UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
Curso de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos

**DIGESTIBILIDADE “in vitro” E SUA CORRELAÇÃO
COM A RESPOSTA GLICÊMICA PRODUZIDA POR
ALIMENTOS CONTENDO AMIDO**

ELISENA APARECIDA GUASTAFERRO SERAVALLI

**Dissertação para obtenção do grau de
MESTRE**

Orientador:

Prof. Dr. FRANCO M. LAJOLO

**São Paulo
1990**

12198

Aos meus pais, ao meu marido Vitor
e minhas filhas Cecília e Fernanda
pela compreensão e apoio.

Dedico

Data de defesa: 30/01/91

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Franco M. Lajolo pela eficiente orientação e dedicação com que conduziu nossos estudos.
- A CAPES pela bolsa de estudo concedida durante o curso de pós-graduação.
- A OEA e a FINEP pelos auxílios financeiros a esse trabalho.
- A todo pessoal do Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental, que de alguma forma contribuíram para a realização do trabalho.
- Às Professoras Elisabeth Garcia e Elizabete Wenzel Menezes, pela colaboração, assim como pelas sugestões.
- À Prof^a Junko Machida, do Departamento de Estatística da Escola de Educação Física da USP, pelo auxílio na análise estatística dos dados.
- Ao pessoal do laboratório, em especial, à Marcia, Simone, Ana Beatriz, Antonia pela valiosa colaboração durante o trabalho experimental da pesquisa e pela amizade.

S U M Á R I O

	pág.
1 - REVISÃO DE LITERATURA	01
1.1 - Introdução	01
1.2 - Fatores que afetam a digestibilidade do amido	02
1.2.1 - Natureza e forma física	02
1.2.2 - Grau de Gelatinização.....	03
1.2.3 - Processamento do alimento e condições armazenamento	05
1.2.4 - Interação amido-proteína e amido-lípi des	06
1.2.5 - Influência da fibra e da estrutura celular	07
1.3 - O "Índice Glicêmico".....	09
2 - OBJETIVO	13
3 - MATERIAL	14
3.1 - Alimentos	14
3.2 - Reagentes	15
3.3 - Animais	15

4 -	MÉTODOS	17
4.1 -	Físico-químicos e bioquímicos	17
4.1.1 -	Determinação enzimática do amido.....	17
4.1.2 -	Determinação da velocidade de hidrólise do amido "in vitro"	18
4.1.3 -	Determinação da velocidade de hidrólise do amido "in vitro" após pré-incubação com pepsina.....	21
4.1.4 -	Determinação de umidade	21
4.1.5 -	Determinação do extrato etéreo	21
4.1.6 -	Determinação da glicose	22
4.1.7 -	Microscopia óptica	22
4.1.8 -	Extração dos grânulos de amido	22
4.1.9 -	Determinação do teor de amilose	23
4.1.10 -	Determinação do tempo de cocção.....	23
4.2 -	Biológicos : ensaios com animais	24
4.2.1 -	Esquema Experimental	24
4.2.2 -	Obtenção do soro	24
4.3 -	Análise Estatística	25
5 -	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1 -	Digestibilidade do amido "in-vivo" - Ensaios com animais	26
5.2 -	Experiências "in-vitro"	43
5.3 -	Efeito de diferentes tratamentos sobre digestibilidade "in-vitro" e "in-vivo" do amido de feijões.....	50

5.4 - Efeito da presença de óleo na velocidade de hidrólise "in-vitro" e resposta glicêmica de cereais e tubérculos	73
6 - CONCLUSÕES	77
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
- Resumo	100
- Summary	101
- Lista de Figuras, Fotografias e Tabelas.....	102

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Introdução

O amido é o carboidrato mais consumido no mundo e, devido principalmente à sua abundância e baixo custo, se constitui na principal fonte de energia alimentar.

É o polissacarídeo de reserva das células vegetais onde se apresenta como grânulos, sendo encontrado principalmente em sementes de cereais, leguminosas, tubérculos e raízes, em quantidades que variam de 1% a mais de 70% (32).

A digestibilidade do amido depende do alimento; da possível presença de inibidores de amilases e da distribuição física em relação aos componentes das fibras como celulose, hemicelulose e lignina (87); do processamento e preparo do alimento (92); das condições de armazenamento (69) e do organismo.

Nos últimos anos aumentou consideravelmente o interesse pelo estudo da digestibilidade. Diferenças entre as respostas obtidas "in vitro" e "in vivo" para diferentes fontes, têm levado a investigações no sentido de se tentar encontrar explicações para o fato e se verificar suas implicações fisiológicas e seu significado biológico.

1.2 Fatores que afetam a digestibilidade do amido

Na tentativa de explicar as diferenças de digestibilidade "in vitro" e "in vivo" existentes entre diversos alimentos, muitos estudos sobre os fatores envolvidos já foram conduzidos (54,96).

1.2.1 Natureza e forma física

No começo dos anos 60, o estudo da natureza do amido presente nos alimentos atraiu interesse como um fator que poderia afetar a digestibilidade. Ratos alimentados com dietas ricas em amido cru, com alto teor de amilose, mostraram elevadas perdas fecais comparadas com ratos alimentados com amido cru, rico em amilopectina (89).

A diferença na velocidade de digestão, entre amidos com proporções de amilose e amilopectina diferentes, pode ser devida à maior área superficial disponível ao ataque amilolítico da cadeia de amilopectina ($PM = 10^5$ a 10^6) em relação a cadeia de amilose ($PM = 10^4$) (09,10,40,98).

A forma física é outro fator que pode afetar a digestibilidade do amido nos alimentos e mostrou ser um importante determinante de ambos: a velocidade de hidrólise "in vitro" e a resposta metabólica "in vivo" (80).

O'DEA e colaboradores (18,79) relataram que com o cozimento do arroz moído as respostas de glicose e insulina

sérica foram significativamente mais altas do que com arroz inteiro, tanto em indivíduos normais como em diabéticos. O aumento da área superficial do amido, através da moagem antes da cocção, resultou num aumento de 3 a 4 vezes na velocidade de hidrólise "in vitro" que coincidiu, rigorosamente, com o aumento nas respostas de glicose e insulina após a ingestão oral.

No entanto, esses mesmos autores (81,103) não encontraram correlações positivas para velocidade de hidrólise "in vitro" e "in vivo" do amido de lentilhas, por simples mudança da sua forma física, indicando que para leguminosas existem outros fatores envolvidos.

1.2.2 Grau de Gelatinização

Vários estudos já mostraram haver diferenças na resistência dos diferentes amidos à ação das enzimas amilolíticas. Geralmente, é aceito que essas diferenças são devidas a variações na associação molecular dentro do grânulo (99). REICHERT (86), numa revisão no começo do século verificou que certas α -amilases poderiam lentamente hidrolisar amido cru. KNEEN & SANDSTEDT (72), ainda em 1941, mantinham a informação de que a α -amilase é responsável pela quebra dos grânulos intactos do amido. Já, BADENHUIZEN (08) em 1959 verificou que elas não atuam nos grânulos intactos do amido sem que antes tenha ocorrido algum entumescimento.

MODI & KULKARNI (78) verificaram, em amidos isolados, submetidos à ação de amilases, que os não gelatinizados sofreram hidrólise muito mais lentamente que aqueles gelatinizados.

O amido cru é digerido apenas lentamente pelas enzimas "in vitro", o cozimento aumenta consideravelmente a susceptibilidade devido à ruptura e desintegração da compacta estrutura cristalina granular (33,44). Por isso, as respostas de glicose e insulina sérica "in vivo" são significativamente mais altas após a ingestão de amidos cozidos quando comparados com amidos crus (21,70).

ENGLYST & CUMMINGS (34,35) relataram que a resistência à amilase tem importância em alimentos que são ingeridos crus. Estudos experimentais "in vitro" e em animais sugeriram que grânulos de amido de banana, por exemplo, não são facilmente digeridos.

A digestibilidade de sementes de leguminosas têm sido extensivamente estudada (74,81,105). Na maioria dos casos, verificou-se, também, que após a cocção, ela é aumentada.

Os grânulos de amido em sementes de leguminosas estão envolvidos pelas células do parênquima e entumescem parcialmente durante a cocção. A α -amilase não pode facilmente penetrar dentro dos grânulos gelatinizados devido ao impedimento estérico e a natureza física do amido.

HAHN e colaboradores (41) relataram que durante a gelatinização intracelular, a expansão dos grânulos é restringida pelas paredes celulares intactas e, possivelmente, pela imposição das células adjacentes; ROCKLAND e colaboradores (88) relataram que a gelatinização extracelular progride radialmente, correspondendo ao desaparecimento sequencial de anéis concêntricos e perda da birrefringência, até os grânulos tornarem-se difusos e dispersados, acima de 100°C.

RASPER e colaboradores (85) mostraram que amidos de cereais são menos resistentes à degradação enzimática do que aqueles presentes em raízes, tubérculos e sementes de leguminosas.

1.2.3 Processamento do alimento e condições de armazenamento

Diversos pesquisadores (14,33,36,43,44,67,68) estudando a digestibilidade "in vitro" e "in vivo" do amido de leguminosas e cereais, concluíram que o processamento pode afetar a sua digestibilidade enzimática.

O amido contido nos alimentos, após passar por processos de cocção, sofre um entumescimento proporcional ao tempo e à temperatura fornecida ao processo (38). Nesses

grânulos entumescidos, encontra-se num estado amorfo, desorganizado e instável. Com o resfriamento, o gel de amido começa a formar uma estrutura mais ordenada.

Moléculas de amilose, devido à sua linearidade associam-se muito rapidamente; a amilopectina também cristaliza, mas numa velocidade menor, tornando-se mais significativa durante a estocagem. Esse processo é denominado de retrogradação.

RADLEY (82) mostrou que a retrogradação que ocorre durante o processamento dos alimentos provoca uma aumentada resistência à hidrólise pelas enzimas amilolíticas. KAYUSI & HOOD (69) também mostraram que a secagem e o armazenamento a frio diminuem a digestibilidade do amido.

1.2.4 Interação amido-proteína e amido-lípidos

A possível interação entre a proteína e o amido nos alimentos pode influenciar a digestibilidade "in vitro" e a resposta glicêmica (01,30,37,83,84).

JENKINS e colaboradores (53) removendo o glúten da farinha de trigo observaram aumento na velocidade de digestão "in vitro" e "in vivo", efeito que não foi revertido pela subsequente adição do glúten à farinha livre de glúten.

Alguns autores (19) afirmaram que a coingestão de gordura com carboidrato reduz a resposta de glicemia pós-prandial, mas não tem efeito na resposta da insulina. A gordura atrasaria a absorção da glicose no intestino delgado ou, então, induziria atraso no esvaziamento gástrico.

LARSSON & MIEZIS (75) estudaram a digestibilidade "in vitro" de géis de amido de batata incubados com lipídios e mostraram que a amilose parece formar complexos estáveis com os mesmos, diminuindo a velocidade de hidrólise. Contrariamente, WONG e colaboradores (104), verificaram que a gordura não afeta a velocidade de hidrólise "in vitro".

1.2.5 Influência da fibra e da estrutura celular

Evidências epidemiológicas sugerem que há uma associação entre o consumo reduzido de alimentos ricos em fibras e a incidência crescente de diabetes em sociedades ocidentais (94,95).

Os alimentos ingeridos pela maioria das pessoas nos países subdesenvolvidos são geralmente de origem vegetal, principalmente amiláceos (arroz, trigo, milho ou batata) suplementados com pequenas quantidades de carnes. Esta dieta é rica em carboidratos complexos, pobre em

gordura e pobre, mas usualmente adequada, em proteína. Já, nos países desenvolvidos do ocidente, açúcares e gordura tendem a substituir produtos amiláceos ricos em fibras.

Resultados positivos, na diminuição da hiperglicemia pós-prandial, têm sido obtidos tratando-se diabéticos com dietas contendo alto teor de fibra (71) ou dietas suplementadas com fibra (04,77)

A natureza dos tratamentos recomendados varia desde ingerir frutas não processadas e vegetais crus até dietas ricas em carboidratos complexos e fibras.

Estudos já mostraram que o diabetes pode ser melhor controlado com o aumento do conteúdo de carboidratos complexos e fibra na dieta (02,03,64,71,91).

Os mecanismos pelos quais fibras dietéticas podem exercer esses efeitos não estão claros embora JENKINS e colaboradores (59) sugerissem que o aumento da viscosidade do alimento pode ser um importante fator.

Estudos relataram que fibras que formam soluções viscosas são mais efetivas em reduzir a glicose pós-prandial no sangue que outros tipos (06,55). Porém, a mistura da fibra com o carboidrato parece ser importante para essa ação, já que quando ingerida separadamente a fibra é ineficaz em reduzir o aumento da glicemia (31,59,60,63).

As sementes de leguminosas têm sido usadas com sucesso como parte do tratamento dietético para diabéticos (90). São ricas em fibra , proteínas, inibidores de enzimas

e antinutrientes e mostraram ser capazes de reduzir o aumento da glicemia pós-prandial tanto em indivíduos normais (51) como em diabéticos (65). Estudos com lentilhas e feijões têm mostrado que esses alimentos liberam seus produtos de digestão mais lentamente quando comparados com outras fontes de carboidratos (52,61,64,93).

Por outro lado, fibra de cereais parece não afetar a velocidade de hidrólise exceto quando forma uma barreira física limitando o acesso das enzimas hidrolíticas ao amido.

SNOW & O'DEA (80,92) verificaram que arroz integral é digerido mais lentamente "in vitro" e "in vivo" do que o arroz polido, porém, quando as amostras foram moidas e então hidrolisadas não houve diferença na velocidade de hidrólise e respostas metabólicas.

1.3 O "Índice Glicêmico"

A possibilidade do tratamento de várias formas de diabetes por prescrição de dietas especiais têm sido muito discutida.

Estudos recentes (05,06,13,27,42,60,77,91) sugerem que a ingestão de alimentos que liberam seus carboidratos mais lentamente no trato gastrointestinal podem ter aplicações terapêuticas como controle da glicemia em diabéticos ou redução dos níveis de triglicerídeos no soro.

Em meados dos anos 70, CRAPO e colaboradores (26,27,28,29) publicaram seus primeiros estudos relacionando os efeitos da ingestão de diferentes fontes de carboidratos sobre a glicose e a insulina plasmática. Isto abriu uma nova área da pesquisa relativa aos efeitos metabólicos de carboidratos e levou à introdução, por JENKINS e colaboradores (62), do conceito de "índice glicêmico", através do qual os efeitos dos alimentos na concentração plasmática de glicose pós-prandial são classificados em relação à resposta obtida pela ingestão de glicose ou de outro alimento (66) usado como parâmetro de comparação.

Assim, as tabelas utilizadas para elaboração de dietas para diabéticos, que por mais de 3 décadas baseavam-se exclusivamente na quantidade de carboidrato no alimento, foram substituídas por outras que comparam os índices glicêmicos produzidos pelos diferentes alimentos (97,100) refletindo melhor seus efeitos fisiológicos.

Foi sugerido que alimentos amiláceos de baixo índice glicêmico poderiam ser benéficos para diabéticos (23,58). Embora o conceito tenha recebido suporte (16,20) tem havido muito equívoco e controvérsia sobre seu uso. Foi demonstrado, por exemplo, que o índice glicêmico, baseado em ensaios com alimentos isolados, não pode ser aplicado para refeições contendo quantidades representativas de gordura e proteína (22). Já WOLEVER & JENKINS (101) acreditam que o índice glicêmico de alimentos isolados pode ser aplicado sem restrições também para essas refeições.

COULSTON e colaboradores (24), ainda, levantaram a questão se o índice glicêmico poderia realmente ser usado para refeições mistas, já que não se consomem, usualmente, alimentos ricos em carboidratos isoladamente. Esses autores relataram que as respostas glicêmicas para refeições mistas contendo diferentes fontes de carboidratos não diferem significativamente e concluíram que o índice glicêmico aproximado teria pouca utilidade clínica. WOLEVER e colaboradores (102) refutaram estas conclusões demonstrando que as respostas glicêmicas observadas poderiam ser previstas pelo índice glicêmico dos componentes dos alimentos na refeição.

Por outro lado, COULSTON e colaboradores (25), afirmaram que o maior interesse nesses estudos tem sido a resposta glicêmica, negligenciando-se a secreção de insulina, aspecto de importância pois dietas que produzem reduzidos níveis de insulina plasmática parecem ser de interesse no controle da diabetes e de hiperlipidemias.

A importância prática destas considerações é ressaltada pelo interesse em aumentar o conteúdo de amido na dieta de diabéticos ou indivíduos com tolerância à glicose reduzida (57). Tem sido, também, recomendada a individualização na prescrição dietética para aumentar a confiabilidade e também o uso de alimentos tradicionais para as diversas culturas.

A literatura mostrou a diversidade de fatores que podem influir na utilização biológica do amido de diferentes alimentos, as consequências fisiológicas e as possíveis aplicações desse conhecimento. Isso justifica nossa proposta de estudar alimentos amiláceos comuns aos hábitos alimentares do país, para verificar as diferentes respostas glicêmicas que produzem "in vivo" e correlacioná-las com os resultados "in vitro" obtidos.

A existência de correlação permitiria obter informações sobre a utilização do amido através de ensaios rápidos "in vitro" e avaliar mais facilmente um número maior de alimentos e dietas.

2. OBJETIVO

Obter informações sobre alimentos brasileiros, fontes de carboidratos complexos, preparados de diferentes formas, para melhor orientar o seu uso, estudando as respostas glicêmicas que produzem "in vivo" e sua correlação com a digestibilidade "in vitro".

3. MATERIAL

3.1 Alimentos

Todos os alimentos usados neste trabalho foram obtidos no comércio local.

Arroz (*Oryzae sativa*), lentilha (*Lens esculenta*), batata (*Solanum tuberosus*), mandioca (*Manihot utilissima*) e macarrão (à base de farinha de trigo (*Triticum vulgare*)) foram cozidos em água destilada fervente durante 22, 70, 25, 30 e 20 minutos respectivamente, até apresentarem do ponto de vista organoléptico, condições aceitáveis para o consumo.

O feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) foi macerado durante 16 horas e posteriormente cozido durante 45 minutos sob pressão normal.

O beiju é um alimento típico do estado do Mato Grosso e é obtido através do polvilho de mandioca.

O milho (*Zea mays*) verde moido e peneirado e o fubá foram cozidos em água por 30 minutos, resultando respectivamente no curau e na polenta.

Os alimentos acima citados foram secados em estufa ventilada a 40°C durante 18 horas. Esses alimentos e mais farinhas de milho e mandioca, farelo de trigo, extrusado de milho e pão de forma foram moidos e tamisados em partículas iguais ou inferiores a 32 mesh.

Parte da mandioca, macarrão e polenta, após preparo normal de cozimento e batata crua em fatias foram

fritados em óleo de soja, durante o tempo necessário para consumo humano entre 2 e 5 minutos, e então seguiu-se o procedimento anterior aos outros alimentos.

Feijões, sem prévia maceração, foram cozidos por tempos diferentes: 45, 90, 122 minutos e feijões com 16 horas de maceração durante 45 minutos em água destilada em ebulição sob pressão normal e em seguida amassados simulando a mastigação e homogeneizados para diminuir o tamanho das partículas e evitar provável entupimento da sonda gástrica.

3.2 Reagentes

Amiloglicosidase, amilose, glicose oxidase, pepsina e peroxidase foram fornecidos pela Sigma Chemical Co.; amilopectina comercializada pela BDH-Chemical Ltda; o-dianisidina, da NBC e 3,5 ácido dinitrossalicílico (DNS) da Merck.

3.3 Animais

Para o ensaio biológico, foram utilizados ratos machos (*Rattus norvegicus*, var. *albinus*) da linhagem "Wistar", com aproximadamente 60 dias e pesando em torno de 140 gramas, obtidos a partir de colônias mantidas no biotério da Faculdade de Ciências Farmacêuticas - USP. Os

ratos foram desmamados aos 21 dias e então mantidos nas mesmas condições de temperatura, umidade, períodos de iluminação de 12 horas e alimentados com rações comerciais.

4. MÉTODOS

4.1 Físico-químicos e bioquímicos

4.1.1 Determinação enzimática do amido

Para saber a quantidade de amostra usada nas análises de velocidade de hidrólise "in vitro" e "in vivo" é necessário determinar previamente a quantidade de amido contido nessa amostra. O conteúdo de amido foi determinado de acordo com o método enzimático de HUDSON (46), otimizado e descrito por AREAS & LAJOLO (07).

As amostras foram cuidadosamente pesadas (0,5g), homogeneizadas e gelatinizadas por 30 minutos com agitação intermitente na presença de Hidróxido de Sódio 0,5N. Após a gelatinização, as amostras foram neutralizadas com Ácido Acético 0,5N e uma alíquota de 1ml foi retirada para precipitação do amido com etanol 80% por meio de centrifugação. O amido precipitado, foi incubado com 1ml da solução da amiloglicosidase durante 2 horas a temperatura de 37°C. A reação foi interrompida com 0,1ml de Ácido Perclórico 0,6N, a glicose liberada foi dosada pelo método colorimétrico com DNS (11) e a leitura feita em espectrofotômetro a 540nm de absorbância.

O amido foi dosado em triplicatas e a sensibilidade do método de determinação foi avaliado

aplicando testes de recuperação, utilizando-se padrões de amido puro adicionados na fase de homogeneização do material, sendo submetidos a todas as etapas de extração e determinação descritas.

O método apresentou-se bastante sensível, com 97,9% de recuperação, e a quantidade de amostra usada nas hidrólises foi baseada nos resultados obtidos.

As enzimas usadas foram também verificadas periodicamente para ter-se certeza que a atividade enzimática foi mantida.

4.1.2 Determinação da velocidade de hidrólise do amido "in vitro"

A medida da velocidade de hidrólise foi baseada no método enzimático acima citado.

Amostras dos alimentos correspondentes a 200mg de amido foram colocadas em béqueres contendo 20ml de Tampão Acetato 0,1M pH 4,8 e 2ml de solução da enzima amiloglicosidase foi adicionada. A hidrólise prosseguiu por 30 minutos em banho-maria com agitação a 40°C.

A reação foi interrompida com 0,2ml de Ácido Perclórico 0,6N. A separação de sólidos foi feita através de uma centrifugação por 10 minutos a 1972xg.

As análises foram feitas em triplicatas e a glicose liberada foi dosada pelo método colorimétrico com DNS (11).

O esquema do método empregado na velocidade de hidrólise "in vitro" do amido é mostrado na FIGURA 1.

FIGURA 1 - Fluxograma para a digestão "in vitro" do amido

4.1.3 Determinação da velocidade de hidrólise do amido "in vitro" após pré-incubação com pepsina

O pH das suspensões tamponadas foi ajustado para 1,5 com HCl 5N, seguida pela incubação com pepsina a 37°C. Depois de 60 minutos, o pH foi reajustado para 4,8 com NaOH 5N, e a mistura foi incubada com α -amiloglicosidase como descrito em 4.1.2, com diferentes tempos de incubação: 5, 15, 30 e 60 minutos. Os brancos foram preparados e corridos sob as mesmas condições, mas usando água destilada ao invés da enzima amilolítica. As correções foram feitas para a quantidade de grupos redutores presentes na solução de pepsina e hidrólise ácida ocorrida durante a pré-incubação.

4.1.4 Determinação de umidade

A determinação da umidade foi feita por gravimetria, após secagem do material em estufa regulada a 105°C, até peso constante (47).

4.1.5 Determinação do extrato etéreo

A fração extrato etéreo foi determinada pela extração em aparelho do tipo Soxhlet, utilizando-se éter etílico como solvente (48).

4.1.6 Determinação da glicose

A glicose no soro foi determinada com glicose oxidase e peroxidase, segundo técnica descrita por BERGMEYER & BERNT (12).

4.1.7 Microscopia óptica

Os feijões foram cozidos por diferentes tempos, amassados e diluídos em água. As suspensões foram coradas com solução de iodo/iodeto de potássio (0,2%/2%) em glicerol a 50%, levadas ao microscópio para observação dos grânulos e fotografadas.

4.1.8 Extração dos grânulos de amido

Os grânulos de amido dos feijões foram isolados conforme CARSON (15). Partes iguais de feijão sem casca e meio de extração (solução aquosa a 4% de NaCl, 1% de ácido ascórbico e 0,185% de EDTA) foram homogeneizados. O homogenato foi filtrado com gaze e o resíduo reextraído duas vezes. Os filtrados combinados foram centrifugados por 5 minutos a 300xg; o resíduo obtido foi ressuspenso em solução de NaCl a 4% e lavado várias vezes. Foi posteriormente

tratado com água saturada de tolueno (sob agitação por 4 horas), para inativação de enzimas e restos celulares. Após remoção da camada de tolueno e filtração a vácuo obtiveram-se os grãos de amido, os quais foram lavados com acetona e secos.

4.1.9 Determinação do teor de amilose

Foi avaliada suspendendo-se 4mg amido obtido como descrito em 4.1.8 e, corando-se com solução de iodo/iodeto de potássio (0,1%/1,0%) em excesso. Foram efetuadas leituras a 620nm (máximo de absorção para amilose) contra uma curva crescente do teor de amilose e então, a quantidade de amilose na amostra foi calculada.

4.1.10 Determinação do tempo de cocção

O tempo de cocção, necessário para que 50% dos feijões sejam considerados adequados para o consumo, foi determinado pelo cozedor de MATTSON. Este método desenvolvido por MATTSON (76), foi modificado e descrito por JACKSON (49).

4.2 Biológicos : ensaios com animais

4.2.1 Esquema Experimental

Os ensaios com ratos foram de curta duração (0,5 até 4 horas). Antes dos ensaios, os animais foram alojados em gaiolas individuais e mantidos em jejum por 16 horas, recebendo somente água "ad libitum". A dieta devidamente preparada foi administrada, aos grupos de 6 animais, através de sonda gástrica em quantidades calculadas com base no peso do rato: 200mg de amido em 2ml de água para cada 100g de peso de rato. Após tempos variáveis de 0,5, 1, 2, 3 até 4 horas, amostras de sangue foram obtidas conforme descrito no item 4.2.2.

Para cada ensaio, a dieta de arroz foi administrada e tomada como controle. Em todos os experimentos constituiu-se um grupo "jejum" e os valores obtidos com esse grupo foram tomados como "tempo zero".

4.2.2 Obtenção do soro

Para determinação da glicemia, o sangue foi coletado da veia caudal em alíquotas de 100 microlitros e o soro obtido após a precipitação das proteínas com ácido perclórico (HClO_4) 0,34N e centrifugado a 278xg por 15 minutos.

4.3 Análise estatística

A comparação entre os grupos de alimentos foi feita através de análise de variância e a comparação entre as médias pelo teste t de Student, para dados pareados. Nas tabelas e figuras os resultados estão representados como médias e os respectivos desvios-padrão. As áreas sob as curvas foram calculadas pelo regra trapezoidal. A possível relação entre as respostas glicêmicas e a velocidade de hidrólise "in vitro" foi testada usando-se análise de correlação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Digestibilidade do amido "in vivo" - Ensaio com animais

Os resultados, obtidos com ratos, referentes às respostas glicêmicas foram apresentados por grupos de alimentos: cereais, tubérculos e leguminosas, para facilitar a discussão.

TABELA 1 - Glicemia pós-prandial obtida com diferentes cereais e produtos derivados

	Peso dos animais (g)	glicemia mg (%)					Área *	Aumento**
		0,5h	1h	2h	3h	4h	glicose (mg% $\times$ min $\times 10^3$)	máximo da glicemia
Arroz (Controle)	139 $\pm$ 15	a c 110 $\pm$ 6	a c 125 $\pm$ 8	a c 95 $\pm$ 7	a 83 $\pm$ 3	a c 75 $\pm$ 8	a 12,7 $\pm$ 0,7	a 59 $\pm$ 8
Far.Trigo	135 $\pm$ 18	b 83 $\pm$ 13	b 91 $\pm$ 10	b 70 $\pm$ 4	b 62 $\pm$ 2	b 61 $\pm$ 6	b 9,7 $\pm$ 0,8	b 24 $\pm$ 10
Pão	134 $\pm$ 14	a 124 $\pm$ 16	a c 131 $\pm$ 20	a c 99 $\pm$ 10	a c 78 $\pm$ 12	a b 67 $\pm$ 14	a 13,9 $\pm$ 1,3	a 67 $\pm$ 18
Macarrão	129 $\pm$ 9	b d 96 $\pm$ 9	a 113 $\pm$ 14	a 86 $\pm$ 14	b c 71 $\pm$ 10	a b 66 $\pm$ 12	c 11,5 $\pm$ 0,9	c 47 $\pm$ 14
Curau	143 $\pm$ 11	b d 92 $\pm$ 6	a 117 $\pm$ 7	c 104 $\pm$ 8	a 91 $\pm$ 7	a c 84 $\pm$ 7	a 12,1 $\pm$ 0,5	a 51 $\pm$ 7
Far.Milho	134 $\pm$ 13	c d 101 $\pm$ 8	a c 120 $\pm$ 17	c 104 $\pm$ 12	a 88 $\pm$ 17	c 78 $\pm$ 10	a 12,6 $\pm$ 1,2	a 54 $\pm$ 17
Polenta	131 $\pm$ 12	a c 108 $\pm$ 8	a c 119 $\pm$ 12	a c 100 $\pm$ 5	a 76 $\pm$ 3	a 73 $\pm$ 4	a 12,6 $\pm$ 0,8	a 53 $\pm$ 12
Extr.Milho	138 $\pm$ 14	c 118 $\pm$ 14	c 135 $\pm$ 16	a c 92 $\pm$ 20	a 87 $\pm$ 15	c 80 $\pm$ 16	a 13,4 $\pm$ 1,3	a 54 $\pm$ 17

O grupo jejum (t=0) apresentou o valor médio de 66 $\pm$ 6mg %

a,b,c,d na mesma coluna vertical diferem significativamente (p<0,05)

* a área sob as curvas glicêmicas foi considerada até 2 horas após a ingestão da dieta

** Aumento máximo da glicemia é a diferença entre o valor médio (6 ratos) máximo de glicose atingido após a ingestão da dieta e o valor médio do jejum (t=0) de 66mg %

CURVAS GLICÊMICAS

cereais e derivados

FIGURA 2 - Curvas glicêmicas produzidas por ingestão de cereais e alimentos derivados.

Na FIGURA 2 estão representadas, para facilitar o acompanhamento, as curvas glicêmicas produzidas por ingestão dos cereais e diferentes produtos derivados. Os dados correspondentes estão especificados juntamente com os desvios-padrão na TABELA 1.

Para todos esses alimentos, após a ingestão a média de glicose no sangue chega ao valor máximo depois de 60 minutos. Nesse tempo o aumento máximo da glicemia variou de 24mg% para farelo de trigo a 67mg% para pão.

Comparando as médias após as 2 horas da ingestão os produtos derivados de milho e o pão dão respostas similares quando comparados ao arroz, enquanto que o macarrão e farelo de trigo são estatisticamente diferentes ($p < 0,05$).

TABELA 2 - Glicemia pós-prandial obtida com diferentes tubérculos e produtos derivados

	Peso dos animais (g)	glicemia mg (%)					Área *	Aumento**
		0,5h	1h	2h	3h	4h	glicose (mg% $\times$ min $\times 10^3$)	máximo da glicemia
Arroz (Controle)	139 $\pm$ 15	a 110 $\pm$ 6	a 125 $\pm$ 8	a 95 $\pm$ 7	a 83 $\pm$ 3	a 75 $\pm$ 8	a 12,7 $\pm$ 0,7	a 59 $\pm$ 8
Batata	134 $\pm$ 13	a 123 $\pm$ 22	a 117 $\pm$ 18	a b 92 $\pm$ 21	a b 77 $\pm$ 18	a 61 $\pm$ 17	a 12,7 $\pm$ 1,7	a 61 $\pm$ 19
Mandioca	125 $\pm$ 8	a 114 $\pm$ 18	a 125 $\pm$ 14	a 77 $\pm$ 8	a 66 $\pm$ 13	a 66 $\pm$ 11	a 12,4 $\pm$ 1,0	a 58 $\pm$ 17
Far.Mand.	130 $\pm$ 9	a 103 $\pm$ 13	a 121 $\pm$ 13	b 101 $\pm$ 3	b 81 $\pm$ 6	a 73 $\pm$ 6	a 12,6 $\pm$ 0,7	a 57 $\pm$ 11
Beiju	147 $\pm$ 12	a 102 $\pm$ 11	a 122 $\pm$ 14	a b 90 $\pm$ 12	a 72 $\pm$ 11	a 65 $\pm$ 6	a 12,2 $\pm$ 1,1	a 56 $\pm$ 14

O grupo jejum apresentou o valor médio de 66 $\pm$ 6mg %

a,b,c na mesma coluna vertical diferem significativamente (p<0,05)

* a área sob as curvas glicêmicas foi considerada até 2 horas após a ingestão da dieta

** Aumento máximo da glicemia é a diferença entre o valor médio (6 animais) máximo de glicose atingido após a ingestão da dieta e o valor médio do jejum (t=0) de 66mg %

CURVAS GLICÊMICAS tubérculos e derivados

FIGURA 3 - Curvas glicêmicas produzidas por ingestão dos tubérculos e alimentos derivados.

A FIGURA 3 apresenta as curvas glicêmicas produzidas por ingestão dos tubérculos e produtos derivados e a TABELA 3 mostra os dados juntamente com os desvios-padrão para cada alimento.

Com exceção da batata, que apresentou valor máximo da média de glicose após 30 minutos, todos os outros apresentaram valor máximo após 60 minutos como ocorreu com o grupo anterior de alimentos.

A batata, mandioca, farinha de mandioca e beiju não produziram respostas glicêmicas estatisticamente diferentes entre si ou em relação ao arroz.

TABELA 3 - Glicemia pós-prandial obtida com diferentes leguminosas.

	Peso dos animais (g)	glicemia mg (%)					Área glicose (mg% $\times$ min $\times 10^3$)	Aumento máximo de glicemia
		0,5h	1h	2h	3h	4h		
Arroz (Controle)	139 $\pm$ 15	a 110 $\pm$ 6	a 125 $\pm$ 8	a 95 $\pm$ 7	a 83 $\pm$ 3	a 75 $\pm$ 8	a 12,7 $\pm$ 0,7	a 59 $\pm$ 8
Feijão	133 $\pm$ 13	b 88 $\pm$ 10	b 101 $\pm$ 12	b 82 $\pm$ 11	a 79 $\pm$ 9	a 83 $\pm$ 10	b 11,0 $\pm$ 0,9	b 45 $\pm$ 14
Lentilha	134 $\pm$ 14	b 92 $\pm$ 4	b 110 $\pm$ 15	b 88 $\pm$ 11	a 82 $\pm$ 4	a 82 $\pm$ 8	b 10,5 $\pm$ 0,9	b 35 $\pm$ 12

O grupo jejum (t=0) apresentou o valor médio de 66 $\pm$ 6 mg% a,b na mesma coluna vertical diferem significativamente (p<0,05)

* a área sob as curvas glicêmicas foi considerada até 2 horas após a ingestão da dieta

** Aumento máximo da glicemia é a diferença entre o valor médio (6 ratos) máximo de glicose atingido após a ingestão da dieta e o valor médio do jejum (t=0) de 66mg %

CURVAS GLICÊMICAS[^] sementes de leguminosas

FIGURA 4 - Curvas glicêmicas produzidas por ingestão de sementes leguminosas.

Na FIGURA 4 estão apresentadas as curvas glicêmicas produzidas pela ingestão de sementes de leguminosas. Pode-se observar o reduzido aumento de glicemia das curvas e, pelos dados apresentados na TABELA 3, verifica-se que são estatisticamente diferentes quando comparados ao arroz, porém entre as duas sementes não houve diferença nas respostas em nenhum dos tempos analisados.

A magnitude das diferenças nas várias respostas de glicose produzidas pela ingestão dos alimentos pode ser melhor apreciado avaliando os valores das áreas sob as curvas glicêmicas após 2 horas (TABELAS 1,2,3). As diferenças observadas após 3 e 4 horas não alteraram as respostas, concluindo que o experimento biológico pode ser realizado em tempo reduzido, já que a variedade dos alimentos foi significativa e o aumento máximo da glicemia ocorreu uma hora após a ingestão da maioria dos alimentos.

A explicação para as diferentes respostas obtidas para uma mesma quantidade de carboidratos complexos ainda não está completamente esclarecida.

Algum fator químico ou físico que restringe o acesso das enzimas hidrolíticas intestinais ao amido ingerido retarda a velocidade de digestão e absorção de glicose e portanto, altera as respostas glicêmicas. Tal fator exerceria efeito correspondente na secreção de insulina já que um dos principais sinais para a secreção desse hormônio é o aumento na concentração sanguínea de glicose (50,66).

Aparte as variações individuais dos animais que participaram dos testes, pequenas diferenças na natureza do alimento ou na preparação podem ter grande influência nas respostas glicêmicas.

As moléculas de amido em raízes e tubérculos (batata e mandioca) têm pesos moleculares maiores do que os dos cereais (arroz, trigo e milho), mas como não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os alimentos (com exceção do macarrão que produziu respostas mais baixas (TABELAS 1 e 2)), pode-se dizer que o comprimento da cadeia do amido ou dextrinas não afeta a velocidade de digestão, resultados que estão de acordo com aqueles observados por Wahlquist e colaboradores (98).

As diferenças vistas são provavelmente função de alguma outra característica do alimento. Por exemplo, o maior ou menor grau de gelatinização dos grânulos durante a cocção, já que as formas gelatinizadas do amido são mais

acessíveis à digestão enzimática (45). Embora a gelatinização seja afetada por vários fatores como presença de gordura, proteína e outros constituintes menores que estão estreitamente associados com o amido no interior da célula, é interessante notar que o amido dos alimentos derivados de cereais e tubérculos apesar de apresentarem faixas de gelatinização diferentes, como batata (55-66°C) e arroz (68-78°C), não produziram respostas glicêmicas estatisticamente diferentes ($p < 0,05$), pois durante o preparo dos alimentos, a temperatura de gelatinização para cada um foi ultrapassada.

A fibra de leguminosas, acelera o tempo de trânsito intestinal e suprime respostas de glicose pós-prandiais, porém para cereais e tubérculos a presença de fibra parece não afetar a velocidade de hidrólise, exceto quando forma uma barreira física limitando o acesso das enzimas hidrolíticas ao amido (59,79). Pois a batata apresentando 11% de fibra, milho 13% e arroz 1,5%, era de se esperar que a batata e o milho com conteúdos de fibra mais altos produzissem respostas de glicose no sangue mais baixas que arroz.

Com exceção do farelo de trigo, sementes de leguminosas produzem respostas muito mais baixas que outros alimentos contendo a mesma quantidade de carboidratos (TABELA 3). O farelo de trigo apresenta grande quantidade de fibra, que pode atuar como obstáculo físico ao ataque enzimático e reduzir a resposta glicêmica.

As reduzidas respostas obtidas para feijões, observadas no presente estudo e em outros (54,61,84), não parece ser simplesmente uma função do lento esvaziamento gástrico ou rápido trânsito intestinal. Foi sugerido que o mecanismo básico da baixa resposta metabólica para sementes de leguminosas é que a fibra contida nestes alimentos pode aumentar a viscosidade da camada líquida existente entre o alimento e a superfície da bordadura em escova tornando, assim, o carboidrato menos disponível para absorção no trato gastrointestinal, comparado com alimentos tais como cereais e tubérculos que são desprovidos desse tipo de fibra.

Embora nosso estudo tenha sido realizado somente em ensaios "agudos" estas informações coincidem com as da literatura e sugerem que o método empregado é útil para indicar eventuais diferenças nas respostas metabólicas à ingestão de diferentes alimentos.

TABELA 4 - Glicemia média comparativa para cereais, tubérculos e leguminosas

	glicemia mg (%)					área glicose *	
						(mg% $\times$ min $\times$ 103)	
	0,5h	1h	2h	3h	4h	(2 horas)	(4horas)
Cereais	a 109 $\pm$ 14	a 124 $\pm$ 14	a 99 $\pm$ 11	a 84 $\pm$ 12	a 76 $\pm$ 12	a 12,8 $\pm$ 1,1	a 23,1 $\pm$ 1,9
Tubérculos	a 110 $\pm$ 18	a 120 $\pm$ 16	b 90 $\pm$ 16	a 74 $\pm$ 13	b 66 $\pm$ 11	a 12,4 $\pm$ 1,3	a 21,4 $\pm$ 2,3
Leguminosas	b 90 $\pm$ 8	b 106 $\pm$ 14	b 85 $\pm$ 11	a 81 $\pm$ 6	a 82 $\pm$ 8	b 10,7 $\pm$ 0,9	b 20,4 $\pm$ 1,7

Cereais: média de arroz, pão, curau, polenta, extrusado de milho, farinha de milho.

Tubérculos: média de batata, mandioca, farinha de mandioca, beiju.

Leguminosas: média de feijão, lentilha.

a,b na mesma coluna vertical diferem significativamente ($p < 0,05$)

* as áreas sob as curvas glicêmicas foram consideradas 2 e 4 horas após a ingestão da dieta.

FIGURA 5 - Médias e desvios-padrão das áreas sob as curvas glicêmicas médias produzidas pela ingestão de cereais, tubérculos e produtos derivados ou leguminosas após 120 e 240 minutos.

As formas das curvas de glicemia produzidas pelos produtos derivados dos cereais e tubérculos foram diferentes daquelas produzidas pelas sementes de leguminosas. Estas são mais achatadas e alongadas, devido à presença da fibra e outros fatores que serão discutidos posteriormente. As áreas sob as curvas médias de resposta glicêmica para todos os alimentos podem ser observadas na FIGURA 5, comparativamente.

A análise de variância para comparação entre os grupos de alimentos (TABELA 4) mostrou que dentro do grupo de cereais, o farelo de trigo e o macarrão dão respostas diferentes dos outros alimentos. O farelo de trigo não apresenta diferença significativa em relação ao grupo das leguminosas sendo diferente em relação aos demais cereais e tubérculos ($p < 0,05$).

O macarrão, no entanto, é intermediário entre o grupo das sementes de leguminosas e o grupo dos cereais e tubérculos. Os demais cereais formam um grupo que não é estatisticamente diferente em relação ao grupo dos tubérculos que, por sua vez, são estatisticamente diferentes em relação ao grupo das leguminosas para a absorção da glicose depois de 2 e 4 horas e também na velocidade de digestão comparando o aumento máximo de glicemia após 1 hora da ingestão do amido.

Esses resultados sugerem que as sementes de leguminosas, aqui representadas pelo feijão e lentilha produzem moderado aumento na glicemia. Colocados em ordem crescente os alimentos estudados estariam assim: sementes de leguminosas e farelo de trigo, macarrão, cereais e tubérculos, estes últimos podendo ser considerado como os de maior aproveitamento calórico.

5.2 Experiências "in vitro"

Os resultados obtidos nas análises de hidrólise "in vitro" para os mesmos alimentos estudados, estão mostrados na TABELA 5.

TABELA 5 - Glicose liberada após 30 minutos de hidrólise "in vitro" e digestibilidade (%)

	% Amido no alimento	Glicose (mg) liberada *	Amido hidrolisado (%)
Arroz	74,7	156±8 ^a	70,2
Far.Trigo	33,6	86±3 ^b	38,7
Pão	56,0	175±5 ^c	78,8
Macarrão	76,0	160±8 ^a	72,0
Curau	74,0	157±6 ^a	70,6
Far.Milho	67,8	152±9 ^a	68,4
Polenta	74,5	146±7 ^a	63,9
Extr.Milho	61,0	186±12 ^c	83,7
Batata	73,3	160±5 ^a	72,0
Mandioca	74,5	163±8 ^a	73,4
Far.Mandioca	75,5	176±6 ^c	79,2
Beiju	82,2	163±5 ^a	73,4
Feijão	44,6	58±2 ^d	26,1
Lentilha	58,0	56±4 ^d	25,2

a,b,c,d na mesma coluna vertical diferem significativamente (p<0,05)

* glicose liberada a partir de 200mg de amido proveniente de cada alimento

TABELA 6 - Relação entre as velocidades de hidrólise do amido "in vitro" e resposta glicêmica após 60 minutos de digestão

Alimen- tos	Resposta glicêmica após 60 min. (mg/100ml)	Velocidade de hidrólise "in vitro" (% hdr/ 30 min)	Razão:resposta glicêmica/velo- cidade hidrólise
Arroz	125±8	70,2	1,78
Far.Trigo	91±10	38,7	2,35
Pão	131±20	78,8	1,66
Macarrão	113±14	72,0	1,57
Curau	117±7	70,6	1,66
Far.Milho	120±17	68,4	1,75
Polenta	119±12	63,9	1,86
Extr.Milho	135±16	83,7	1,61
Batata	123±22	72,0	1,71
Mandioca	119±22	73,4	1,62
Far.Mand.	121±13	79,2	1,53
Beiju	122±14	73,4	1,66
Feijão	110±15	26,1	4,21
Lentilha	101±12	25,2	4,01

O método "in vitro" utilizado é simples o suficiente para permitir avaliar a velocidade de hidrólise do amido de uma larga variedade de alimentos com boa precisão.

O sistema não se assemelha rigorosamente ao desenvolvimento intestinal durante a digestão mas é um modelo útil para examinar as características dos alimentos que podem afetar a velocidade de digestão do amido mesmo que não permita estudar, especificamente, os fatores que afetam diretamente a absorção do carboidrato digerido, como aquele descrito por Jenkins e colaboradores (64). Eles incubavam alimentos e enzimas digestivas em tubo de diálise e monitoravam o aparecimento dos produtos de digestão fora do saco de diálise. No entanto, apesar do método ser mais apropriado para estudar fatores que afetam a absorção também não é capaz de distinguir entre a absorção reduzida devido à velocidade diminuída da hidrólise intestinal do amido daquela devida simplesmente à viscosidade aumentada dos conteúdos intestinais.

Dos nossos resultados (TABELA 5), pode-se observar que a velocidade de hidrólise "in vitro" para as sementes leguminosas foi bastante reduzida se comparada ao controle (arroz), sugerindo que "in vivo" as respostas glicêmicas produzidas por esses alimentos também seriam reduzidas, fato este que foi confirmado.

Alimentos como extrusado de milho, farinha de mandioca e pão preparados industrialmente, sofrem tratamentos drásticos de temperatura e pressão em baixos conteúdos de água. Dependendo do processo e condições de processamento usados, os produtos finais diferem nas propriedades físicas, como a solubilidade em água e o comportamento reológico. Estas propriedades estão relacionadas com a modificação do amido dentro do grânulo, que podem acelerar a velocidade de digestão "in vivo" e "in vitro", sendo que neste último as respostas obtidas foram significativamente mais altas se comparadas ao arroz.

De modo geral, as diferenças observadas entre a velocidade de hidrólise e as respostas glicêmicas pós-prandiais, no que diz respeito às leguminosas, podem ser explicadas pela maior diversidade e atividade hidrolítica comparada àquela usada no sistema "in vitro", além das funções gastrointestinais como trânsito, trabalhos mecânicos e outras condições químicas ou físicas que facilitam a quebra do amido no intestino. Estes foram responsáveis pela menor correlação observada ($r=0,83$), comparada àquela existente para os cereais e tubérculos ($r=0,95$) ($p<0.01$), TABELA 6. O fato pode ser melhor apreciado observando a FIGURA 6.

- o cereais e produtos derivados
- tubérculos e produtos derivados
- sementes de leguminosas

FIGURA 6 - Correlação entre a velocidade de hidrólise do amido "in vitro" e pico de glicose no sangue após 1 hora ($r=0,83$; $p<0,01$).

Os resultados confirmam trabalhos anteriores (23,50,52,66,80) que sugerem que estudos "in vitro" podem ser usados para identificar os alimentos que produzam os menores aumentos na glicemia .

5.3 Efeito de diferentes tratamentos sobre a digestibilidade "in vitro" e "in vivo" do amido de feijões

Para tentar explicar melhor as diferenças encontradas entre as respostas da glicemia e a hidrólise "in vitro" produzidas pelas sementes de leguminosas e os demais grupos de alimentos, foram feitos ensaios com feijões submetidos a diferentes tratamentos.

As médias, as áreas totais sob as curvas glicêmicas durante 120 minutos e os respectivos desvios-padrão estão apresentados na TABELA 7 e as curvas glicêmicas correspondentes na FIGURA 7.

TABELA 7 - Efeito do tempo de cocção na glicemia pós-prandial

Grupo	Peso dos animais (g)	glicemia mg (%)					área *
		0,5h	1h	2h	3h	4h	mg (%) x mín. x 10 ³
A	137±13	^a 71±7	^a 102±8	^a 77±4	^a 66±6	^a 59±6	^a 10,0±0,6
B	132±13	^a 68±4	^b 84±8	^b 67±6	^a 60±8	^a 56±6	^b 8,8±0,5
C	130±6	^a 73±6	^{a b} 94±10	^{a,b} 71±7	^a 64±6	^a 60±6	^a 9,6±0,5
D	138±14	^a 73±5	^a 98±6	^{a b} 70±2	^a 62±5	^a 58±5	^a 9,7±0,4

A=Feijão macerado por 16 horas e cozido 45 minutos

Feijão cozido sem maceração prévia por: B=45 minutos, C=90 minutos e D=122 minutos

a,b na mesma coluna vertical diferem significativamente (p<0,05)

* a área sob as curvas glicêmicas foi considerada até 2 horas após a ingestão da dieta

CURVAS GLICÊMICAS feijões

FIGURA 7 - Curvas glicêmicas produzidas por ingestão dos feijões que sofreram diferentes tratamentos: A (feijões macerados por 16 horas e cozidos 45 minutos); feijões cozidos sem prévia maceração por: B (45 minutos), C (90 minutos) e D (122 minutos).

TABELA 8 - Glicose liberada pela hidrólise do amido "in vitro" em função do tempo

Alimentos	glicose (mg) liberada após incubação com amiloglicosidase			
	5min.	15min.	30min.	60min.
A	^a 18±3	^{a b} 26±3	^a 48±4	^a 84±6
B	^a 18±2	^a 23±5	^b 32±3	^b 46±4
C	^a 18±2	^a 24±2	^a 46±2	^a 77±9
D	^b 25±5	^b 30±2	^a 52±4	^a 92±9

A= Feijão macerado por 16 horas e cozido 45 minutos

Feijão cozido sem prévia maceração por: B= 45 minutos, C= 90 minutos e D= 122 minutos

a,b na mesma coluna vertical diferem significativamente
(p<0,05)

Os estudos de digestão "in vitro" mostraram que feijões macerados e os cozidos 90 e 122 minutos, sofreram hidrólise mais rapidamente que os cozidos durante 45 minutos sem maceração e que os resultados equivaleram às respostas "in vivo", TABELAS 7 e 8.

Após os 45 minutos os feijões não se apresentavam amolecidos por completo. A gelatinização parcial dos grânulos de amido no interior das sementes pode ser responsável pelo reduzido aumento na glicemia e hidrólise "in vitro".

A partir dos 90 minutos, do ponto de vista organoléptico, pode-se afirmar que os feijões tinham condições aceitáveis de consumo. Porém, os tempos de cocção de 122 e 45 minutos com prévia maceração determinados pelo cozedor de MATTSON foram considerados, em relação à textura, ideal para consumo.

A maceração durante 16 horas em água destilada sob temperatura ambiente produz entumescimento dos tecidos sem separação celular, proporcionando assim, com tempo de cocção reduzido, condições de palatibilidade correspondentes aos feijões cozidos 122 minutos e respostas de hidrólise aproximadas. Portanto, a maceração é um fator importante nas respostas de digestibilidade, como observado por KATARIA & CHAN HAN (68) que ainda afirmaram que quanto maior o tempo de maceração, mais alta a velocidade com que o amido é digerido.

A cocção prolongada provoca modificação tecidual, porém sem ocorrer ruptura celular. Na FIGURA 8, cujas amostras foram cozidas apenas 15 minutos, pode-se observar agregação de células que desaparece gradualmente com o aumento do tempo de cocção. A desintegração dessas estruturas compactas aumenta a área superficial facilitando o ataque enzimático, porém o completo entumescimento dos grânulos de amido, independente do tempo de cocção, parece ser dificultado pela rigidez da parede celular, pois a mesma estrutura que envolve os grânulos observada após 15 minutos permaneceu em todos os tempos estudados, FIGURAS 9 e 10.

A irregularidade das formas celulares apresentadas nas figuras está associada à estrutura tecidual, onde se observa que as células estão comprimidas pela parede ou umas às outras.

FIGURA 8 - Feijões cozidos durante 15 minutos. Parede celular e presença dos grânulos no interior da célula bem definidos. Estrutura tecidual mantida devido ao reduzido tempo de cocção. (Aumento 200x).

FIGURA 9 - Feijões cozidos durante 45 minutos. Não há mais estrutura tecidual. Presença somente de células intactas. (Aumento 100x).

CAMPO A

CAMPO B

FIGURA 10 - Feijões cozidos durante 122 minutos. Presença de células inteiras, apesar do aumento do tempo de cocção. (Aumento 100x).

Apesar do tratamento térmico provocar separação celular, a não ruptura da parede e não liberação dos grânulos de amido, são elementos que determinam a baixa digestibilidade de leguminosas em relação à dos outros alimentos estudados.

Das FIGURAS 11 (A,B) observa-se que ocorre quebra parcial da parede celular através de meios mecânicos, liberando parte dos grânulos gelatinizados de amido, facilitando o ataque enzimático. Era de se esperar que a ingestão da farinha de feijão produzisse resposta glicêmica superior àquela observada para feijão cozido e amassado apenas. No entanto, do experimento anterior, observou-se que não houve diferença na glicemia pós-prandial após 2 horas (TABELAS 3 e 7), e as respostas de hidrólise "in vitro" após 30 minutos de incubação com amiloglicosidase, foram marcadamente reduzidas nos 2 casos. (TABELAS 5 e 8)

Esses resultados estão de acordo com O'DEA e colaboradores (81) quando trabalharam com lentilhas, porém esses mesmos autores em outro trabalho (79), verificaram que as respostas glicêmicas obtidas após a ingestão de arroz cozido foram marcadamente reduzidas em relação àquele moído antes da cocção, mas ambos significativamente maiores em comparação às lentilhas.

FIGURA 11 - Feijões cozidos, secos e moidos: A-cozidos durante 45 minutos sem prévia maceração; B-cozidos por 45 minutos após maceração por 16 horas. Presença de reduzido número de células intactas e predominância de grânulos liberados. (Aumento de 100x). Glicemia após 1 hora: far. de feijão (101 ± 12 mg%) X feijão cozido e amassado (102 ± 8 mg%).

Como a moagem causa quebra de parte das células e diferenças nas respostas de hidrólise tanto "in vitro" como "in vivo" não ocorreram, uma incubação com enzima por 30 minutos do grânulo de amido isolado e gelatinizado foi feita para verificar se a ausência total da parede permitiria maior penetração desta enzima e mais rápida velocidade de hidrólise. No entanto, para o amido isolado a partir dos feijões cozidos por 122 minutos as respostas variaram de 25 a 30% e não são diferentes ($p < 0,05$) daquelas produzidas pela digestão do amido contido nos feijões cozidos durante o mesmo tempo (TABELA 8). Concluindo que para sementes de leguminosas existem outros fatores intrínsecos, além da espessa parede celular, que afetam a digestibilidade do amido.

É sabido que os inibidores de α -amilases e outros conhecidos como antinutrientes existentes nos feijões são termolábeis e que a temperatura utilizada durante o processo de cocção é suficiente para destruí-los.

A completa gelatinização do amido é importante na determinação da velocidade de hidrólise "in vitro". Incubando-se com amiloglicosidase grânulos de amido isolados, crus ou cozidos (na ausência total da estrutura celular (FIGURA 12)), verificou-se que para os crus a hidrólise foi menor que 5% enquanto que para os cozidos em torno de 30%. Concluiu-se que o tratamento térmico influencia a digestibilidade do amido, mas não está associado apenas com a ruptura da parede celular e nem com

a desintegração da estrutura tecidual, mas também com modificações no conteúdo celular.

FIGURA 12 - Grânulos de amido de feijão crú, liberados do interior das células. (Aumento de 400x).

Da estrutura do amido, é sabido que amilose é mais resistente à digestão enzimática do que a amilopectina devido à sua estrutura linear compacta, como mostrado por GODDARD e colaboradores (40) que trabalhando com diversas amostras de arroz contendo quantidades variáveis de amilose e amilopectina, verificaram que aquela que continha alto conteúdo de amilose produziu resposta glicêmica reduzida comparada àquela pobre em amilose.

No entanto, a quantidade de amilose encontrada no feijão (27,5%), apesar de estar em maior proporção do que nos cereais, arroz (16%) e trigo (17%) e a mandioca (17%), não é diferente, por exemplo da batata (22%) e milho (20-28%) (39), que mostraram produzir respostas glicêmicas significativamente maiores daquelas produzidas pelos feijões. Isto enfatiza que a presença de grande quantidade de amilose isoladamente não é a única responsável pela mais baixa resposta de glicemia e hidrólise "in vitro" produzida pelos feijões e sim a forma como se encontra dentro dos grânulos de amido, ou seja, a natureza desse grânulo.

Pode ser observado nas FIGURAS 13 e 14, que as moléculas de amido completamente hidratadas, liberadas de dentro dos grânulos passam para o caldo durante o cozimento sem haver quebra da parede celular e principalmente da estrutura granular. É possível também que, pela observação microscópica, a quantidade de amilose e amilopectina liberadas está relacionada com o tempo de cocção, isto é, no

caldo de feijão cozido durante 122 minutos parece que coloração azul intensa, que indica presença destes compostos, era maior do que observado no caldo de 45 minutos.

Na FIGURA 13, há células coradas e não-coradas com os contornos dos grânulos no seu interior, indicando claramente que o amido que existia ali foi lavado para o caldo.

O amido totalmente liberado está prontamente disponível ao ataque enzimático e como o caldo neste experimento não foi descartado, pode explicar em parte o aumento da velocidade de digestão do amido com o aumento do tempo de cocção.

FIGURA 13 - Caldo de feijão cozidos durante 90 minutos. Presença de amido liberado e algumas células intactas coradas e não-coradas. (Aumento 100x).

Figura 14 - Caldo de feijão cozido durante 122 minutos. Coloração azul intensa, indica presença de amido liberado. (Aumento 100x).

TABELA 9 - Efeito do tratamento com pepsina na hidrólise do amido "in vitro"

Alimentos	glicose (mg) liberada após 1 hora de incubação com pepsina seguida de amiloglicosidase			
	5min.	15min.	30min.	60min.
A	71±7 ^a	97±1 ^a	126±4 ^a	193±6 ^a
B	50±3 ^b	71±3 ^b	85±4 ^b	107±7 ^b
C	59±6 ^b	86±0 ^c	119±3 ^a	169±3 ^a
D	78±4 ^a	105±10 ^a	127±8 ^a	176±12 ^a

A =Feijão macerado por 16 horas e cozido 45 minutos

Feijão cozido sem prévia maceração por: B =45 minutos, C =90 minutos e D =122 minutos

a,b,c na mesma coluna vertical diferem significativamente
(p<0,05)

TABELA 10 - Relação entre as respostas glicêmicas no rato e as velocidades de hidrólise do amido "in vitro"

Alimentos	Resposta Glicêmica após 60' (mg/100ml)	Velocidade * Hidrólise "in vitro" (%hidr./30')	Razão: resp.glicem./veloc.hidrol.	Velocidade ** hidrol."in vitro" após 60' incubação com pepsina (%hidr./30')	Razão: resp.glicem/veloc.hidrol.
A	^a 102±8	^a 21,6	4,7	^a 57,0	1,8
B	^b 84±8	^b 14,4	5,8	^b 38,0	2,2
C	^a 94±10	^a 23,4	4,0	^a 57,2	1,6
D	^a 98±6	^a 20,7	4,7	^a 53,6	1,8

A =Feijão macerado por 16 horas e cozido 45 minutos

Feijão cozido sem prévia maceração por: B =45 minutos, C =90 minutos e D =122 minutos

a,b,c na mesma coluna vertical diferem significativamente (p<0,05)

* após 30 minutos de incubação com amiloglicosidase

** após 30 minutos de incubação com amiloglicosidase,mas previamente incubada com pepsina por 60 minutos.

A presença de proteína nas sementes de leguminosas, diferentemente dos cereais e tubérculos, interfere na velocidade de hidrólise do amido. Importante também é como essa proteína se apresenta estruturalmente dentro dos grânulos interagindo com o amido. Ainda em 1981, ANDERSON e colaboradores (01), trabalhando com farinha de trigo, consideraram que a interação amido-proteína foi responsável pela queda da velocidade de digestão "in vitro" e a associaram com as reduzidas respostas glicêmicas. Também, JENKINS e colaboradores (53) anos depois, afirmaram que a matriz proteica que cerca os grânulos de amido no trigo poderia inibir a velocidade de hidrólise no lúmen do intestino delgado.

Possivelmente esse tipo de interação também exista nas leguminosas e outros alimentos. No nosso caso, a degradação da proteína por tratamento prévio com uma protease aumentou substancialmente a velocidade de hidrólise pela α -amiloglicosidase, (TABELA 9). Após 60 minutos o nível de hidrólise aumentou de 38% no feijão macerado e cozido por 45 minutos não-tratado, a 87% naquele tratado previamente com a protease.

A protease aumenta a ação da amiloglicosidase, provavelmente atuando sobre a proteína que está interagida com o amido dentro do grânulo ou então pela quebra da matriz proteica que constitui a parede celular como indicado por

HOLM, J. e colaboradores (44) que afirmaram que o exame microscópico de alimentos derivados de trigo, crus ou cozidos, mostraram que grande quantidade dos grânulos de amido estavam embebidos em uma matriz e após a incubação com pepsina, degradada e os grânulos liberados. No entanto, como pode ser observado na FIGURA 15 (A, B, C), não há liberação dos grânulos de dentro da célula mesmo após incubação com pepsina para qualquer dos tratamentos utilizados, mas verifica-se que com a pré-incubação com pepsina (C) um maior número de células são atacadas, permanecendo no seu interior corpos proteicos e outros constituintes celulares que não amido.

Para todas as amostras, houve pequena degradação do amido (em torno de 5%) decorrente da hidrólise ácida provocada pelo baixo pH ótimo (1,5) da pepsina.

KON e colaboradores (73) trabalhando com ratos mostraram que a proteína no feijão é rapidamente digerida no intestino delgado, sugerindo que as enzimas têm livre acesso dentro das células. Isto sugere a mais baixa resposta produzida "in vitro" em relação àsquelas "in vivo" para as mesmas amostras de feijão.

Assim, a correlação existente entre a velocidade de hidrólise "in vitro" e as respostas glicêmicas para os feijões que sofreram diferentes tratamentos térmicos, é melhorada pela pré-digestão da proteína, TABELA 10.

FIGURA 15 - Feijões cozidos durante 45 minutos e macerados 16 horas: A-amostra incubada 60 minutos com pepsina; B-30 minutos com amiloglicosidase; C-60 minutos com pepsina e posteriormente com amiloglicosidase durante 30 minutos, presença de aumentado número de células descoradas, indicando a não presença do amido no interior das células.

Em conclusão, este estudo mostra que as diferenças obtidas para a digestibilidade do amido e as respostas glicêmicas "in vivo" produzidas pela ingestão de leguminosas podem ser devidas a diversos fatores como diversidade no tratamento térmico usado, presença de proteína no interior dos grânulos e o aprisionamento do amido nas fibras das espessas paredes celulares que impede seu completo entumescimento e limitação do acesso de enzimas digestivas.

5.4 - Efeito da presença de óleo na velocidade de hidrólise "in vitro" e na resposta glicêmica para cereais e tubérculos

Nessa experiência examinamos as respostas agudas de glicose no sangue para diferentes fontes de carboidratos com particular ênfase nos efeitos da co-ingestão de óleo.

Para permitir comparações as mesmas amostras utilizadas no experimento anterior, foram misturadas com óleo, que ficou retido entre 25 e 30%, com exceção do macarrão com 6%.

O comportamento das curvas glicêmicas produzidas pela ingestão dos alimentos adicionados de óleo foi, em geral, o mesmo que para os mesmos alimentos cozidos. A exceção foi a mandioca que apresentou uma queda brusca após 1 hora da ingestão da dieta a patamares inferiores ao jejum, resultando valores baixos de glicemia, o que não corresponde aos valores obtidos na hidrólise "in vitro".

Para os estudos "in vitro" não houve diferença significativa entre os alimentos com e sem óleo, TABELA 12.

A literatura sobre o assunto é escassa. COLLIER e O'DEA (19) contrariamente aos nossos resultados mostraram que na presença de óleo, os níveis de glicose no sangue são reduzidos, porém a resposta de insulina não foi afetada.

TABELA 11 - Efeito da presença de óleo na glicemia

	Peso dos animais (g)	glicemia mg (%)					área *
		0,5h	1h	2h	3h	4h	mg (%) x min. x 103
Macarrão	129±9	a 96±9	a 113±14	a 86±14	a 71±10	a 66±12	a 11,5±0,9
Macarrão óleo	131±14	a 94±14	a 106±10	a 84±9	a 68±6	a 64±7	a 11,1±0,7
Batata	134±13	a 123±22	a 117±18	a 92±21	a 77±18	a 61±17	a 12,7±1,7
Batata frita	135±15	a 106±18	a 111±12	a 79±19	a 80±12	a 73±6	a 11,9±1,1
Polenta	131±12	a 108±8	a 119±12	a 100±5	a 76±3	a 73±4	a 12,6±0,8
Polenta frita	136±12	a 104±7	a 108±11	a 95±12	a 75±14	a 67±8	a 11,8±0,9
Mandioca	125±8	a 114±18	a 125±14	a 77±8	a 66±13	a 66±11	a 12,4±1,0
Mandioca frita	133±7	b 80±9	b 112±11	b 63±6	a 68±5	a 66±11	b 9,9±0,5

a,b na mesma coluna vertical diferem significativamente
($p < 0,05$)

* a área sob as curvas glicêmicas foi considerada até 2
horas após a ingestão da dieta

TABELA 12 - Efeito do óleo na glicose liberada após 30 minutos de hidrólise do amido "in vitro"

Alimento	glicose (mg) *	Amido hidrolisado (%)
Macarrão	^a 160±8	72,0
Macarrão/óleo	^a 150±8	67,3
Batata	^a 160±5	72,0
Batata frita	^a 158±7	70,9
Polenta	^a 142±7	63,9
Polenta frita	^a 139±6	62,5
Mandioca	^a 163±8	73,4
Mandioca frita	^a 150±8	67,3

* não houve diferença significativa ($p < 0,05$)

As respostas glicêmicas produzidas pela ingestão de alimentos adicionados de óleo não são menores do que aquelas obtidas sem óleo, contrariando outros trabalhos (17,19), nos quais a presença de gordura reduziu o nível de glicose sanguínea, seja pelo lento esvaziamento gástrico ou então dificultando o acesso das enzimas hidrolíticas. Contudo, as condições dos estudos foram diferentes destes, com ensaios de longa duração e não agudos como os nossos ou então em humanos e não em ratos.

Quando se comparam estudos de digestibilidade, diferenças substanciais nas respostas glicêmicas refletem às vezes apenas diferenças na metodologia. CRAPO e colaboradores (26,29) usaram porções individuais de alimentos contendo carboidrato equivalentes a 50g de glicose juntamente com 500ml de água. JENKINS e colaboradores (56,62) também tentaram controlar a quantidade total de carboidrato igual a 50g de glicose, mas adicionaram quantidades variáveis de outros alimentos proteicos como leite. Está bem documentado que o conteúdo de gordura e proteína de uma refeição alteram as respostas de glicose e insulina. Assim, o não controle destas variáveis introduz uma fonte de variação independente do carboidrato estudado e desde que não se consomem alimentos amiláceos isolados, um método mais adequado seria estudar as respostas metabólicas para alimentos contendo carboidratos incorporados a uma refeição teste padrão designada para também incluir quantidades representativas de gordura e proteína.

6. CONCLUSÕES

6.1 As sementes leguminosas, representadas por feijão e lentilha produzem, relativamente aos alimentos derivados de cereais e tubérculos, reduzidas respostas na glicemia. Através de análises microscópicas e "in vitro", pudemos identificar alguns fatores que explicam esse efeito:

1- A rígida parede celular que não sofre rupturas com o aumento de cocção parece ser responsável pela lenta velocidade que o amido é digerido,

2- A moagem não mostrou ser determinante nas respostas glicêmicas nem na hidrólise "in vitro",

3- O tratamento térmico influencia nas respostas de digestão por provocar modificação tecidual com separação celular aumentando a área de ataque enzimático, assim como pela gelatinização do amido,

4- A proteína existente no interior dos grânulos de amido, interfere na ação enzimática, retardando a velocidade que o amido é hidrolisado.

6.2 As respostas glicêmicas produzidas pelos alimentos após 2 horas da ingestão não foram diferentes daquelas após 3 e 4 horas, podendo o experimento ser feito em tempo reduzido (2 horas).

6.3 O sistema "in vitro" utilizado mostrou ser simples e eficiente para prever quais seriam as respostas "in vivo" pelos alimentos ingeridos.

6.4 A gordura não interfere nas respostas glicêmicas produzidas pelos alimentos estudados, assim como na digestão "in vitro" no nível de significância adotado.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - ANDERSON, I. H.; LEVINE, A. S.; LEVIT, M. D.
Incomplete absorption of the carbohydrate in all-
purpose wheat flour. N. Engl. J. Med., Boston,
304:891-2, 1981.
- 02 - ANDERSON, J. W. High polysaccharide diet studies in
patients with diabetes and vascular disease. Cereal
Foods World, St.Paul, 22:12-23, 1977.
- 03 - ANDERSON, J. W. Effect of carbohydrate restriction and
high carbohydrate diets on men with chemical
diabetes. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 30:402-8,
1977.
- 04 - ANDERSON, J. W. & CHEN, W. L. Plant fiber,
carbohydrate in lipid metabolism. Am. J. Clin.
Nutr., Bethesda, 32:346-63, 1979.
- 05 - ANDERSON, J. W. & WARD, K. Longterm effects of high
carbohydrate, high fiber diets on glucose and lipid
metabolism. Diabetes care, New York, 1:77-85, 1978.

- 06 - ANDERSON, J. W. & WARD, K. High-carbohydrate, high-fiber diets for insulin-treated men with diabetes mellitus. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 32:2312-21, 1979.
- 07 - ARÊAS, J. A. G. & LAJOLO, F. M. Determinação enzimática específica do amido , glicose, frutose e sacarose em bananas pré-climatéricas e climatéricas. An. Farm. Quim. São Paulo, São Paulo, 20 (1/2):307-18, 1980.
- 08 - BADENHUIZEN, N. P. Protoplasmatologia, 2B:8-16, 1959.
Appud: Biochem. J., London, 86: 452-62, 1963.
- 09 - BEHALL, K. M.; SCHOLFIELD, D. J.; CANARY, J. Effect of starch structure on glucose and insulin responses in adults. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 47:428-32, 1988.
- 10 - BEHALL, K. M.; SCHOLFIELD, D. J.; YUHANIYAK, I; CANARY, J. Diets containing high amylose vs amylopectin starch: effects on metabolic variables in human subjects. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 49:337-44, 1989.

- 11 - BERNFELD, P. Amylases α and β . Meth. Enzymol., New York, 1:149-54, 1955.
- 12- BERGMAYER, M. V. & BERNT, E. Determination of glucose with glucose oxidase. In : Bergmeyer, H. U., Methods of enzymatic analysis, 2^a.ed., New York, Academic Press, 1974, p.1204-12.
- 13 - BIERMAN, E. L. Principles of nutrition and dietary recommendations for patients with diabetes mellitus. Diabetes, New York, 20:633-6, 1979.
- 14 - BRAND, J. C.; NICHOLSON, P. L.; THORBURN, A. W.; TRUSWELL, A. S. Food processing and the glycemic index. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 42:1192-6, 1985.
- 15 - CARSON, E. M. Functional properties of banana starch.
| MSc. Thesis | M. I. T., 1971.
- 16 - CHEW, I.; BRAND, J. C.; THORBURN, A. W.; TRUSWELL, A. S. Application of glycemic index to mixed meals. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 47:53-6, 1988.

- 17 - COLLIER, G.; McLEAN, A.; O'DEA, K. Effect of co-ingestion of fat on the metabolic responses to slowly and rapidly absorbed carbohydrates. Diabetologia, Berlin, 26:50-4, 1984.
- 18 - COLLIER, G. & O'DEA, K. Effect of physical form of carbohydrate on the postprandial glucose, insulin and gastric inhibitory polypeptide responses in type 2 diabetes. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 36:10-4, 1982.
- 19 - COLLIER, G. & O'DEA, K. The effect of coingestion of fat on the glucose, insulin and gastric inhibitory polypeptide responses to carbohydrate and protein. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 37:941-4, 1983.
- 20 - COLLIER, G. R.; WOLEVER, T. M. S.; WONG, G. S.; JOSSE, R. G. Prediction of glycemic response to mixed meals in non insulin-dependent diabetic subjects. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 44:349-52, 1986.
- 21 - COLLINGS, P.; WILLIAMS, C.; MACDONALD, I. Effects of cooking on serum glucose and insulin responses to starch. Br. Med. J., London, 282:1032, 1981.

- 22 - COULSTON, A. M.; GREENFIELD, M. S.; KRAEMER, F. B.; TOBEY, T. D.; REAVEN, G. M. Effect of source of dietary carbohydrate on plasma glucose and insulin response to test meals in normal subjects. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 33:1279-82, 1980.
- 23 - COULSTON, A. M.; GREENFIELD, M. S.; KRAEMER, F. B.; TOBEY T. D.; REAVEN, G.M. Effect of differences in source of dietary carbohydrate on plasma glucose and insulin responses to meals in patients with impaired carbohydrate tolerance. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 34:2716-20, 1981.
- 24 - COULSTON, A. M.; HOLLENBECK, C. B.; LIU, G. C.; WILLIAMS, R. A.; STARICH, G. H.; MAZZAFERRI, E.L.; REAVEN, G. M. Effect of source of dietary carbohydrate on plasma glucose, insulin, and gastric inhibitory polypeptide responses to test meals in subjects with noninsulin-dependent diabetes mellitus. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 40:965-70, 1984.
- 25 - COULSTON, A. M.; HOLLENBECK, C. B.; REAVEN, G. M. Utility of studies measuring glucose and insulin responses to various carbohydrate - containing foods. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 39:163-4, 1984.

- 26 - CRAPO, P. A.; INSEL, J; SPERLING, M; KOLTERMAN, O. G.
Comparison of serum glucose, insulin and glucagon responses to different types of complex carbohydrate in non-insulin dependent diabetic patients. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 34:184-90, 1981.
- 27 - CRAPO, P. A.; KOLTERMAN, O. G.; WALDECK, N.; WALDECK, M. A.; REAVEN, G. M.; OLEFSKY, J. M. Postprandial hormonal responses to different types of complex carbohydrate in individuals with impaired glucose tolerance. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 33:1723-8, 1980.
- 28 - CRAPO, P. A. ; REAVEN, G. M.; OLEFSKY, J. M. Plasma glucose and insulin responses to orally administered simple and complex carbohydrates. Diabetes, New York, 25:741-7, 1976.
- 29 - CRAPO, P. A.; REAVEN, G. M.; OLEFSKY, J. Postprandial plasma glucose and insulin responses to different complex carbohydrates. Diabetes, New York, 26:1178-83, 1977.
- 30 - DAHLE, L. K. Wheat protein-starch interaction some starch-binding effects of wheat-flour proteins. Cereal Chem., St.Paul, 48:706-14, 1971.

- 31 - DILAWARI, J.B.; KAMATH, P. S.; BATTI, R. P.; MUKEWAR, S.; RAGHAVAN, S. Reduction of postprandial plasma glucose by Bengal gram dal (*Cicer arietinum*) and Rajmah (*Phaseolus vulgaris*). J. Food Sci., Chicago, 47:1-3, 1981.
- 32 - DREHER, M. L.; DREHER, C. J.; BERRY, J. W. Starch digestibility of foods: A nutritional perspective. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr., Cleveland, 20(1):47-67, 1984.
- 33 - EL FAKI, H. A.; VENKATARAMAN, L. V.; DESIKACHAR, S. R. Effect of processing on the vitro digestibility of proteins and carbohydrates in some Indian legumes. Qual. Plant.- Plant. Foods Human Nutr., Boston, 34:127-33, 1984.
- 34 - ENGLYST, H. N. & CUMMINGS, J. H. Digestion of the polysaccharides of some cereal foods in the human small intestine. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 42:778-87, 1985.
- 35 - ENGLYST, H. N. & CUMMINGS, J. H. Digestion of the carbohydrates of banana (*Musa paradisiaca sapientum*) in the human small intestine. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 44:42-50, 1986.

- 36 - FLEMING, S. E. Influence of cooking method on digestibility of legume and cereal starches. J. Food Sci., Chicago, 47:1-3, 1981.
- 37 - FLEMING, S. E. & VOSE, J. R. Digestibility of raw and cooked starches from legume seeds using the laboratory rat. J. Nutr., Philadelphia, 109:2067-75, 1979.
- 38 - GATTI, E.; TESTOLIN, G.; NOE, D.; BRIGHENTI, F.; BUZZETI, G. P.; PORRINO, M.; SIRTORI, C. R. Plasma glucose and response insulin to carbohydrate food (rice) with different thermal processing. Ann. Nutr. Metab., Basel, 31:296-303, 1987.
- 39 - GLICKSMAN, M. Gum technology in food industry. New York, Academic Press, 1969, p.274-333.
- 40 - GODDARD, M. S.; YOUNG, G.; MARCUS, R. The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 39:388-92, 1984.

- 41 - HAHN, D. M.; JONES, F. T.; AKHAVAN, I.; ROCKLAND, L. B.
Light and scanning electron microscope studies on
dry beans: intracellular gelatinization of starch in
cotyledons of large Lima Beans (*Phaseolus lunatus*).
J. Food Sci., Chicago, 42:1208-15, 1977.
- 42 - HELLENDORRN, E. W. Dietary fiber or indigestible
residue. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 34:1437-9,
1981.
- 43 - HELLENDORRN, E. W.; VAN DEN TOP, M.; VAN DER WEIDE, J.
E. M. Digestibility "in vitro" of dry mashed potato
products. J. Sci. Food Agric., London, 21:71-5,
1970.
- 44 - HOLM, J.; BJORCK, I.; ASP, N. G.; SJOBERG, L. B.;
LUNDQUIST, I. Starch availability in vitro and in
vivo after flaking, steam-cooking and popping of
wheat. J. Cereal Sci., London, 3:193-206, 1985.
- 45 - HOLM, J.; LUNDQUIST, I.; BJORCK,; ELIASSON, A. G.; ASP,
N. G. Degree of starch gelatinization, digestion
rate of starch in vitro, and metabolic response in
rats. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 47:1010-6,
1988.

- 46 - HUDSON, C. J. et al. The automated determination of carbohydrate. Development of a method for available carbohydrates and its application to foodstuffs. J. Sci. Food Agric., London, 27(7):681-7, 1977.
- 47 - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 3ed. São Paulo, v.1, p. 21-2, 1985.
- 48 - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 3ed. São Paulo, v.1, p. 42-3, 1985.
- 49 - JACKSON, G. M. & VARRINO-MARSTON, E. Hard-to-cook phenomenon in beans: effects of accelerated storage on water absorption and cooking time. J. Food Sci., Chicago, 46(3): 799-803, 1981.
- 50 - JENKINS, D. J. A.; GHAFARI, H.; WOLEVER, T. M. S. Relationship between the rate of digestion of foods and postprandial glycaemia. Diabetologia, Berlin, 22:450-5, 1983.
- 51 - JENKINS, D. J. A.; LEEDS, A. R.; GASSUL, M.A.; COCHET, B.; ALBERTI, K. E. M. M. Decrease in postprandial insulin and glucose concentrations by guar and pectin. Ann. Inter. Med., Philadelphia, 86:20-3, 1977.

- 52 - JENKINS, D. J. A.; THORNE, M. J.; CAMELON, K.; JENKINS, A. L.; RAO, A. V.; TAYLOR, R. H.; THOMPSON, L. U. Effect of processing on digestibility and the blood glucose response: a study of lentils. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 36:1093-101, 1982.
- 53 - JENKINS, D. J. A.; THORNE, M. J.; WOLEVER, T. M. S.; JENKINS, A. L.; RAO, A. V.; THOMPSON, L. U. The effect of starch-protein interaction in wheat on the glycemic response and rate of in vitro digestion. Am J. Clin. Nutr., Bethesda, 45:946-51, 1987.
- 54 - JENKINS, D. J. A. & WOLEVER, T. M. S. Slow release carbohydrate and the treatment of diabetes. Proc. Nutr. Soc., Cambridge, 40:227-35, 1981.
- 55 - JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; HOCKADAY, T. D. R. Treatment of diabetes with guar gum. Lancet., London, 11:779-80, 1977.
- 56 - JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; JENKINS, A. L. The glycemic index of food tested in diabetic patients. A new basis for carbohydrate exchange favoring the use of legumes. Diabetologia, Berlin, 24:257-64, 1983.

- 57 - JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; JENKINS, A. L.; GIORDANO, C.; GIUDICCI, S.; THOMPSON, L. U. Low glycemic response to traditionally processed wheat and rye products: bulgur and pumper-nickel bread. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 43:516-20, 1986.
- 58 - JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; JENKINS, A. L.; JOSSE, R. G.; WONG, G. S. The glycaemic response to carbohydrate foods. Lancet, London, 2:388-91, 1984.
- 59 - JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; LEEDS, A. R.; GASSULL, M. A.; HAISMAN, P.; DILAWARI, J. Dietary fibres, fibre analogues and glucose tolerance: importance of viscosity. Br. Med. J., London, 1:1392-4, 1978.
- 60 - JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; NINEHAM, R.; HOCKADAY, T. D. R. Guar crispbread in the diabetic men. Br. Med. J., London, 277:1744-6, 1978.
- 61 - JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; TAYLOR, R. H.; BARKER, H. M.; FIELDEN, H. Exceptionally low blood glucose response to dried beans: comparison with other carbohydrates foods. Br. Med. J., London, 281:578-80, 1980.

- 62 - JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; TAYLOR, R. H.;
BARKER, H. M.; FIELDEN, H.; BALDWIN, J. M.
Glycemic index of foods: a physiological basis for
carbohydrate exchange. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda,
34:362-6, 1981.
- 63 - JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; TAYLOR, R. H.;
BARKER, H. M.; FIELDEN, H.; JENKINS, A.L. Effect of
guar crispbread with cereal products and leguminous
seeds on blood glucose concentrations of diabetes.
Br. Med. J., London, 281:1248-50, 1980.
- 64 - JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; TAYLOR, R. H.;
GHAFARI, H.; JENKINS, A. L.; BARKER, H.; JENKINS, M.
J. A. Rate of digestion and postprandial glycemia
in normal and diabetic subjects. Br. Med. J.,
London, 281: 14-7, 1980.
- 65 - JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; TAYLOR, R. H.;
GRIFFITHS, C.; KRZEMINSKA, K.; LAWRIE, J. A. Slow
release dietary carbohydrate improves second meal
tolerance. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 35:1339-
46, 1982.

- 66 - JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; THORNE, M. J.; JENKINS, A. L.; WONG, G. S.; JOSSE, R. G. The relationship between glycemc response, digestibility and factors influencing the dietary habits of diabetics. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 40:1175-9, 1984.
- 67 - JOOD, S.; METHA, U.; SINGH, R. Effect of processing on available carbohydrates in legumes. J. Sci. Food Agric., London, 34:417-20, 1986.
- 68 - KATARIA, A. & CHAUCHAN, B. M. Contents and digestibility of carbohydrates of mung beans (*Vigna radiata*, L.) as affected by domestic processing and cooking. Qual. Plant. - Plant. Foods Human Nutrition, Boston, 38: 51-9, 1988.
- 69 - KAYISU, K. & HOOD, L. F. Effects of dehydration and storage conditions on the pancreatic alpha amylase susceptibility of various starches. J. Food Sci., 44: Chicago, 1728-31, 1979.
- 70 - KHADER, V. & RAO, S. V. Digestibility of carbohidrates of raw and cooked bengal gram (*Cicer arietinum*), green gram (*Phaseolus aureus*) and horse gram (*Dolichos biflorus*). Food Chem., Barking, 7:267-71, 1981.

- 71 - KIEHM, T. G.; ANDERSON, J. W.; WARD, K. Beneficial effects of a high carbohydrate, high fiber diet on hyperglycemic diabetic men. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 29: 895-9, 1976.
- 72 - KNEEN, E. & SANDSTEDT, R. M. β -Amylase activity and its determination in germinated and ungerminated cereals. Cereal Chem., St. Paul, 18:741-5, 1941.
- 73 - KON, S.; AGNER, J. R.; BECKER, R.; BOOTH, A.N.; ROBINO, D. J. Optimizing nutrient availability of legume food products. J. Food Sci., Chicago, 36:635-9, 1971.
- 74 - KUMAR, K. G. & VENKATARAMAN, L. V.. Studies on the "in vitro" digestibility of starch in some legumes before and after germination. Nutr. Rep. Int., Los Altos, 13: 115-24, 1976.
- 75 - LARSSON, K. & MIEZIS, Y. On the possibility of dietary fiber formation by interaction in the intestine between starch and lipid. Starke, Weinheim, 31(9):301, 1979. Appud: CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr., Cleveland, 20(1):47-67, 1984.

- 76 - MATTSON, S. The cookability of yellow peas. Acta Agric. Suec., Stockholm, 2:185-231, 1946.
- 77 - MIRANDA, P. M. & HORWITZ, D. L. High-fiber diets in the treatment of diabetes mellitus. Ann. Intern. Med., Philadelphia, 88:482-6, 1978.
- 78 - MODI, J. D. & KULKARNI, P. R. "In vitro" digestibility of starches. J. Food Sci. Technol., Mysore, 13:47-8, 1975.
- 79 - O'DEA, K.; NESTEL, P. J.; ANTONOFF, L. Physical factors influencing postprandial glucose and insulin responses to starch. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 33:760-5, 1980.
- 80 - O'DEA, K.; SNOW, P.; NESTEL, P. J. Rate of starch hydrolysis in vitro as a predictor of metabolic responses to complex carbohydrate in vivo. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 34:1991-3, 1981.

- 81 - O'DEA, K. & WONG, S. The rate of hydrolysis in vitro does not predict the metabolic response to legumes in vivo. Am J. Clin. Nutr., Bethesda, 38:382-7, 1983.
- 82 - RADLEY, J. A. The chemistry and physics of macaroni products. Food Manuf., London, 28:11-7, 1953.
Appud: Cereal Chem., St.Paul, 48:706-14, 1971.
- 83 - RANHOTRA, G. S. & GELROTH, J. A. Digestibility of complex carbohydrates and protein in wheat breads. Cereal Chem., St.Paul, 59(6):493-5, 1982.
- 84 - RAO, C. N. & RAO, B. S. N. Influence of starches from different sources on protein utilization in rats. Br. J. Nutr., London, 40:1-4, 1978.
- 85 - RASPER, V.; PERRY, G.; DEUTSCHAEUER, C. L. Functional properties of non-wheat flour substitutes in composite flours. Can. Inst. Food Sci. Technol. J., Ottawa, 7: 166-70, 1974.

- 86 - REICHERT, E. T. The differentiation and specificity in relation to species, genera, etc.: A contribution to the application to stereochemistry to protoplasmic processes. Washington, Carnegie Inst. Washington Publ., n^o 173. Appud: Biochem. J., London, 86:452-62, 1963.
- 87 - ROBERTSON, J. A. Physicochemical characteristics of food and the digestion of starch and dietary fibre during gut transit. Proc. Nutr. Soc., Cambridge, 47:143-52, 1988.
- 88 - ROCKLAND, L. B.; JONES, F. T.; HAHN, D. M. Light and scanning electron microscope studies on dry beans: extracellular gelatinization of lima beans starch in water and a mixed salt solution. J. Food Sci., Chicago, 42: 1204-7, 1977.
- 89 - SANDSTEDT, R. M. The digestibility of high amylose corn starches compared to that of other starches. The apparent effect of the gene on susceptibility to amylase action. Cereal Chem., St.Paul, 39:123-31, 1962.

- 90 - SIMPSON, H. C. R.; LOUSLEY, S.; GREEKIE, M. A high carbohydrate leguminous fibre diet improves all aspect of diabetic control. Lancet, London, 1:1-5, 1981.
- 91 - SINGH, I. Low-fat diet and therapeutic doses of insulin in diabetes mellitus. Lancet, London, 1:422-5, 1955.
- 92 - SNOW, P. & O'DEA, K. Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in food. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 34:2721-7, 1981.
- 93 - TAPPY, L.; WURSCH, P.; RANDIN, J. P.; FELBER, J. P.; JÉQUIER, E. Metabolic effect of pre-cooked instant preparation of bean and potato in normal and diabetic subjects. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 43:30-6, 1986.
- 94 - THORBURN, A. W.; BRAND, J. C.; O DEA, K.; SPARGO, R. M.; TRUSWELL, A. S. Plasma glucose and insulin responses to starchy foods in Australian Aborigenes: a population now at high risk of diabetes. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 46:282-5, 1987.

- 95 - THORBURN, A. W.; BRAND, J. C.; TRUSWELL, A. S. Slowly digested and absorbed carbohydrate in traditional bushfoods: a protective factor against diabetes? Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 46:98-106, 1987.
- 96 - THORNE, M. J.; THOMPSON, L. V.; JENKINS, D. J. A. Factors affecting starch digestibility and the glycemic response with special reference to legumes. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 38:481-8, 1983.
- 97 - VAALER, S.; HANSEN, K. F.; AAGENAES, O. Plasma glucose and insulin responses to orally administered carbohydrate-rich foodstuffs. Nutr. Metab., Basel, 24: 168-75, 1980.
- 98 - WAHLQVIST, M. L.; WILMSHURST, E. G.; MURTON, C. R.; RICHARDSON, E. N. The effect of chain length on glucose absorption and the related metabolism response. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 31:1998-2001, 1978.
- 99 - WALKER, G. J. & HOPE, P. M. The action of some α -amylases on starches granules. Biochem. J., London, 86: 452-62, 1963.
- 100- WOLEVER, T. M. S. & JENKINS, D. J. A. The glycemic index. J. Plant. Foods, London, 4:127-38, 1982.

- 101- WOLEVER, T. M. S. & JENKINS, D. J. A. The use of the glycemic index in predicting the blood glucose response to mixed meals. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 43: 167-72, 1986.
- 102- WOLEVER, T. M. S.; NUTTALL, F. Q.; LEE, R. Prediction of the relative blood glucose response of mixed meals using the white bread glycemic index. Diabetes Care, New York, 8:418-28, 1985.
- 103- WONG, S. & O'DEA, K. Importance of physical form rather than viscosity in determining the rate of hydrolysis in legumes. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 37:66-70, 1983.
- 104- WONG, S.; TRAIANEDES, K.; O'DEA, K. Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in legumes. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 42:38-43, 1985.
- 105- WURSCH, P.; VEDOVO, S. D.; KOELLREUTTER, B. Cell structure and starch nature as key determinants of the digestion rate of starch in legume. Am. J. Clin. Nutr., Bethesda, 43:25-9, 1986.

RESUMO

Avaliando-se, em ratos a glicemia produzida pela ingestão de diferentes alimentos contendo carboidratos complexos e, através de ensaios "in vitro", observou-se que as sementes de leguminosas (feijão e lentilha) produziram menores respostas glicêmicas do que a dos cereais (arroz, pão, macarrão, farelo de trigo, polenta, farinha de milho e extrusado de milho) e dos tubérculos (batata, mandioca, farinha de mandioca e beiju) ($p < 0,05$). Observou-se, ainda correlação positiva entre as respostas "in vivo" e os ensaios de digestibilidade "in vitro" ($r = 0,95$ $p < 0,01$). As causas das diferenças observadas não são ainda bem conhecidas.

Nas análises "in vitro" com feijões que sofreram diferentes tratamentos e por observações ao microscópio óptico, verificou-se que com o aumento do tempo de cocção ocorreu descompactação celular, porém a parede celular que envolve os grânulos não sofreu ruptura. A resistência oferecida à desintegração parece ser um dos possíveis fatores responsáveis pela menor digestibilidade das sementes de leguminosas.

SUMMARY

The determination of postprandial glycemia from ingest of different foods contained complex carbohydrates, "in vivo" and "in vitro" assays, showed that leguminous seeds (bean and lentil) produced lower glycemic responses than those from the cereals (rice, bread, macaroni, wheat bran, porridge corn, cornflakes and corn flour) and the tubercles (potato, cassava, cassava flour and "beiju") ($p < 0,05$). Positive relationship between the "in vivo" responses and the "in vitro" digestibility assays ($r = 0,95$, $p < 0,01$) was observed. The causes of the observed differences were not known yet.

In the "in vitro" analysis, heat treatment and optical microscope with beans were applied. The results from optical microscope revealed that the longer the cooking time was the greater the cell separated. And no damages on bean cell walls were observed. The resistance of cell wall to heat damage could be one of possible factors for the lower digestibility of the leguminous seeds.

FIGURAS E FOTOGRAFIAS

	pág.
1 - Fluxograma para a digestão "in-vitro" do amido	20
2 - Curvas glicêmicas produzidas por ingestão de cereais e alimentos derivados	28
3 - Curvas glicêmicas produzidas por ingestão dos tubérculos e alimentos derivados	31
4- Curvas glicêmicas produzidas por ingestão de sementes leguminosas	34
5 - Médias e desvios padrão das áreas sob as curvas glicêmicas médias produzidas pela ingestão de cereais, tubérculos e leguminosas após 120 e 240 minutos.....	40
6 - Correlação entre a velocidade de hidrólise do amido "in vitro" e pico de glicose no sangue após 1 hora ($r=0,83$, $p<0,01$).....	48

- 7 - Curvas glicêmicas produzidas por ingestão dos feijões que sofreram diferentes tratamentos: A(feijões macerados por 16 horas e cozidos 45 minutos); feijões cozidos sem prévia maceração por: B (45 minutos), C (90 minutos) e D (122 minutos).....52
- 8 - Feijões cozidos durante 15 minutos. Parede celular e presença de grânulos no interior da célula bem definidos. Estrutura tecidual mantida devido ao reduzido tempo de cocção. (Aumento 200X).....56
- 9 - Feijões cozidos durante 45 minutos. Não há estrutura tecidual. Presença somente de células intactas. (Aumento 100X).....57
- 10 - Feijões cozidos durante 122 minutos. Presença de células inteiras, apesar do aumento do tempo de cocção. (Aumento 100 X).....58

- 11 - Feijões cozidos secos e moídos: A- cozidos durante 45 minutos sem prévia maceração; B- cozidos 45 minutos após maceração por 16 horas. Presença de reduzido número de células intactas e predominância de grânulos liberados. (Aumento 100X). Glicemia após 1 hora: far. de feijão ($101 \pm 12 \text{mg\%}$) X feijão cozido e amassado ($102 \pm 8 \text{mg\%}$)60
- 12 - Grânulos de amido de feijão crú, liberados do interior das células. (Aumento 400X) 63
- 13 - Caldo de feijão cozido durante 90 minutos. Presença de amido liberado e algumas células intactas coradas e não-coradas. (Aumento 100X)66

- 14 - Caldo de feijão cozido durante 122 minutos.
Coloração azul intensa, indica presença de
amido liberado. (Aumento 100X).....66
- 15 - Feijões cozidos durante 45 minutos e macera-
dos 16 horas: A - amostra incubada 60 minutos
com pepsina; B - 30 minutos com amiloglicosidi-
dase; C - incubada 60 minutos com pepsina e
posteriormente com amiloglicosidase durante
30 minutos, presença de aumentado número de
células descoradas, indicando a não presença
do amido no interior das células.....71

TABELAS

pág.

1 - Glicemia pós-prandial obtida com diferentes cereais e produtos derivados.....	27
2 - Glicemia pós-prandial obtida com diferentes tubérculos e produtos derivados.....	30
3 - Glicemia pós-prandial obtida com diferentes leguminosas	33
4 - Glicemia média comparativa para cereais, tubérculos e leguminosas	39
5 - Glicose liberada após 30 minutos de hidrólise "in-vitro" e digestibilidade (%)	44
6 - Relação entre as velocidades de hidrólise do amido "in-vitro" e resposta glicêmica após 60 minutos de digestão.....	45
7 - Efeito do tempo de cocção da glicemia pós-prandial.....	51

- 8 - Glicose liberada pela hidrólise do amido
"in vitro" em função do tempo..... 53
- 9 - Efeito do tratamento com pepsina na hidró-
lise do amido "in vitro"..... 67
- 10 - Relação entre as respostas glicêmicas no rato
e as velocidades de hidrólise do amido "in
vitro" 68
- 11 - Efeito da presença de óleo na glicemia..... 74
- 12 - Efeito do óleo na glicose liberada após
30 minutos de hidrólise do amido "in vitro".....75