação entre tempo de maceração e umidade

Nos ensaios realizados com maceração à temperatura ambiente (28 - 30°C), identificou-se a existência de três estágios de absorção de água durante a maceração do "grits", como se apresenta na figura 10. No início da maceração a absorção de água foi bastante rápida, como revelado pelo aumento de umidade de 11,8 até 25%, após uma hora de maceração. O segundo estágio caracterizou-se por uma redução progressiva da velocidade de absorção de água, atingindo-se finalmente um ponto onde o material praticamente não absorveu mais água e a umidade ficou constante. O "grits" de milho atingiu este ponto depois de 5 horas de maceração, ficando com uma umidade de equilíbrio em torno de 30%, a qual permaneceu aproximadamente invariável para tempos de maceração de até 20 horas. Concluiu-se que o tempo mínimo de maceração necessário para que o material alcançasse seu nível de umidade de equilíbrio (30%), à temperatura ambiente, foi de 5 horas.

b) Efeito sobre a viscosidade

A medida da viscosidade das farinhas em meio aquoso, pode fornecer informação sobre o grau de gelatinização que atingem, após serem tratadas pelo calor e/ou pela ação mecânica (16, 26). Deve-se isto ao fato que uma das características do amido,

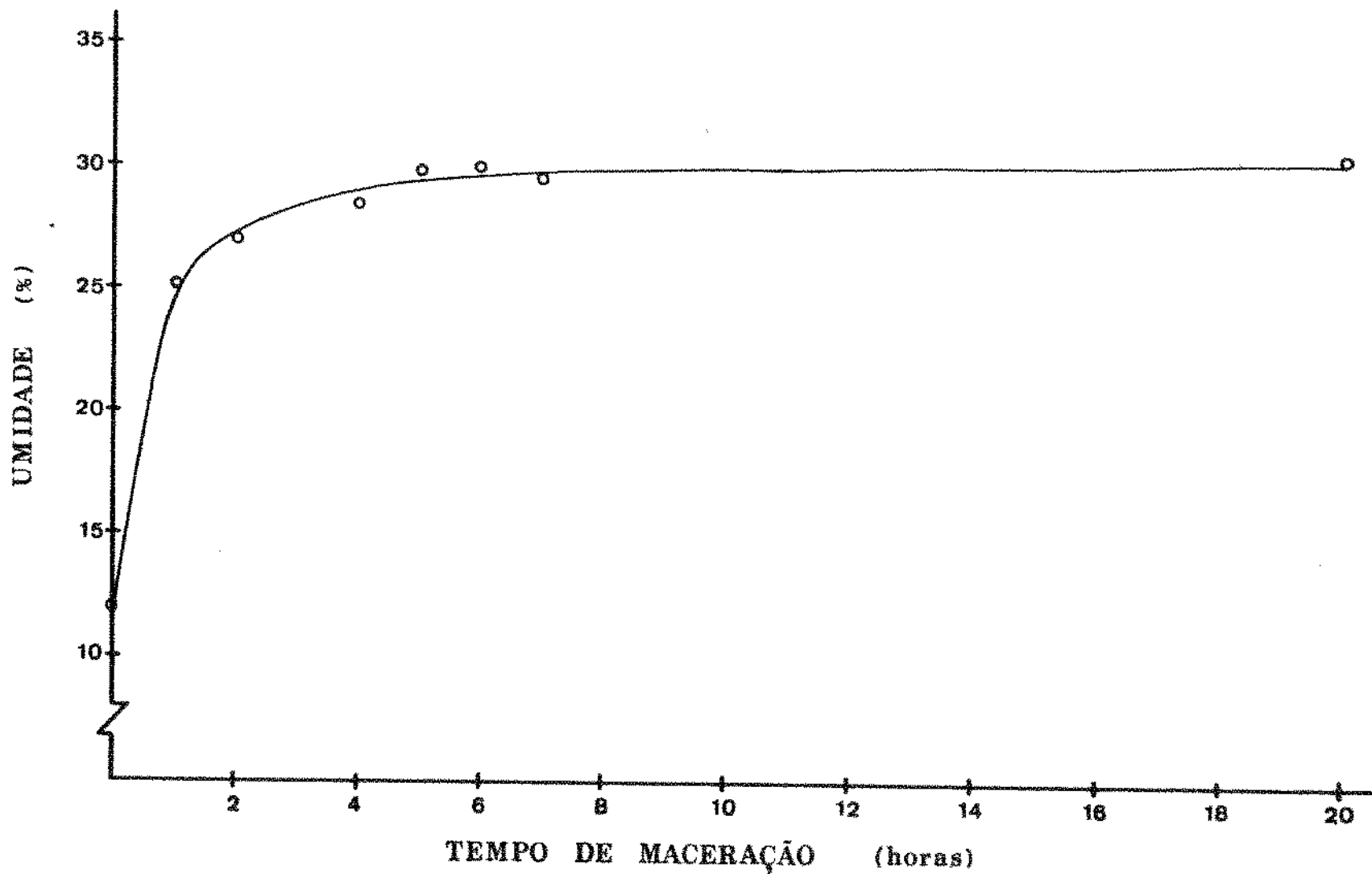


Figura 10. Correlação entre o tempo de maceração à temperatura ambiente (28-30°C) e a porcentagem de umidade no "grits" de milho.

que sofre alteração durante o processo de gelatinização, é a viscosidade em suspensões aquosas (6, 10, 27, 41). O valor da viscosidade seria função do grau de gelatinização.

Por causa das modificações físicas que ocorreram no material durante o tratamento térmico com vapor, as curvas de viscosidade das farinhas pré-gelatinizadas, não apresentaram o ponto máximo de viscosidade normalmente encontrado nas farinhas não pré-gelatinizadas. Portanto, para fazer a comparação entre os diferentes tratamentos, foram usados os valores da viscosidade a 95°C, viscosidade após 20 minutos a 95°C e viscosidade final de resfriamento a 50°C.

O efeito do tratamento térmico sobre a viscosidade da matéria prima sem macerar está representado na figura 11. Pode-se observar que o tratamento térmico causou redução tanto na viscosidade a 95°C, como na viscosidade após 20 minutos a 95°C e na viscosidade final a 50°C. Quando o material foi submetido ao contato com vapor a 118°C durante 1 minuto, uma redução bastante notável ocorreu na viscosidade final, enquanto que diminuições menos pronunciadas ocorreram na viscosidade a 95°C e na viscosidade após 20 minutos a 95°C. O aumento do tempo de tratamento térmico para 5 e 15 minutos ocasionou uma subsequente e uniforme diminuição na viscosidade.

O efeito do tempo de maceração à temperatura ambiente (28 - 30°C), sobre as características de viscosidade das farinhas pré-gelatinizadas com vapor, para tratamentos de 1, 5 e 15 minutos a 118°C está nas tabelas 7, 8 e 9, respectivamente.

Na medida que o tempo de maceração aumentou, a viscosidade a 95°C experimentou uma diminuição, como representado na figura 12, para tratamentos com vapor de 1, 5 e 15 minutos. A diminuição da viscosidade foi bastante rápida depois de 1 hora de maceração, tornando-se mais lenta posteriormente. Esta diminuição explica-se pelo fato de que quanto maior é o conteúdo de água do material, maior será o grau de gelatinização da farinha produzida.

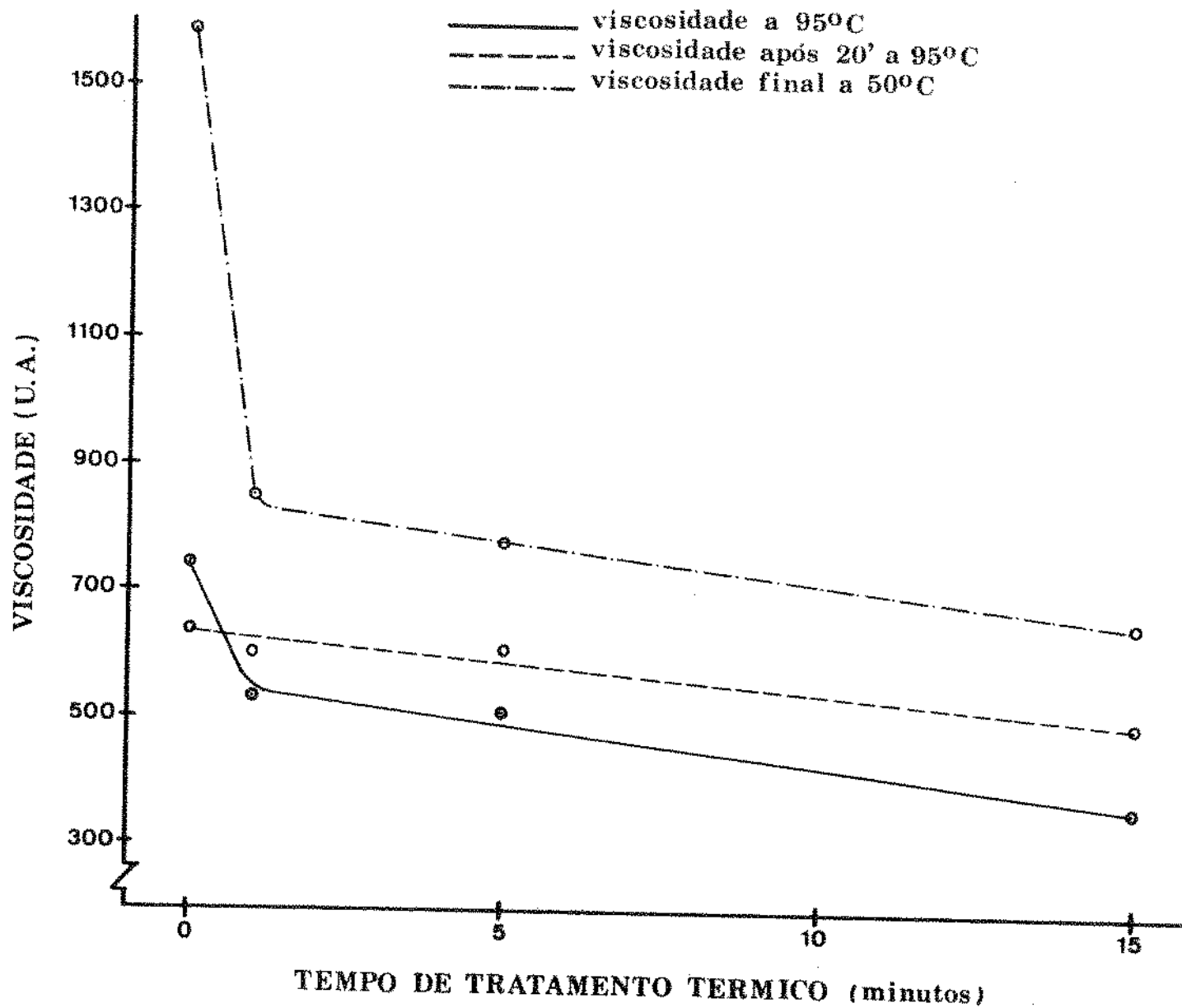


Figura 11. Efeito do tratamento térmico a 118°C na viscosidade do "grits" grosso de milho.

Tabela 7

Efeito do tempo de maceração sobre as características de viscosidade das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 1 minuto.

(temperatura de maceração: 28-30°C)

Tempo de maceração (horas)	Viscosidade a 95°C (U.A.)	Viscosidade após 20 min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade final no ciclo de resfriamento (U.A.)
0	530	600	850
1	230	375	550
2	200	290	440
4	120	250	365
5	60	170	250
6	55	170	265
7	55	175	250
20	50	160	250

Tabela 8

Efeito do tempo de maceração sobre as características de viscosidade das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 5 minutos.

(Temperatura de maceração: 28-30°C)

Tempo de maceração (horas)	Viscosidade a 95°C (U.A.)	Viscosidade após 20 min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade final no ciclo de resfriamento (U.A.)
0	510	610	780
1	90	255	400
2	80	190	320
4	100	230	290
5	50	140	210
20	50	150	200

Tabela 9

Efeito do tempo de maceração sobre as características de viscosidade das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 15 minutos.

(Temperatura de maceração: 28-30°C)

Tempo de maceração (horas)	Viscosidade a 95°C (U.A.)	Viscosidade após 20 min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade final no ciclo de resfriamento (U.A.)
0	370	500	660
1	50	175	320
2	40	110	210
4	40	110	220
5	40	90	180
20	60	130	210

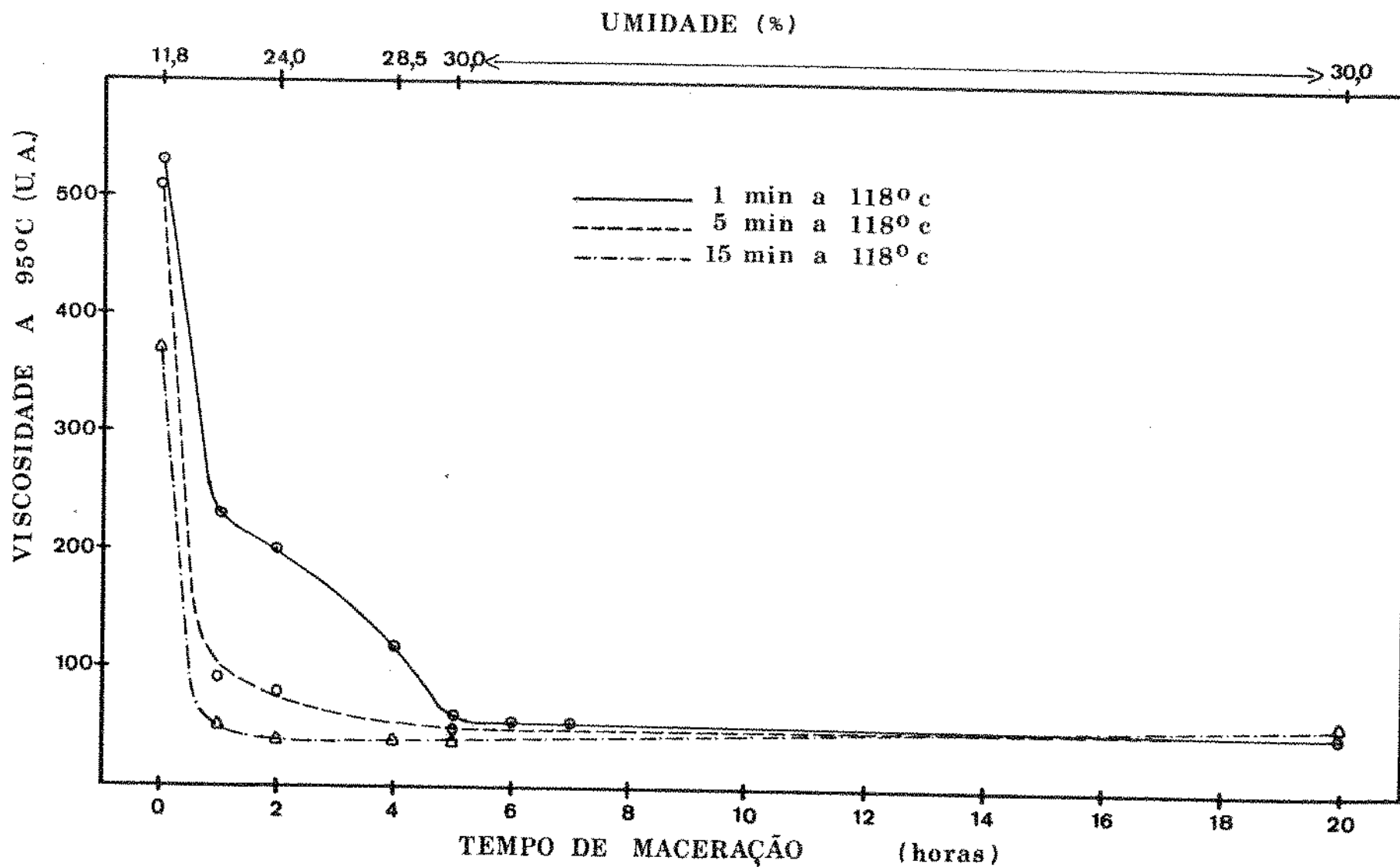


Figura 12. Variação de viscosidade a 95°C com o tempo de maceração à temperatura ambiente (28-30°C).

Para os tempos de tratamento térmico de 1 e 5 minutos a 118°C, a viscosidade a 95°C não variou com o tempo de maceração após 5 horas. Quando o tempo de tratamento térmico foi de 15 minutos, após uma hora de maceração (25% de umidade), a viscosidade a 95°C foi independente do tempo de maceração.

Comparando-se as variações de viscosidade a 95°C, entre os diferentes tempos de tratamento a 118°C, como mostrado na figura 12, observou-se que para os tempos de maceração inferiores a 5 horas (umidade < 30%), ocorreu diminuição na viscosidade com o aumento do tempo de tratamento desde 1 até 15 minutos, como resultado de um maior grau de gelatinização. Uma vez que o material atingiu o seu ponto de equilíbrio de umidade, o aumento do tempo de tratamento não produziu modificação na viscosidade a 95°C.

Anderson et al (2) e Peplinski e Pfeifer (50) observaram uma tendência similar de variação de viscosidade a 95°C, com o tempo de tratamento térmico e a umidade do material processado. Segundo Anstaett e Pfost (7) e Leitão et al (38), o grau de gelatinização do amido de milho, quando o grão é tratado hidrotérmicamente, aumenta com a umidade e o tempo de tratamento térmico, produzindo um aumento da susceptibilidade do material ao ataque de enzimas amilolíticas.

O efeito do tempo de maceração a 28 - 30°C, sobre a viscosidade das suspensões aquosas de farinha após serem mantidas a 95°C por 20 minutos, para os tempos de tratamento de 1, 5 e 15 minutos a 118°C, está representado na figura 13. Para os 3 tempos de tratamento térmico, a viscosidade após 20 minutos a 95°C sofreu inicialmente uma diminuição rápida com o tempo de maceração; posteriormente apresentou-se uma faixa de diminuição mais lenta e finalmente a viscosidade atingiu um ponto a partir do qual permaneceu aproximadamente constante. Este ponto foi atingido após 5 horas de maceração, quando o material foi tratado a 118°C por 1 ou 5 minutos e após 2 horas de maceração quando o tratamento térmico foi de 15 minutos.

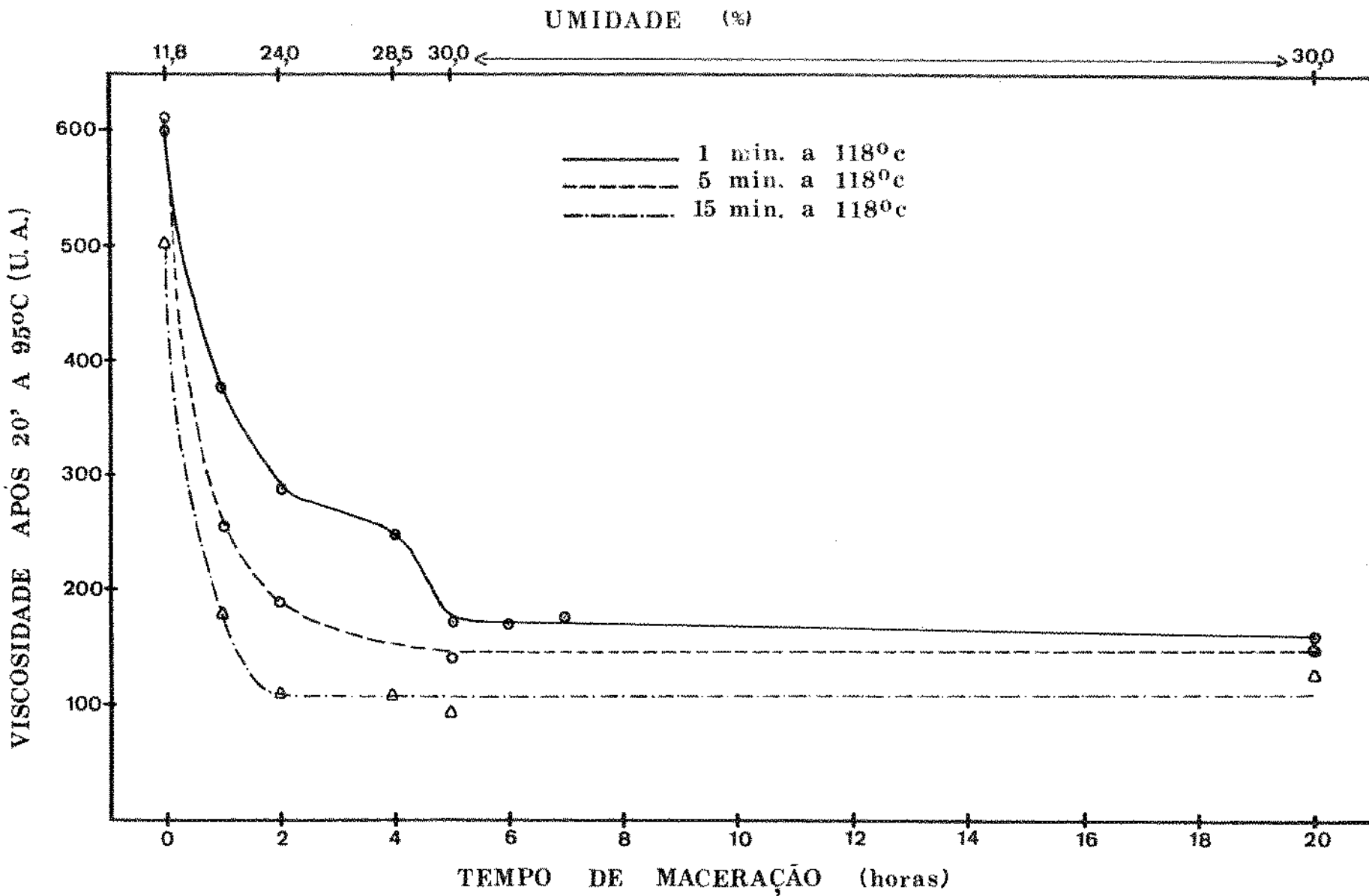


Figura 13. Variação da viscosidade após 20 minutos a 95°C com o tempo de maceração à temperatura ambiente (28-30°C).

Uma diminuição ocorreu na viscosidade final da pasta a 50°C com o aumento do tempo de maceração, (figura 14), para diferentes tempos de tratamento a 118°C. De maneira similar, o aumento do tempo de tratamento térmico, ocasionou diminuição na viscosidade final, como observado quando foram comparados os tratamentos de 1, 5 e 15 minutos, para um mesmo tempo de maceração. Diversos pesquisadores (4, 50) observaram um efeito semelhante.

Para tratamentos térmicos de 1 e 5 minutos, após 5 horas de maceração à temperatura ambiente, a viscosidade final apresentou poucas variações com o tempo de maceração, permanecendo num valor que oscilou entre 210 e 260 U.A. Entretanto, para 15 minutos de tratamento térmico, depois de 2 horas de maceração, a viscosidade final a 50°C, atingiu um valor de 220 U.A. que permaneceu aproximadamente constante para tempos maiores de maceração.

Pode-se concluir, que através do tratamento hidrotérmico de "grits" grosso de milho, seria possível obter farinhas pré-gelatinizadas com diferentes graus de gelatinização, dependendo da umidade do material e da intensidade do tratamento térmico.

Determinou-se que as características de viscosidade, correspondentes ao máximo grau de gelatinização, obtidas pelo tratamento de "grits" de milho com vapor a 118°C, foram:

Viscosidade a 95°C	=	40 - 60	U.A.
Viscosidade após 20' a 95°C	=	110 - 160	U.A.
Viscosidade final a 50°C	=	180 - 250	U.A.

Estas características foram determinadas no viscosímetro Brabender, usando uma suspensão de 56,25 g. de farinha (14% de umidade) em 450 mls de água, (12,50%).

Farinhas pré-gelatinizadas que obedeceram estas especificações de viscosidade, foram obtidas por maceração de "grits" de milho à temperatura ambiente (28°C) durante 5 horas, tempo

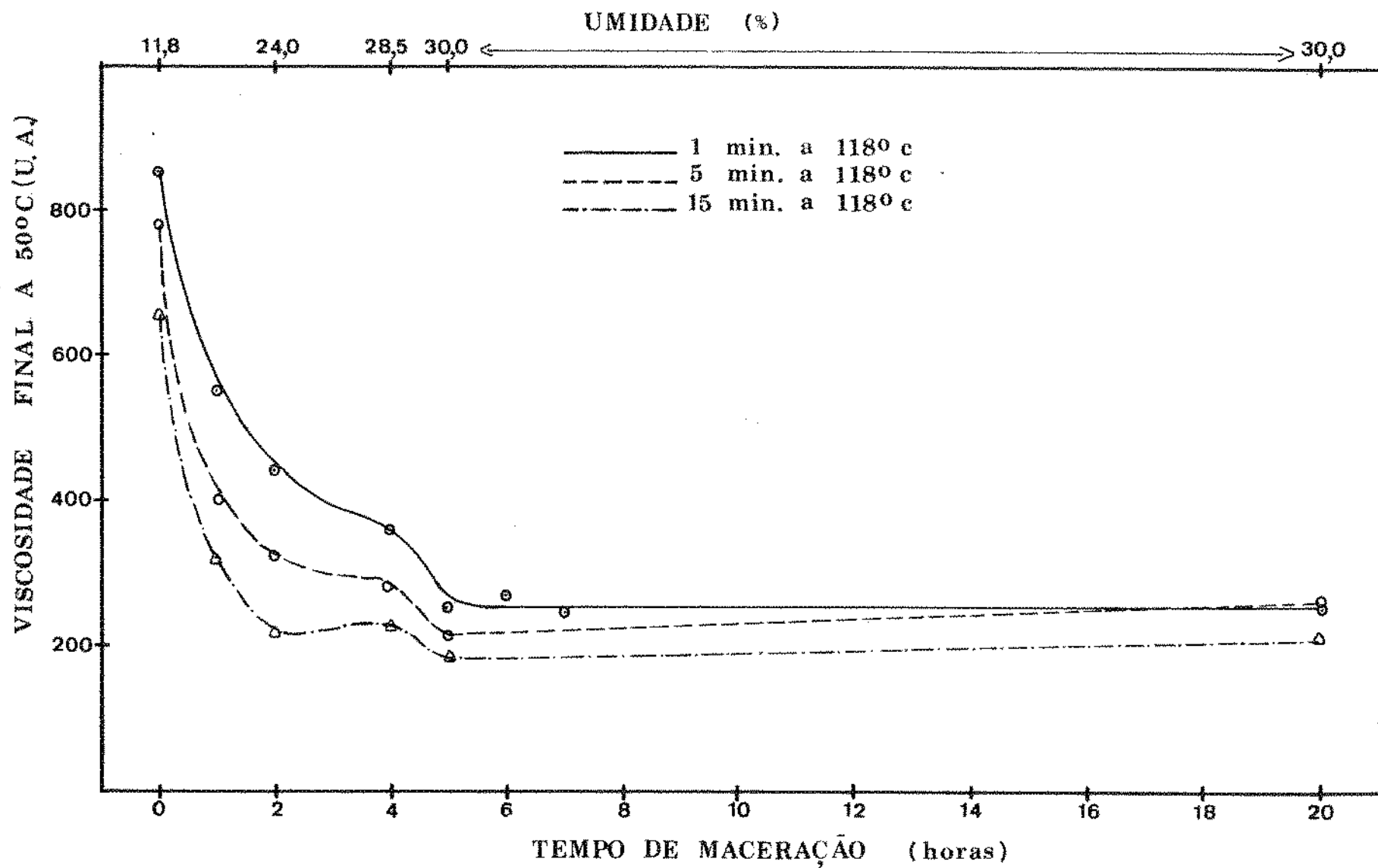


Figura 14. Variação da viscosidade final a 50°C com o tempo de maceração à temperatura ambiente (28-30°C).

durante o qual o material atingiu um nível de umidade de 30%, e posterior tratamento com vapor a 118°C, durante 1 minuto. Alternativamente, se o tempo de tratamento térmico for aumentado para 15 minutos, um menor nível de umidade (27%) será necessário para conseguir o mesmo grau de gelatinização e conseqüentemente, um tempo de maceração de 2 horas à temperatura ambiente, será adequado.

c) Efeito sobre a capacidade de absorção e solubilidade.

Além da viscosidade, outras características do amido, tais como a absorção de água e a solubilidade podem ser alteradas pelo processo de gelatinização (52). Na tabela 10, representa-se o efeito do tempo de maceração à temperatura ambiente e o tempo de tratamento a 118°C, sobre o índice de absorção de água das farinhas pré-gelatinizadas.

A modificação do amido causada pelo tratamento térmico aplicado em qualquer uma das condições usadas, produziu um aumento da capacidade de absorção de água da farinha, quando foram comparados os índices de absorção de água das farinhas pré-gelatinizadas, com o índice de absorção do "grits" sem tratamento. De fato, varios pesquisadores (35, 61) têm encontrado aumento na capacidade de absorção de água usando-se a pré-gelatinização de farinha de milho.

O tratamento térmico de "grits" de milho sem maceração, mostrou pouco efeito sobre a capacidade de absorção de água das farinhas. No entanto, o aumento da umidade ocasionado pela maceração e o tratamento térmico causaram uma maior elevação da capacidade de absorção de água pelas farinhas. Por outro lado, poucas diferenças em solubilidade foram encontradas entre as farinhas pré-gelatinizadas e o controle (tabela 11).

Tabela 10

Efeito do tempo de maceração à temperatura ambiente e o tempo de tratamento térmico sobre os índices de absorção de água das farinhas pré-gelatinizadas de milho.

Tempo de maceração (horas)	Tempo de tratamento térmico a 118°C (min.)		
	1	5	15
matéria prima (controle) 1)		3,42	
0	3,48	4,03	3,88
1	4,81	5,08	5,18
2	4,57	5,16	5,39
4	4,17	5,44	4,58
5	4,52	5,09	5,13
20	4,58	4,55	5,48

1) "Crits" grosso de milho sem tratamento

Tabela 11

Efeito do tempo de maceração à temperatura ambiente e o tempo de tratamento térmico sobre os índices de solubilidade em água das farinhas pré-gelatinizadas de milho.

Tempo de maceração (horas)	Tempo de tratamento térmico a 118°C (min.)		
	1	5	15
matéria prima (controle) 1)		2,42	
0	2,34	2,47	2,52
1	2,59	2,53	2,78
2	2,22	2,47	2,93
4	2,03	2,88	2,26
5	2,43	3,14	3,33
20	2,15	2,26	2,53

1) "Grits" grosso de milho sem tratamento.

d) Comparação da viscosidade entre a farinha de milho e a farinha pré-gelatinizada de milho.

Foi verificado que o tratamento de "grits" de milho com vapor, após ser acondicionado para atingir determinado nível de umidade, produz modificações nas características de viscosidade das farinhas, como resultado da modificação sofrida pelo amido. Comparação das curvas de viscosidade obtidas no viscoamilo grafo, entre a farinha de milho sem tratamento e farinhas pré-gelatinizadas por tratamento com vapor, é apresentada na figura 15.

As farinhas pré-gelatinizadas não apresentaram queda de viscosidade durante o ciclo de aquecimento, contrariamente ao que ocorreu com a farinha não pré-gelatinizada, cuja viscosidade diminuiu após atingir um valor máximo a 88°C. Esta diferença é devida provavelmente a que os grânulos de amido de baixo nível de associação intermolecular, que são os responsáveis pela queda de viscosidade na farinha de milho não pré-gelatinizada, seriam quebrados pelo tratamento térmico.

A viscosidade a 95°C foi mais baixa para as farinhas pré-gelatinizadas de milho que para a farinha de milho, devido ao fato do tratamento térmico modificar a capacidade dos grânulos entumescerem durante o ciclo de aquecimento. Isto sugere que o tratamento térmico teria limitado o grau de expansão dos grânulos de amido não quebrados durante o processo, aumentando assim o nível de associação entre as moléculas, como o indicou o fato das farinhas pré-gelatinizadas com menor viscosidade a 95°C terem apresentado alta resistência ao rompimento durante o ciclo de temperatura constante e uma maior temperatura de gelatinização que a farinha não pré-gelatinizada.

A farinha de milho sem tratamento, apresentou uma viscosidade final depois do resfriamento maior em comparação com as farinhas pré-gelatinizadas de milho. O aumento da viscosidade da farinha não pré-gelatinizada, durante o ciclo de resfriamento, poderia ter ocorrido pela associação de moléculas de amilose solúveis e devido à formação de uma rede entre os grânulos de amido.

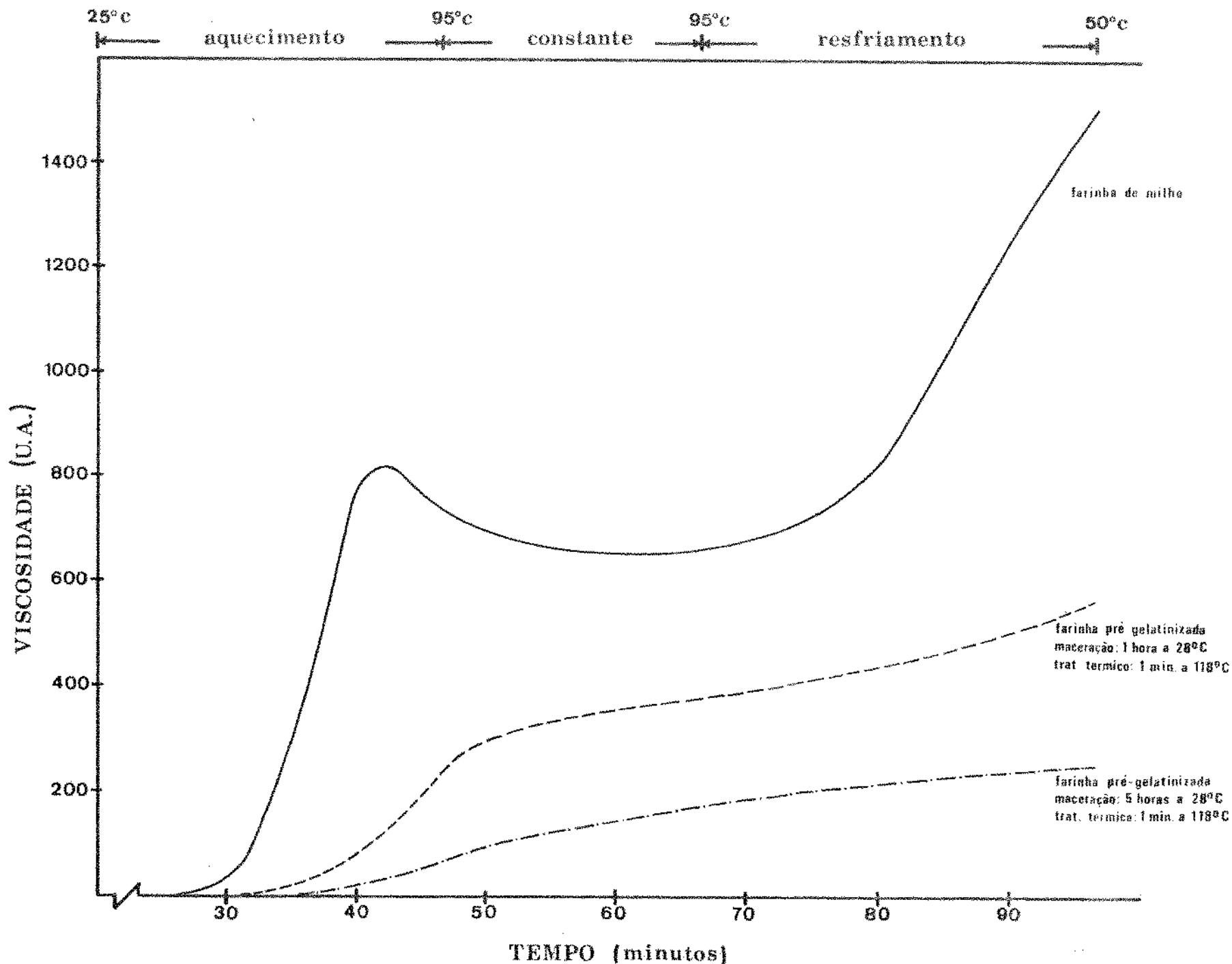


Figura 15. Comparação de viscosidade entre farinha de milho e farinha de milho pré-gelatinizada por tratamento com vapor.

do expandidos (figura 16a), através da associação de moléculas de amilose parcialmente liberadas dos grânulos, (figuras 16b e 16c). Nas farinhas pré-gelatinizadas, os grânulos que participam na formação da rede, provavelmente apresentaram um menor grau de entumescimento, provocando assim aumento limitado de viscosidade durante o resfriamento, (figura 17).

3 - Efeito da temperatura de maceração nas características das farinhas pré-gelatinizadas

A velocidade de absorção de água do material durante a maceração está em relação direta com a temperatura (26). Assim, uma diminuição do tempo de maceração necessário pode-se conseguir pelo uso de temperaturas de maceração superiores à temperatura ambiente, nas quais a velocidade de absorção de água do "grits" é maior. Foi determinado o efeito da temperatura de maceração na absorção de água e nas características das farinhas obtidas pelo tratamento do "grits" com vapor a 118°C durante 1 minuto, visando estabelecer o mínimo tempo de maceração necessário quando temperaturas de 50, 60 e 70°C foram usadas.

a) Correlação entre tempo de maceração e umidade

A figura 18 mostra a variação da umidade do "grits" com o tempo de maceração às temperaturas de 60 e 70°C. O material atingiu a umidade de 30%, num tempo de uma hora quando macerado a 60°C e em 20 minutos durante a maceração a 70°C, o que comprovou que a temperatura afeta grandemente a velocidade de absorção de água do material, sendo desta maneira possível diminuir o tempo total de maceração necessário para o processo.

b) Efeito sobre a viscosidade

Quando foi usado um tempo de maceração de 1 hora e o produto foi tratado com vapor a 118°C por 1 minuto, o aumento da temperatura de maceração ocasionou uma diminuição na viscosidade das farinhas em suspensão aquosa, como está mostrado na ta

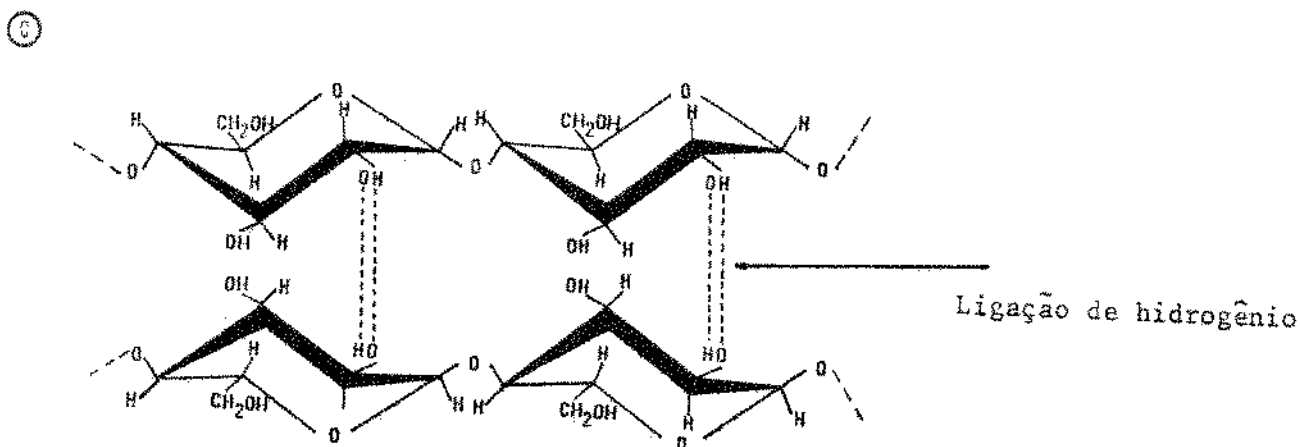
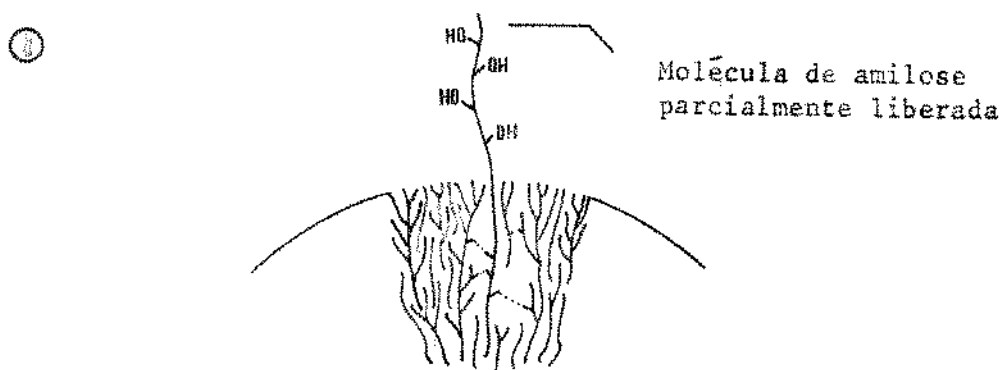
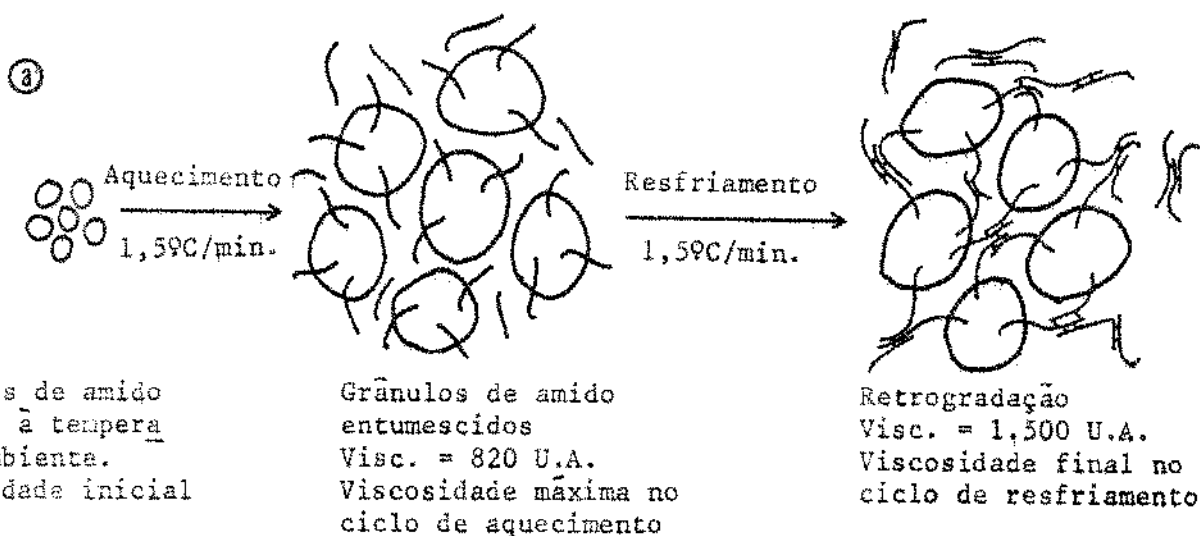


Figura 16. Modificação dos grânulos de amido de farinha de milho, pelo aquecimento e resfriamento em meio aquoso.

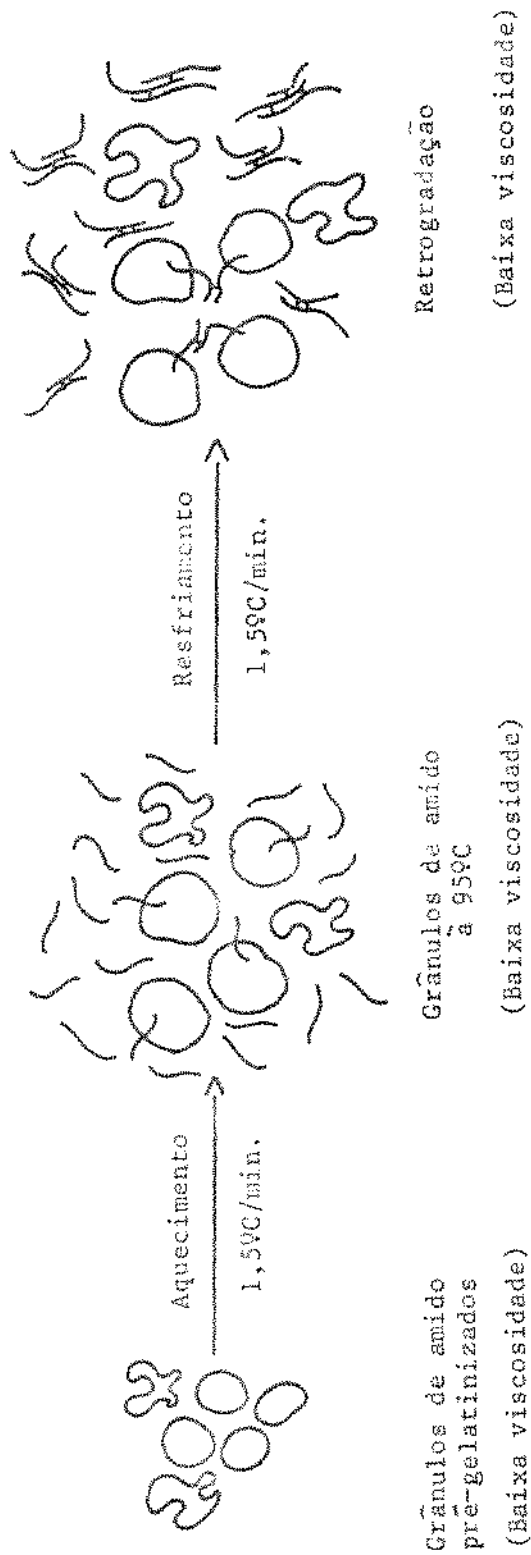


Figura 17. Modificação dos grânulos de amido de farinha de milho pré-gelatinizada por tratamento com vapor, pelo aquecimento e resfriamento em meio aquoso.

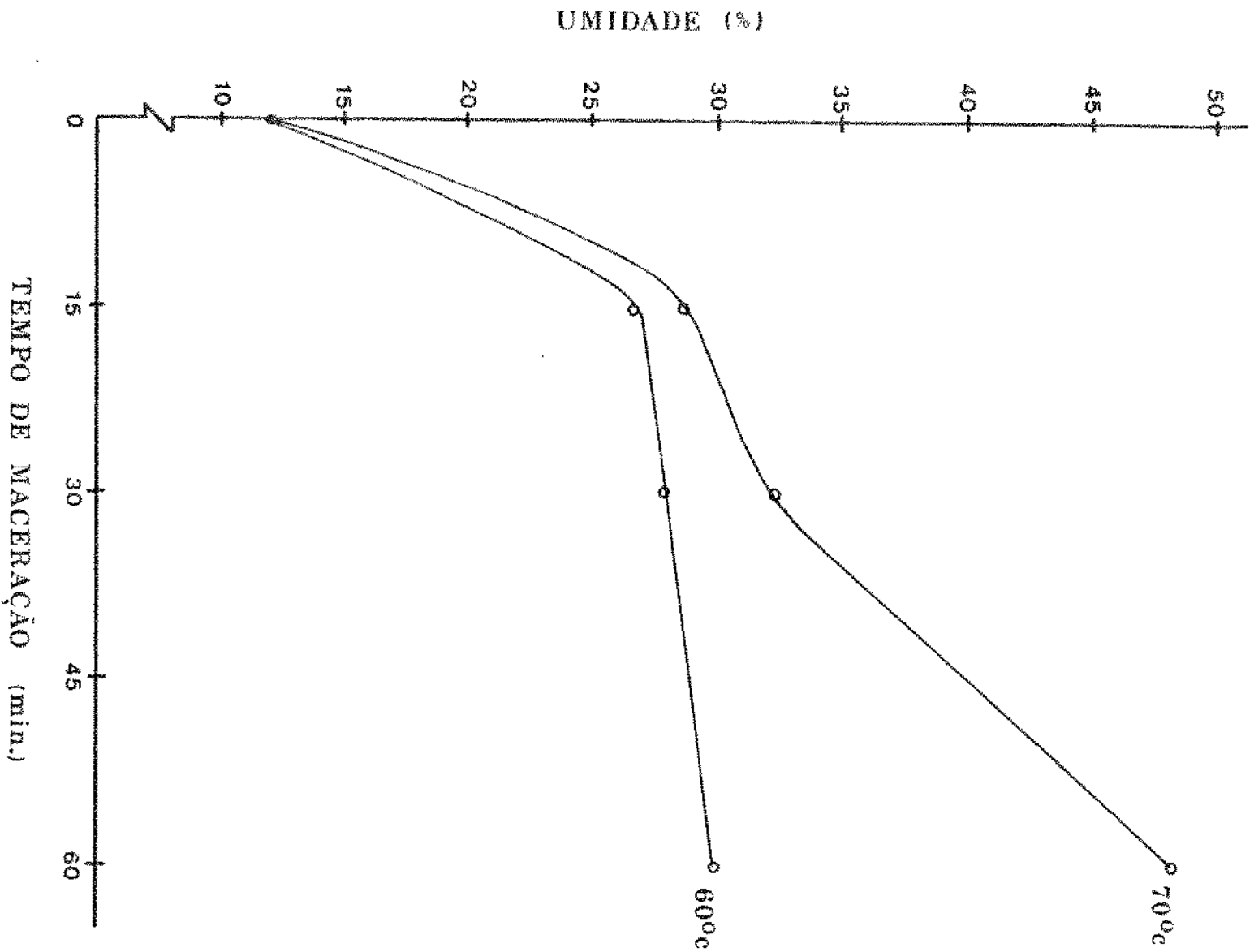


Figura 18. Correlação entre tempo de maceração a 60 e 70°C e a umidade no "grits" de milho.

bela 12 e na figura 19.

A viscosidade a 95°C experimentou uma redução desde 230 U.A., com maceração a 28°C, até 50 U.A. com maceração a 70°C. Em forma semelhante, a viscosidade após manter a pasta por 20 minutos a 95°C e a viscosidade final a 50°C no ciclo de resfriamento, foram diminuídas desde 375 U.A. e 550 U.A., até 110 U.A. e 220 U.A., respectivamente, como efeito do aumento da temperatura de maceração desde 28 a 70°C.

Esta diminuição de viscosidade foi devida ao fato de que para o mesmo tempo de maceração (1 hora), o material macerado a maior temperatura atingiu maior umidade, e assim um tratamento térmico da mesma intensidade ocasionou nele um maior grau de gelatinização.

As diferenças em viscosidade entre as farinhas obtidas com temperaturas de maceração de 60 e 70°C por períodos de 15, 30 e 60 minutos em cada caso, estão apresentadas na tabela 13. Para qualquer tempo de maceração, conseguiu-se um maior grau de gelatinização, quando a temperatura de maceração foi de 70°C, como mostrado pela sua viscosidade mais baixa.

A redução do tempo de maceração de 60 para 30 minutos, não afetou apreciavelmente a viscosidade das farinhas; obtendo-se praticamente o mesmo grau de gelatinização. No entanto, quando diminuiu-se para 15 minutos, o tempo de maceração a 60 e 70°C, ocorreu um aumento na viscosidade das farinhas, em relação aos valores obtidos com 30 minutos de maceração.

Estes resultados indicaram que pelo aumento da temperatura de maceração, é possível diminuir o tempo de maceração necessário para alcançar um determinado conteúdo de umidade do "grits". As características de viscosidade correspondentes ao máximo grau de gelatinização, que foram estabelecidas na seção anterior, podem ser obtidas pelo tratamento do "grits" com vapor a 118°C durante 1 minuto, com maceração previa do material durante 30 minutos a 70°C. Com 30 minutos de maceração a 60°C, e o mesmo

Tabela 12

Efeito da temperatura de maceração sobre as características de viscosidade das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 1 minuto.

(tempo de maceração: 1 hora)

Temperatura de maceração (°C)	Viscosidade a 95°C (U.A.)	Viscosidade após 20 min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade final no ciclo de resfriamento (U.A.)
28 ¹⁾	230	375	550
50	150	290	450
60	80	200	340
70	50	110	220

1) Temperatura ambiente.

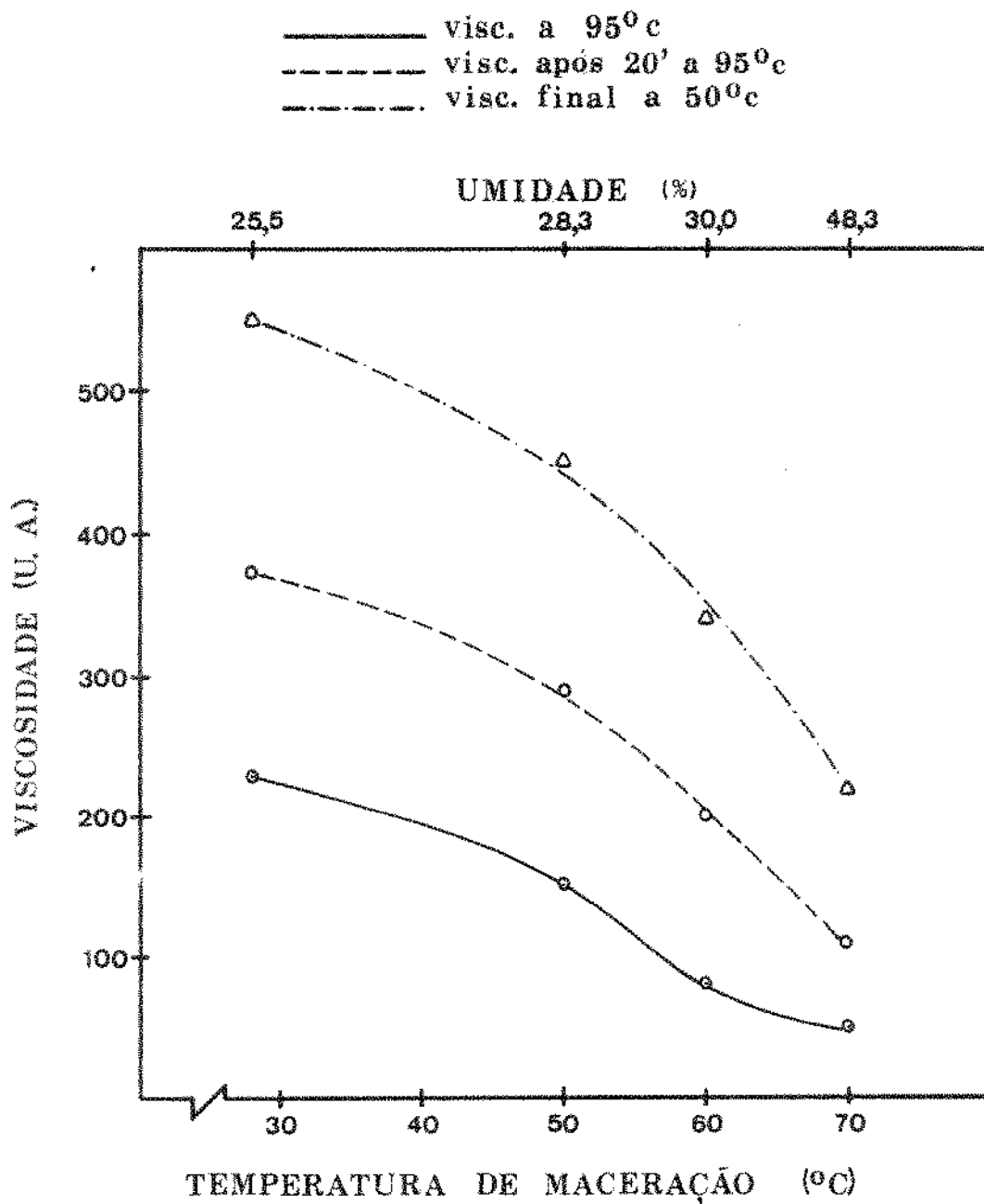


Figura 19. Efeito da temperatura de maceração na viscosidade das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 1 minuto.

Tabela 13

Efeito da temperatura e tempo de maceração sobre as características de viscosidade das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 1 minuto.

Tempo de maceração (min.)	Temperatura de maceração (°C)	Umidade no "grits" (%)	Viscosidade a 95°C (U.A.)	Viscosidade após 20 min. a 95°C (U.A.)	Viscosidade final no ciclo de resfriamento (U.A.)
15	60	26,5	110	270	450
	70	27,5	100	220	380
30	60	28,0	80	190	320
	70	32,0	50	140	260
60	60	30,0	80	200	340
	70	48,3	50	110	220

tratamento térmico (1 minuto a 118°C), obteve-se uma farinha com características de viscosidade semelhantes, embora um pouco maiores do que as correspondentes ao máximo grau de gelatinização.

c) Efeito sobre a capacidade de absorção e solubilidade

Poucas diferenças foram encontradas na capacidade de absorção de água e na solubilidade das farinhas pré-gelatinizadas, quando foram usadas temperaturas de maceração de 60 e 70°C, durante 15, 30 e 60 minutos, como está representado na tabela 14. Esta pequena variação não permitiu estabelecer uma tendência clara do efeito da temperatura de maceração, durante diversos tempos, nos índices de absorção e solubilidade das farinhas pré-gelatinizadas.

4 - Comparação das farinhas pré-gelatinizadas por tratamento térmico nas condições de operação para obter o máximo grau de gelatinização.

As características das farinhas pré-gelatinizadas, usando as condições de maceração e tratamento térmico que conduzem ao máximo grau de gelatinização, estão apresentadas na tabela 15.

Usando um tempo de tratamento térmico de 1 minuto a 118°C, foi necessário aumentar a umidade do "grits" até 30%, por 5 horas de maceração em água a 28°C. Um conteúdo de umidade menor do "grits" (27%), pode ser usado para um tratamento térmico de 15 minutos a 118°C. Neste caso foi necessário um tempo de maceração em água a 28°C, durante 2 horas. No entanto, um produto pré-gelatinizado com características similares, pode ser obtido por maceração do "grits" em água a 70°C durante um tempo de 30 minutos e um posterior tratamento térmico com vapor a 118°C durante 1 minuto.

Tabela 14

Efeito da temperatura e tempo de maceração sobre os índices de absorção e solubilidade em água das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor a 118°C durante 1 minuto.

Tempo de maceração (min.)	Temperatura de maceração (°C)	Umidade no "grits" (%)	Índice de Absorção de água	Índice de solubilidade em água
15	60	26,5	4,03	2,35
	70	27,5	3,88	2,18
30	60	28,0	4,22	2,02
	70	32,0	4,08	1,98
60	60	30,0	4,24	2,07
	70	48,3	4,36	2,66

Tabela 15

Comparação de características das farinhas de milho pré-gelatinizadas por tratamento com vapor nas condições para obter o máximo grau de gelatinização.

Condições de Operações				Características das farinhas pré-gelatinizadas				
Tempo de maceração	Temperatura de maceração (°C)	Unidade no "grits" (%)	Tempo de tratamento térmico (min)	Viscosidade a 95°C (U.A.)	Viscosidade após 20 min a 95°C (U.A.)	Viscosidade final no ciclo de resfriamento (U.A.)	Índice de absorção de água	Índice de solubilidade em água
5 horas	28-30	30,0	1	60	170	250	4,52	2,43
2 horas	28-30	27,0	15	40	110	210	4,39	2,93
30 min.	70	32,0	5	50	140	260	4,08	1,98

C. PROCESSO DE GELATINIZAÇÃO POR EXTRUSÃO

A extrusão é um dos métodos industriais que estão sendo usados para a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas de cereais e o processamento de outros materiais farináceos (56). Neste sistema de pré-gelatinização combinam-se dois fatores básicos cuja ação conjunta produz a gelatinização do amido. Esses dois fatores são o efeito térmico e o efeito mecânico. Muitos parâmetros afetam as características e funcionalidade das farinhas pré-gelatinizadas por extrusão e muitos deles têm sido estudados (2, 4, 20, 21, 23, 44).

Foram determinadas as características de farinhas pré-gelatinizadas por extrusão, sob diferentes condições de processamento, a fim de estabelecer uma comparação com farinhas obtidas pelo processo de gelatinização por vapor direto.

1 - Características das matérias primas

Considerando-se que o tamanho de partícula afetaria o grau de gelatinização das farinhas pré-gelatinizadas por extrusão, usaram-se como matérias primas para estes ensaios dois produtos com diferente granulometria. São eles "grits" fino de milho, cujas características são apresentadas nos itens subsequentes.

a) Composição química

Os dois materiais usados para os ensaios de pré-gelatinização por extrusão ("grits" e farinha de milho), apresentaram a composição química geral mostrada na tabela 16. Os conteúdos de proteína, gordura, cinzas e carboidratos, foram semelhantes para os dois produtos, sendo em ambos os casos, característicos de materiais farináceos constituídos pelo endosperma do milho.

b) Granulometria

A diferença fundamental entre os dois produtos foi o tamanho de partícula. Para o "grits", 90% das partículas foram maiores que 840μ e menos que 1% das partículas foram menores que 590μ , segundo os resultados mostrados na tabela 17. O diâmetro médio deste material foi calculado em 1014μ .

A farinha teve granulometria mais fina, tendo 75% das partículas um tamanho variável entre 149 e 297μ (tabela 18). Seu diâmetro médio foi de 174μ .

c) Viscosidade

As características de viscosidade dos materiais, de terminadas no viscoamiloógrafo Brabender são apresentadas na tabela 19. Em ambos os casos, as características de viscosidade obtidas, corresponderam a valores normais para farinhas de milho sem pré-gelatinizar. Valores ligeiramente menores de viscosidade obtiveram-se para a farinha de milho em comparação ao "grits" fino de milho.

d) Índices de absorção de água e solubilidade

O "grits" de milho usado nos ensaios de pré-gelatinização, por extrusão, apresentou uma maior capacidade de absorção de água e solubilidade que a farinha. O índice de absorção de água do "grits" foi de 3,25 enquanto que para a farinha foi de 2,61. Entretanto, os índices de solubilidade dos materiais foram de 3,15 e 1,64 respectivamente.

2 - Características das farinhas pré-gelatinizadas por extrusão

As características das farinhas pré-gelatinizadas por extrusão, usando "grits" de milho como matéria prima ($DM = 1014\mu$), estão apresentadas na tabela 20. Como efeito das modificações causadas no amido, pela ação térmica e mecânica no extrusor, foi observada uma diminuição na viscosidade e aumento na ca

Tabela 16

Composição química das matérias primas usadas na pré-ge latinização por extrusão.¹⁾

Componente	Porcentagem	
	"grits" fino de milho	farinha de milho
Proteína (N x 6,25)	7,60	8,16
Gordura	0,45	0,38
Cinzas	0,30	0,27
Carboidratos	91,65	91,19

1) Base seca.

Tabela 17

Análise granulométrica do "grits" fino de milho

Sobre peneira Tyler nº	Tamanho de partícula (μ)	Material retido (%)
14	> 1190	29,1
20	840-1190	60,9
28	590-840	9,4
Fundo	< 590	0,7

Diâmetro médio das partículas (μ) = 1014

Tabela 18

Análise granulométrica da farinha de milho

Sobre peneira Tyler nº	Tamanho de partícula (μ)	Material retido (%)
48	> 297	2,5
65	210-297	27,0
100	149-210	47,0
Fundo	< 149	23,5

Diâmetro médio das partículas (μ) = 174

Tabela 19

Características viscoamilográficas das matérias primas na pré-gelatinização por extrusão.

Característica	"Grits" fino de milho	farinha de milho
Temperatura inicial de Gelatinização (°C)	68,5	71,5
Viscosidade máxima (U.A.)	420	380
Temperatura de viscosidade máxima (°C)	91,0	92,5
Viscosidade a 95°C (U.A.)	400	380
Viscosidade após 20' a 95°C (U.A.)	345	370
Viscosidade final no ciclo de resfriamento (U.A.)	1.250	1.170

pacidade de absorção de água e solubilidade das farinhas, quando comparadas com a matéria prima.

Para todos os produtos pré-gelatinizados por extrusão, foi considerada como temperatura de extrusão, a temperatura correspondente à última seção do cilindro, na qual ocorre grande parte da modificação do material. As temperaturas nas seções 1 a 6 foram, em todos os casos, menores que 80°C.

O processamento de "grits" de milho em condições de menor umidade (26%) e menor temperatura (105°C), levaram à obtenção de uma farinha com um maior grau de gelatinização, como mostrado pela sua menor viscosidade a 95°C e menor viscosidade de pois de 20 minutos a 95°C (tabela 20). Diversos pesquisadores (2, 3, 20, 44), verificaram que o grau de gelatinização das farinhas pré-gelatinizadas por extrusão está em relação direta com a temperatura e em relação inversa com a umidade do material. Assim foi possível deduzir que, neste caso, a variável que afetou com maior intensidade o grau de gelatinização durante a extrusão do "grits" foi o conteúdo de umidade.

A maior modificação que sofreu o "grits" extrudado com menor nível de água, é provavelmente devido à maior força de fricção que atua sobre o amido no cilindro de extrusão, resultando num maior rompimento dos grânulos.

A viscosidade final no ciclo de resfriamento das farinhas pré-gelatinizadas por extrusão, tiveram um valor mais baixo do que o "grits" sem tratamento, porém não se apresentou uma tendência definida para se avaliar o efeito da umidade ou da temperatura, sobre o grau de retrogradação das farinhas. Da mesma maneira, as variações nos índices de absorção e solubilidade com as condições de extrusão não apresentaram uniformidade.

Na tabela 21 estão as características das farinhas pré-gelatinizadas por extrusão quando farinha de milho (DM = 174p), foi usada como matéria prima. Esses resultados permitiram apreciar claramente o efeito da umidade do material sobre o

Tabela 20

Características das farinhas de milho pré-gelatinizadas por extrusão

(matéria prima: "grits" fino de milho - DM¹⁾ = 1.014 μ)

Unidade no "grits" (%)	temperatura de extrusão (°C)	viscosidade a 95°C (U.A.)	viscosidade após 20 min. a 95°C (U.A.)	viscosidade final no ci- clo de res- friamento (U.A.)	Índice de absorsão de água	Índice de solubili- dade em água
26,0	105	90	100	700	5,82	9,22
30,0	115	110	120	610	3,98	15,05
32,0	125	155	160	640	4,39	9,75
Matéria prima (controle)		400	345	1.250	3,25	3,15

1) DM = diâmetro médio de partículas.

Tabela 21

Características das farinhas de milho pré-gelatinizadas por extrusão

(matéria prima: farinha de milho - DM¹⁾ = 174 μ)

Umidade na farinha	Temperatura de extrusão	Viscosidade a 95°C	Viscosidade após 20 min. a 95°C	Viscosidade final no ci- clo de res- friamento	Índice de absorção de água	Índice de solubili- dade em água
(%)	(°C)	(U.A.)	(U.A.)	(U.A.)		
31,0	140	220	200	330	6,42	3,62
35,0	140	250	240	360	6,26	3,18
Matéria prima (controle)		380	370	1.170	2,61	1,64

1) DM = diâmetro médio de partículas.

grau de gelatinização.

O material extrudado a 140°C com 31% de umidade, mostrou um maior grau de gelatinização, indicado pela sua menor viscosidade em meio aquoso e maior capacidade de absorção de água e solubilidade; confirmando a relação inversa existente entre a umidade do material e o grau de gelatinização da farinha.

D. COMPARAÇÃO ENTRE A PRÉ-GELATINIZAÇÃO POR TRATAMENTO COM VAPOR E A PRÉ-GELATINIZAÇÃO POR EXTRUSÃO

1 - Características das farinhas

Levando-se em conta que no processo de tratamento com vapor a gelatinização do material ocorre exclusivamente pelo calor, e na extrusão há uma ação combinada de esforços mecânicos e calor, podem haver diferenças no tipo de modificação causada no material por um ou outro tratamento.

Em geral, para os dois processos, o tratamento térmico ou térmico-mecânico, causou uma diminuição na capacidade da farinha formar pastas de alta viscosidade, como mostrado pela diminuição na viscosidade a 95°C e na viscosidade a 50°C depois do resfriamento. Adicionalmente, a sua capacidade de absorção de água e solubilidade foram modificadas em maior ou menor grau, dependendo da intensidade e natureza do tratamento. Estas modificações foram devidas fundamentalmente à gelatinização do amido.

Algumas diferenças foram identificadas entre as farinhas pré-gelatinizadas pelos dois métodos. As variações das características das farinhas (viscosidade, absorção, solubilidade), seguiram um padrão definido quando foram pré-gelatinizadas por tratamento com vapor. Observou-se assim, que na medida que as condições de tratamento por vapor foram mais drásticas, ocorreu uma diminuição progressiva na viscosidade das farinhas em meio aquoso. No entanto, no processo de extrusão, não se apresentou uma tendência uniforme de variação das características das farin

nhas, devido em parte à interferência da ação mecânica que poderia estar causando modificações secundárias.

No que diz respeito às características de viscosidade pode-se, concluir que a pré-gelatinização por tratamento hidrotérmico é um método adequado para obter farinhas com características semelhantes às obtidas por extrusão, nas condições usadas neste trabalho.

2 - Processo de elaboração

Além das diferenças entre os dois sistemas no referente à natureza do tratamento, apresentam-se também notáveis diferenças no processo integral de obtenção das farinhas, particularmente nas etapas de preparação da matéria prima que precedem a operação de pré-gelatinização propriamente dita.

A figura 20 mostra as operações de armazenamento, limpeza, degerminação e separação das frações, que são convencionalmente usadas no processo do milho via seca (13). Após a separação do germen e a casca, liberados do endosperma no degerminador, por meio de peneiras, aspiradores e separadores gravimétricos, obtém-se três produtos principais constituídos pelo endosperma do grão e diferenciados pelo seu tamanho de partícula. Estes "grits", em conjunto ou separadamente, apresentam um tamanho de partícula adequado (2000 - 5520 μ), para serem usados na obtenção de farinha pré-gelatinizada de milho, com o sistema de tratamento térmico com vapor mostrado na figura 21, com quatro operações fundamentais que são maceração, tratamento térmico, secagem e moagem.

Por outro lado, o sistema de pré-gelatinização por extrusão, caracteriza-se por usar como matérias primas "grits" fino de milho (< 1410 μ) ou farinhas de menor granulação (150 - 550 μ) para cuja obtenção é preciso submeter os "grits" grossos obtidos após a degerminação (figura 20) a posteriores etapas de moagem, classificação e purificação dos produtos, que implicam

ARMAZENAGEM

LIMPEZA

DEGERMINAÇÃO

SEPARAÇÃO

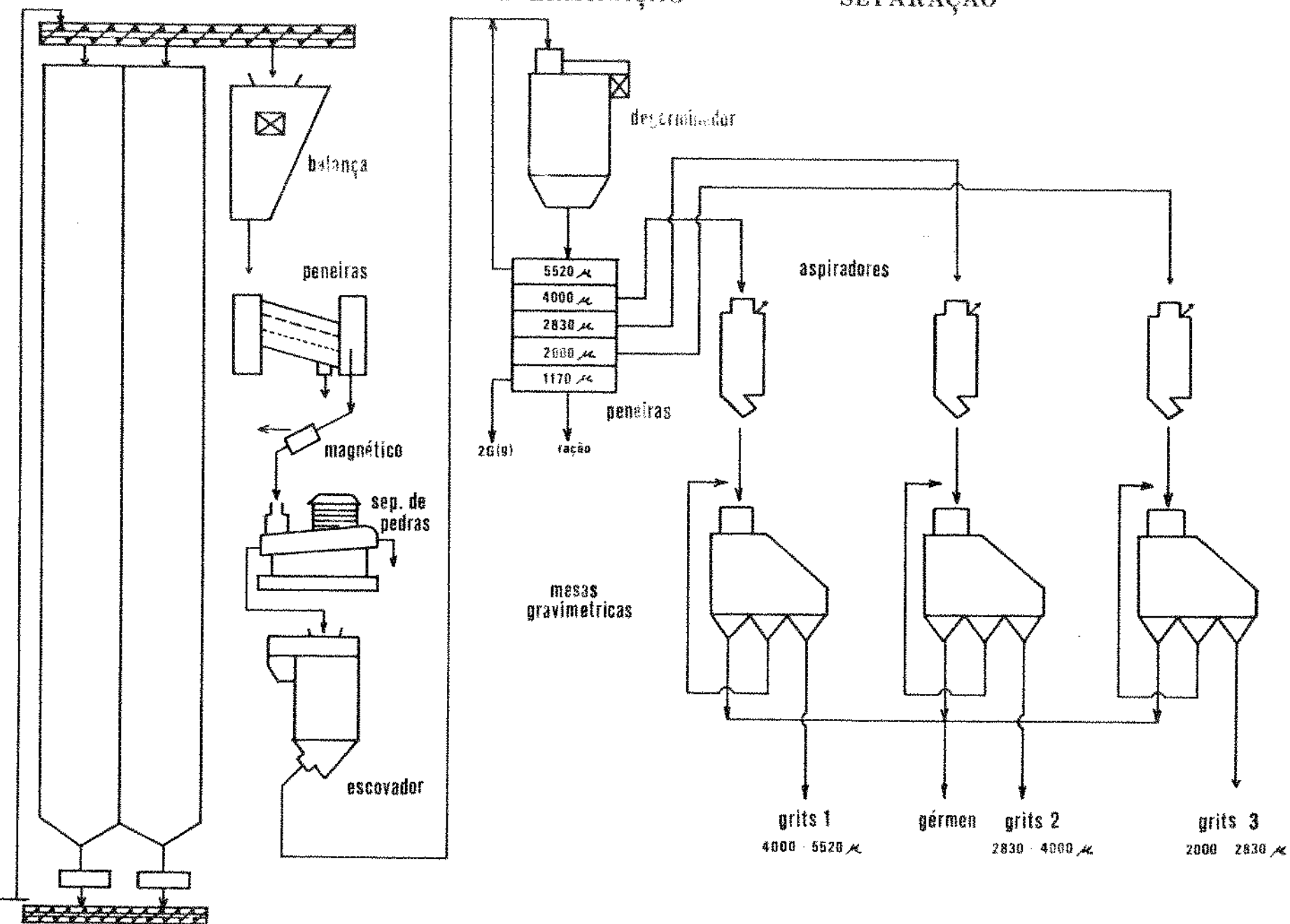


Figura 20. Fluxograma da obtenção de "grits" grosso de milho.

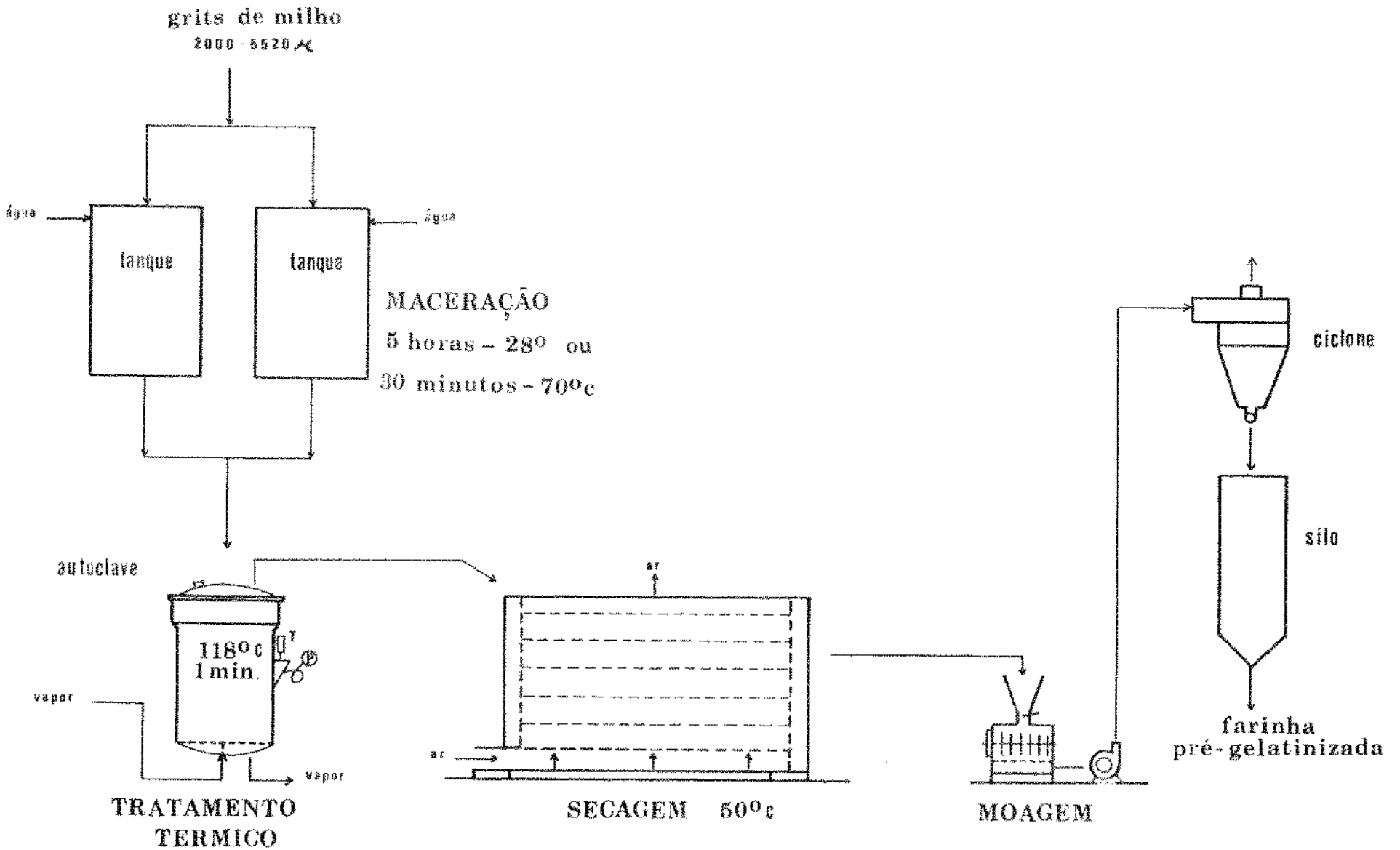


Figura 21. Fluxograma da obtenção de farinha pré-gelatinizada de milho por tratamento com vapor.

no uso de todo o complexo sistema de moagem apresentado na figura 22, usado no processamento via seca do milho para a produção de "grits" finos e farinha de milho (13). A partir dos produtos obtidos neste processo, pode-se efetuar a elaboração de farinha pré-gelatinizada pelo sistema de extrusão, segundo o diagrama apresentado na figura 23.

É evidente portanto que apesar de ser mais versátil o sistema de extrusão para a obtenção de farinhas pré-gelatinizadas (23), o tratamento com vapor é um processo mais simples, não tão só na etapa de pré-gelatinização propriamente dita, mas também nas etapas preliminares necessárias para a obtenção da matéria prima adequada.

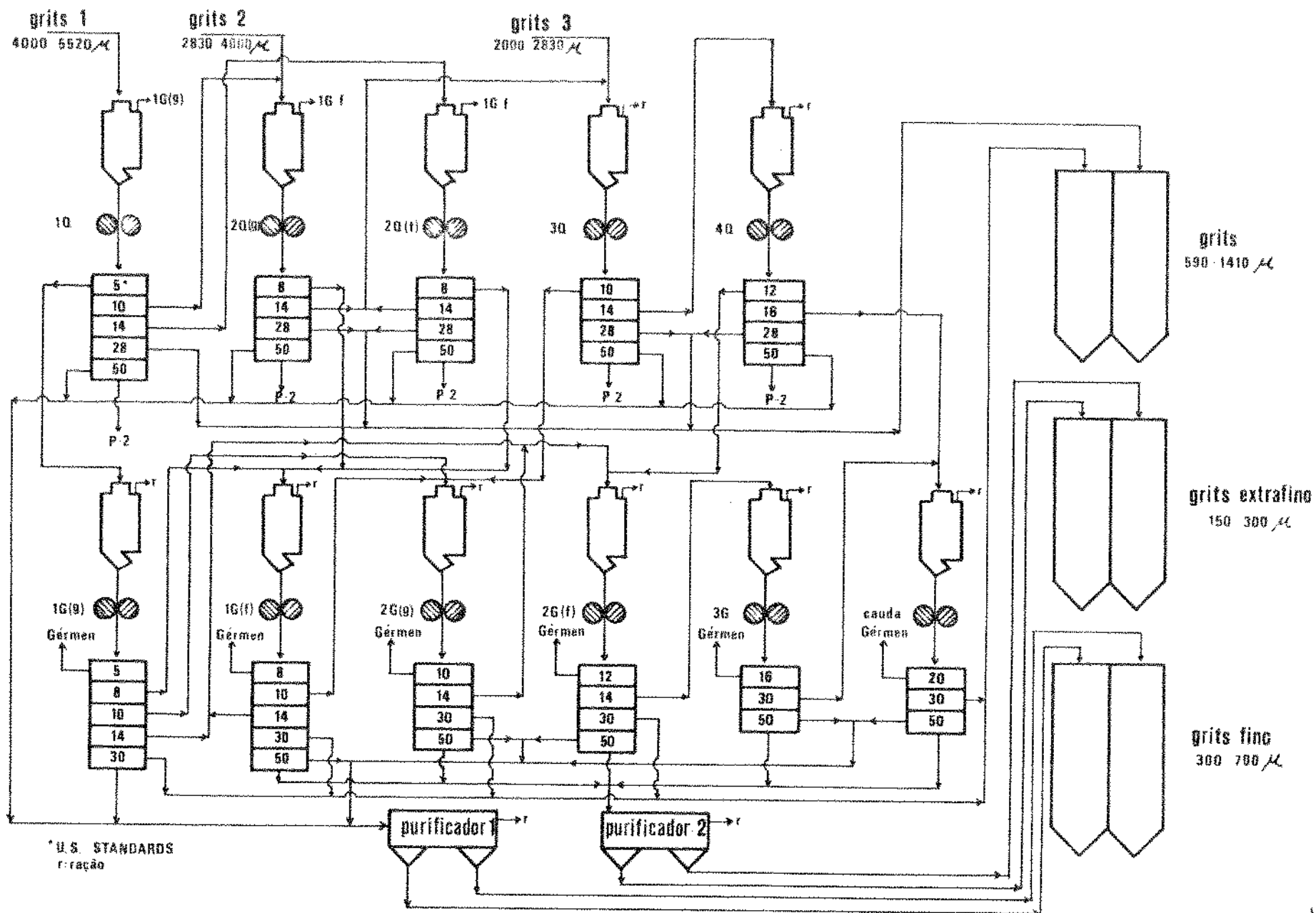


Figura 22. Fluxograma da obtenção de "grits" fino de milho.

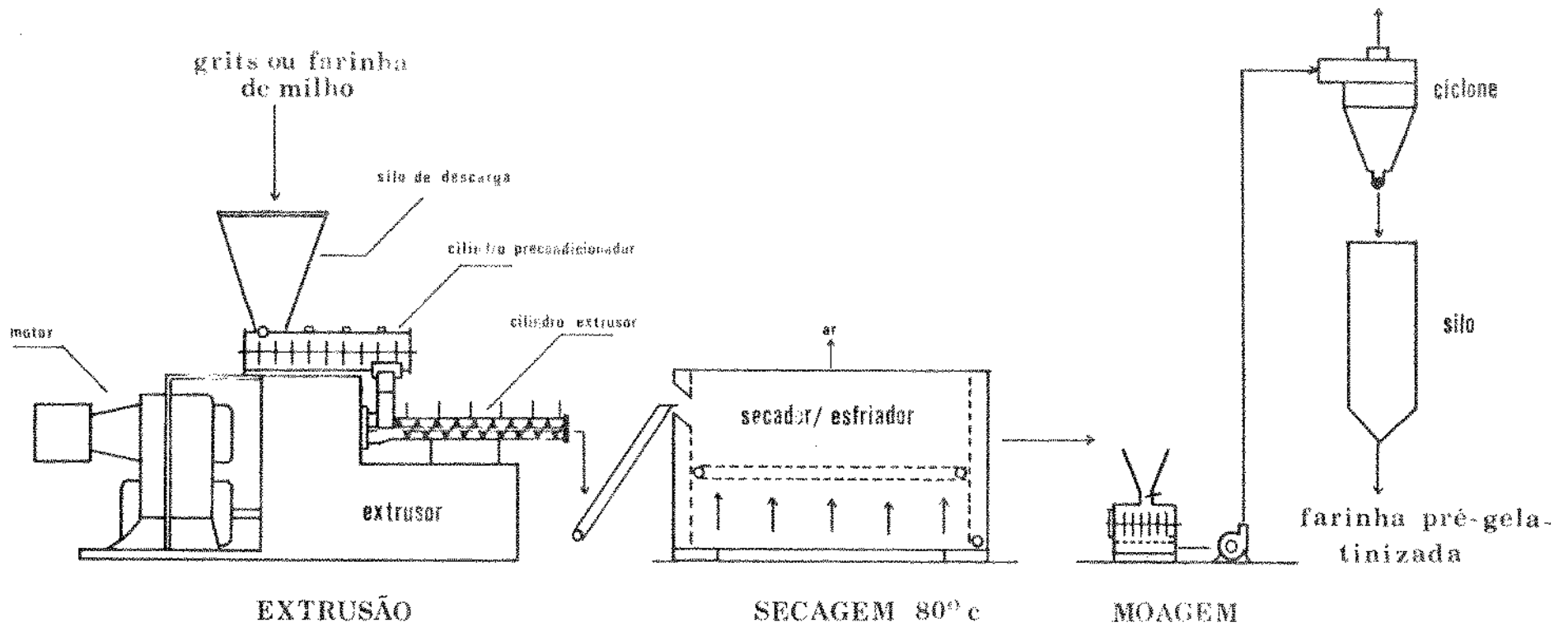


Figura 23. Fluxograma da obtenção de farinha pré-gelatinizada de milho por extrusão.

V. CONCLUSÕES

As seguintes conclusões foram obtidas dos resultados do trabalho:

A medida da viscosidade de uma suspensão de farinha de milho ou de farinha pré-gelatinizada de milho foi diretamente relacionada com a concentração de farinha. Existiu uma correlação logarítmica de caráter linear entre a concentração e a viscosidade máxima durante o ciclo de aquecimento no viscoamilógrafo Brabender, a viscosidade durante o ciclo de temperatura constante e a viscosidade final do ciclo de resfriamento das suspensões aquosas de farinha de milho e farinha pré-gelatinizada de milho.

A adição de farinha de milho em quantidades crescentes afetou as características de viscosidade, absorção de água e solubilidade de uma farinha pré-gelatinizada. A medida que aumentou a proporção de farinha de milho na mistura, houve uma redução na viscosidade inicial (25°C) e simultaneamente diminuiu a capacidade de absorção de água; enquanto que a viscosidade máxima e a viscosidade mínima no ciclo de temperatura constante apresentaram inicialmente uma diminuição até um ponto mínimo, quando a porcentagem de farinha de milho foi de 30% e a de farinha pré-gelatinizada 70%. A partir deste ponto, a viscosidade aumentou com a porcentagem de farinha de milho. A solubilidade aumentou com a porcentagem de farinha de milho até um ponto máximo a 20% e diminuiu a porcentagens acima deste valor.

Usando um tratamento hidrotérmico de "grits" grosso de milho, foi possível obter farinhas pré-gelatinizadas com diferentes graus de gelatinização, dependendo da unidade do material e da intensidade do tratamento térmico com vapor utilizado.

Durante a hidratação de "grits" de milho por maceração em água à temperatura ambiente (28 - 30°C), o aumento de umi

dade foi diretamente proporcional ao tempo de maceração. Depois de um tempo de 5 horas de maceração o "grits" atingiu uma umidade de 30%, que permaneceu aproximadamente constante para tempos de maceração de até 20 horas. Um aumento da temperatura de maceração produziu aumento da velocidade de absorção de água do "grits", sendo possível assim atingir um determinado nível de umidade com menor tempo de maceração.

O tratamento de "grits" de milho previamente umidificado produziu modificações no amido que causaram uma alteração das características de viscosidade, absorção de água e solubilidade das farinhas. Os viscoamilogramas das farinhas de milho pré-gelatinizadas por este processo hidrotérmico, indicaram que o tratamento produziu a quebra dos grânulos de amido com baixo nível de associação intermolecular o que impediu que as curvas tivessem um ponto máximo de viscosidade durante o aquecimento. Simultaneamente, deve ter ocorrido um aumento do grau de associação molecular dos grânulos de amido não quebrados, o que seria responsável pelo limitado aumento da viscosidade durante o ciclo de aquecimento, a alta resistência ao rompimento durante o ciclo de temperatura constante e um baixo grau de retrogradação durante o resfriamento.

O uso de um maior nível de umidade no "grits", macerado à temperatura ambiente e de maiores tempos de tratamento térmico a 118°C, resultaram num maior grau de gelatinização da farinha, como mostrado pela alta diminuição da viscosidade. No entanto, quando o material foi hidratado até seu ponto de equilíbrio (30% de umidade), o aumento de tempo de tratamento térmico de 1 para 15 minutos, não modificou apreciavelmente a viscosidade das farinhas.

O aumento da temperatura de maceração do "grits", mantendo fixos os tempos de maceração e tratamento térmico, produziu aumento no grau de gelatinização do material, como foi indicado pela redução progressiva da viscosidade.

O máximo grau de gelatinização possível de se obter através do tratamento hidrotérmico do "grits" foi conseguido sob diferentes condições de maceração e tratamento térmico. Quando a hidratação do "grits" foi feita por maceração em água à temperatura ambiente, foi possível usar-se um tempo de maceração de 5 horas com um posterior tratamento com vapor a 118°C durante 1 minuto. Para tratamento térmico mais intenso (15 minutos a 118°C), 2 horas de maceração à temperatura ambiente foram suficientes. O aumento da temperatura de maceração para 70°C, permitiu que o tempo de maceração fosse reduzido para 30 minutos quando um tratamento térmico de 1 minuto a 118°C foi usado.

Durante a pré-gelatinização de "grits" de milho por extrusão, existiu uma relação inversa entre a umidade do material e o grau de gelatinização da farinha. Quando a umidade do "grits" extrudado foi baixa, uma maior força de fricção atuou sobre o amido no cilindro de extrusão, resultando num maior rompimento dos grânulos.

Comparando as características dos produtos pré-gelatinizados pelos dois sistemas usados, concluiu-se que a modificação do amido produzida nos dois casos causou uma diminuição na capacidade das farinhas formar pastas de alta viscosidade. Simultaneamente, a absorção de água e a solubilidade foram modificadas de acordo com a intensidade e natureza do tratamento.

Usando o tratamento hidrotérmico de "grits" de milho, foi possível produzir-se farinhas pré-gelatinizadas de milho com características de viscosidade semelhantes às obtidas por extrusão nas condições usadas neste trabalho. O primeiro mostrou a vantagem de ser um processo mais simplificado no que diz respeito às etapas de obtenção da matéria prima e no sistema de pré-gelatinização propriamente dito.

VI. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Comparação das alterações produzidas pelos dois processos no teor de componentes nutritivos das farinhas, especialmente vitaminas e aminoácidos.

Estudo das propriedades funcionais da farinha pré-gelatinizada por tratamento térmico, visando a determinação das suas aplicações alimentícias.

Misturas com materiais farináceos de alto teor proteico, para a elaboração de alimentos de alto valor nutritivo.

Estudo das condições para a produção de farinha pré-gelatinizada usando outros cereais como materias primas.

Desenvolvimento de um processo contínuo para a produção de farinha pré-gelatinizada de milho e outros cereais, pelo sistema de tratamento hidrotérmico.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. A.A.C.C. Approved methods of the American Association of cereal chemists. 7^a Ed. (1969)
2. ANDERSON, R.A., CONWAY, H.F., and PEPLINSKI, A.J., Gelatinization of corn grits by roll-cooking, extrusion-cooking and steaming, Die Stärke 22: 130-135 (1970)
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., CONWAY, H.F., PFEIFER, V.F., and GRIFFIN, Jr. E.L., Roll-and extrusion-cooking of grain sorghum grits, Cereal Sci. Today 14: 372-375, 381 (1969)
5. ANDERSON, R.A., PFEIFER, V.F., BOOKWALTER, G.N., and GRIFFIN, Jr. E.L., Instant C.S.M. food blends for world-wide feeding, Cereal Sci. Today 16: 5-11 (1971)
6. ANKER, C.A., and GEDDES, W.F. Gelatinization studies upon wheat and other starches with the amylograph, Cereal Chem. 21: 335-360 (1944)
7. ANSTAETT, F.R., and PFOST, H.B. Effects of temperature, pressure, moisture content and time on starch gelatinization in cooking grain, Transactions of the A.S.A.E. 12: 493-495 (1969)
8. BAR, W.H. Processamento de farinha de milho pré-gelatinizada, seu emprego e resultados em panificação, Coletânea do ITAL 3: 351-368 (1969)
9. BREADLE, J.B., JUST, D.E., MORGAN, R.E., and REINERS, R.A. Composition of corn oil, J. Am. Oil Chemists' Soc. 42: 90-95 (1965)

10. BECHTEL, W.G. A study of some paste characteristics of starches with the Corn Industries Viscometer, Cereal Chem. 24: 200-213 (1947)
11. BECKFORD, O.C., and SANDSTED, R.M. Starch gelatinization studies. I. Simplified equipment for the study of starch gelatinization by means of light transmission, Cereal Chem. 24: 250-258 (1947)
12. BEETNER, G., TSAO, T., FREY, A., and HARPER, J. Degradation of thiamine and riboflavine during extrusion processing, J. Food Sci. 39: 207-208 (1974).
13. BREKKE, O.L. Corn Dry milling industry, In: Corn: Culture, processing, products. Ed. by Inglett, G.E. The AVI publishing Co. Inc. Westport, Conn. (1970)
14. BRESSANI, R., and MERTZ, E.T. Studies on corn proteins. IV. Protein and aminoacid content of different corn varieties, Cereal Chem. 35: 227-235 (1958)
15. BRESSANI, R. The importance of maize for human nutrition in Latin America and other countries, In: Nutritional Improvement of Maize. Ed. by Bressani, R., Behar, M., and Braham, E. INCAP, Guatemala (1972)
16. BUCKLE, T.S. de, y PARDO, C.A. Estudio de seis métodos analíticos para la medida del grado de modificación del almidón en harinas precocidas, Tecnología 15 (82): 7-20 (1973)
17. CHABOT, J.F., HOOD, L.F., and ALLEN, J.E. Effect of chemical modifications on the ultrastructure of corn, waxy maize and tapioca starches, Cereal Chem. 53: 85-91 (1976)
18. CLAUSI, A.S. Cereal grains as dietary protein sources, Food Tech. 25: 63-67 (1971)
19. COLLISON, R. Swelling and gelation of starch, in: Starch and its derivatives. Ed. by Radley, J.A. 1^a Ed. Chapman and Hall Ltd. London (1968)

20. CONWAY, H.F. Extrusion-cooking of cereals and Soybeans. Part I, Food Product Dev. 5 (2): 27, 29, 31 (1971)
21. CONWAY, H.F. Extrusion-cooking of cereals and soybeans. Part II, Food Product Dev. 5 (3): 14, 16, 18, 22 (1971)
22. CONWAY, H.F., and ANDERSON, R.A. Protein-fortified extruded food products, Cereal Sci. Today 18: 94-97 (1973)
23. CONWAY, H.F., LANCASTER, E.B., and BOOKWALTER, G.N. How extrusion-cooking varies products properties, Food Eng. 40: 102-104 (1968)
24. EARLE, F.R., CURTIS, J.J., and HUBBARD, J.E. Composition of the components parts of the corn Kernel, Cereal Chem. 23: 504-511 (1946)
25. FAO. Production Yearbook. Vol. 29 (1975)
26. FERREL, R.E., and PENCE, J.W. Use of the amylograph to determine extent of cooking in steamed rice, Cereal Chem. 41: 1-9 (1964)
27. FREEMAN, J.E., and VER., W.J. A rapid procedure for measuring starch paste development and its application to corn and sorghum starches, Cereal Sci. Today 17: 46-53 (1972)
28. FRITZE, H. Dry gelatinized starch produced on different types of drum dryers, Ind. Eng. Chem. process. Des. Develop. 12: 142-148 (1973)
29. GOERING, K.J., FRITTS, D.H., and ALLEN, K.G. A comparison of loss of birefringence with the percent of gelatinization and viscosity on potato, wheat, rice, corn, cow cockle and several Barley starches, Cereal Chem. 51: 764-771 (1974)
30. HALICK, J.V., BEACHELL, H.M., STANSEL, J.W., and KRAMER, H.H. A note on the determination of gelatinization temperatures of rice varieties, Cereal Chem. 37: 670-672 (1970)

31. HENDERSON, S.M., and PERRY, R.L. Agricultural process Engineering Ed. by John Wiley & Sons Inc. N.Y. (1955).
32. INGLETT, G.E. Corn In perspective, In: Corn: Culture, processing, products. Ed. by Inglett, G.E. The AVI publishing Co. Inc. Westport, Conn. (1970)
33. INGLETT, G.E. Kernel Structure, composition and quality, In: Corn: Culture, processing, products. Ed. by Inglett, G.E. The AVI publishing Co. Inc. Westport, Conn. (1970)
34. INGLETT, G.E. Food Uses of Corn Around of world, in: Corn: Culture, processing, products. Ed. by Inglett, G.E. The AVI publishing, Co. Inc. Westport, Conn (1970)
35. KLEE, L., SAIR, L. and HALL, L. A simplified determination of the cold water absorptive capacity of pre-gelatinized flours, Cereal Chem. 25: 362-364 (1948)
36. LEACH, W.H. Gelatinization of starch, In: Starch: Chemistry and technology, Vol I. Ed. by Whistler, R.L., and Paschall, E.F. Academic Press, N.Y. (1965)
37. LEACH, W.H., Mc. COWEN, L.D., and SCHOCH, T.J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches, Cereal Chem. 36: 534-544 (1959)
38. LEITÃO, R.F., VITTI, P., ANGELUCCI, E., e TANGO, J.S. Farinha de milho pre-gelatinizada em pastas alimentícias. Coletânea do ITAL. 3: 325-366 (1969)
39. MANGELS, C.E., and BAILEY, C.H. Relation of concentration to action of gelatinizing agents on starch, J. Am. Chem. Soc. 55: 1981-1986 (1933)
40. MATTHEUS, R.L., SHARPE, E.J., and CLARK, W.M. Some functional properties of processed corn meal as related to use in bread, beverages and porridges Cereal Sci. Today 15: 208-210 (1970)

41. MAZURS, E.G., SCHOCH, T.J., and KITE, F.E. Graphical analysis of the Brabender viscosity curves of various starches, *Cereal Chem.* 34: 141-152 (1957)
42. MEDCALF, D.G. Structure and composition of cereal components as related to their potential industrial utilization, starch, In: *Industrial uses of cereals*. Ed. by Pomerans, Y. AACC. St. Paul, Minn. (1973)
43. MENTOVAY, L., and SCHMITZ, A.O. Gelatinization and cooking in extruded foods (abstract), *Cereal Sci. Today* 17: 278 (1972)
44. MERCIER, C., and FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products, *Cereal Chem.* 52:283-297 (1975)
45. MINISTERIO DO INTERIOR. Contribuição ao desenvolvimento da agroindustria. Vol. XIV, milho. Brasil (1974)
46. MOLINA, M.R., MAYORGA, I., LACHANCE, P.A., and BRESSANI, R. Production of high-protein quality paste products using a semolina-corn-soy flour mixture. I. Influence of thermal processing of corn flour on paste quality, *Cereal Chem.* 52: 240-247 (1975)
47. MOLINA, M.R., MAYORGA, I., and BRESSANI, R. Production of high-protein quality paste products using a semolina-corn-soy flour mixture. II. Some physicochemical properties of the untreated and heat-treated corn flour and of the mixtures studied, *Cereal Chem.* 53: 134-140 (1976)
48. MOTTERN, H.H., SPADARO, J.J., and GALLO, A.S. Cooking-extrusion-expansion of rice, *Food Tech.* 23: 169-171 (1969)
49. MUELENAERE, H.J.H. de, and BUZZARD, J.L. Cooker extruders in service of world feeding, *Food Tech.* 23: 71-77 (1969)

50. PEPLINSKI, A.J., and PFEIFER, V.F. Gelatinization of corn and sorghum grits by steam-cooking, *Cereal Sci. Today* 15: 144-151 (1970)
51. PRIESTLEY, R.J. Moisture requirements for gelatinization of rice, *Die Stärke* 27: 416-419 (1975)
52. ROBERTS, H.J. Corn flour: From surplus commodity to premium product, *Cereal Sci. Today* 12: 505-508, 532 (1967)
53. SCHOCH, T.J., and ELDER, A.L. Starches in the food Industry, *Advances in Chemistry Series* 12: 21-34 (1955)
54. SCHOCH, T.J., and MAYWALD, E.C. Microscopic examination of modified starches, *Analytical Chem.* 28: 382-387 (1956)
55. SENTI, F.R., and SCHAEFER, W.C. Corn, its importance in food, feed and industrial uses, *Cereal Sci. Today* 17: 352-356 (1972)
56. SMITH, O.B. Why extrusion-cooking? *Cereal Foods world* 21: 4-7 (1976)
57. SPADARO, J.J., MCTTERN, H.H., and GALLO, A.S. Extrusion of rice with cottonseed and peanut flours, *Cereal Sci. Today* 16: 238-240, 261 (1971)
58. STERLING, C. The structure of the starch grain, in: *Starch and its derivatives*. Ed. by Radley, J.A. 4^a ed. Chapman and hall Ltd. London (1968)
59. SULLIVAN, J.W., and JOHNSON, J.A. Measurement of starch gelatinization by enzyme susceptibility, *Cereal Chem.* 41: 73-79 (1964)
60. TOLLEFSON Jr., B. New milled corn products, including C.S.M. *Cereal Sci. Today* 12: 438-441 (1967)
61. VITTI, P. Emprego de farinha prē-gelatinizada em bolo e bolacha, *coletânea do ITAL*. 3: 293-311 (1969)

62. YOUNG, N. La situación de las proteínas convencionales en América Latina, Tecnología 18 (101): 7-31 (1975)