

Acetilação e funcionalidade das proteínas das amêndoas da munguba (*Pachira aquatica* Aubl)

Acetylation and activities of proteins from munguba (*Pachira aquatica* Aubl) almonds

RIALA6/1346

Claudia Carneiro de AZEVEDO*, Pushkar Singh BORA, Bernadete de Lourdes de Araújo SILVA

*Endereço para correspondência: Departamento de Tecnologia Química e de Alimentos, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, R. Farm. Antônio Leopoldo Batista, 821, Água Fria, João Pessoa, PB, Brasil, CEP: 58051-100, tel: 83 3225-1742, e-mail: claudia_azevedo7@yahoo.com.br
Recebido: 10.02.2010 – Aceito para publicação: 31.03.2011

RESUMO

Neste estudo foram caracterizadas as propriedades funcionais das proteínas da amêndoa de munguba, modificadas quimicamente por acetilação. As amostras do isolado proteico foram alteradas por acetilação, utilizando-se anidrido acético como reagente modificante nas concentrações de 5, 10 e 15%. A extensão da modificação obtida com adição de anidrido acético foi, respectivamente, de 31,09, 72,75 e 81,77%. O efeito de modificação sobre as propriedades funcionais do isolado proteico da munguba e dos derivados acetilados mostrou redução da solubilidade com o aumento do pH até que fossem alcançados seus pontos isoelétricos, respectivamente, em pH 5,0 e 4,0, seguidos por aumentos da solubilização a partir desses pontos. A capacidade de absorção de água e do óleo do isolado proteico nativo foi melhorada após acetilação. Houve aumento da capacidade emulsificante do isolado nativo na região alcalina. As características de atividade e estabilidade de emulsão do isolado proteico foram melhoradas no ponto isoelétrico (pI) e no pH 7,0, após a modificação. A viscosidade do isolado proteico nativo sofreu pouca alteração após a modificação; contudo, a viscosidade tornou-se elevada com o aumento da concentração da solução proteica e diminuída com o aquecimento a 90 °C.

Palavras-chave. munguba, isolado proteico, acetilação, propriedades funcionais.

ABSTRACT

The functional properties of proteins from munguba almonds were characterized after being acetylated. Samples of the purified protein were modified by acetylation using acetic anhydride as a modifier reagent in concentrations of 5, 10 and 15%. The range of the modification obtained with acetic anhydride treatment was 31.09, 72.75 and 81.77%, respectively. The effect of the modification on the functional properties of the purified protein from munguba and the acetylated derivatives showed a reduction in solubility proportionally to the pH increase until reaching the isoelectric points at pH 5,0 and 4,0, respectively, and followed by solubilization enhancement from these points. Water and oil absorptions capacity of the purified native protein was improved after acetylation. After introducing the acetyl group into the native protein, the emulsifying capacity increased in the alkaline region; and the emulsion activity and stability were improved in its isoelectric point (pI) and at pH 7. Acetylation of the native protein caused low alteration on the viscosity; however, an increase of viscosity was observed by rising the concentration of protein solution, and it decreased when heated at 90 °C.

Keywords. munguba, protein isolate, acetylation, functional properties.

INTRODUÇÃO

A população mundial vem crescendo de maneira acentuada, exigindo um melhor aproveitamento dos recursos alimentícios disponíveis. A busca por novas fontes proteicas tem sido realizada em virtude da escassez desse composto em algumas regiões do mundo e a perspectiva de que possa se tornar ainda maior, em função do aumento populacional¹.

Diversos estudos têm sido orientados com diferentes proteínas vegetais, em especial aquelas provenientes de sementes oleaginosas, com o propósito de melhorar suas qualidades como ingredientes nutricionais e funcionais. O conhecimento das propriedades funcionais, dentre as quais temos solubilidade, capacidade de absorção de água e óleo, viscosidade, propriedades emulsificantes e espumabilidade, é importante para definir como essas proteínas podem ser usadas como ingredientes na formulação de alimentos e bebidas na indústria, bem como na substituição da proteína animal mais cara por proteína vegetal de menor custo²⁻⁴.

A modificação química das proteínas, pela acetilação com o uso do anidrido acético, pode ser realizada por várias razões, incluindo a melhoria das propriedades funcionais das proteínas, estando diretamente relacionada com as suas características físico-químicas. A reação das proteínas com anidrido acético resulta em eliminação das cargas positivas dos resíduos de lisina e um aumento correspondente na eletronegatividade⁵. A modificação das proteínas, utilizando reagentes acilantes foi pesquisada e documentada por autores que ressaltaram algum tipo de melhoria na funcionalidade dos alimentos, como, por exemplo, no feijão^{6,7}, castanha-do-pará⁸, grão-de-bico⁹, algaroba¹⁰ e amendoim¹¹.

A munguba (*Pachira aquatica* Aubl) é uma planta que tem distribuição predominante na América Central e na América do Sul. A espécie é bastante cultivada em toda a América tropical, principalmente com fins ornamentais. Apresenta sementes (amêndoas) com altas quantias de proteínas e óleos, eventualmente, consumidas cruas ou como feijões assados¹².

Mesmo sendo uma espécie muito conhecida, não foi encontrado nenhum registro científico sobre a avaliação das propriedades funcionais das proteínas da munguba e a modificação química da mesma por acetilação. Desse modo, o presente estudo tem por finalidade caracterizar as propriedades funcionais das proteínas da amêndoa de munguba, possibilitando sua incorporação como um ingrediente funcional em alimentos.

MATERIAL E MÉTODOS

Matéria-prima

A matéria-prima utilizada no desenvolvimento deste trabalho foram as amêndoas da munguba (*Pachira aquatica* Aubl), extraídas de frutos maduros, coletados no município de João Pessoa, Estado da Paraíba, Brasil. As amêndoas de munguba foram obtidas por meio de quebra manual dos frutos que, em seguida, foram lavados em água corrente e secados em estufa de ar circulante a 40 °C por 24 horas. Posteriormente, as amêndoas foram trituradas em liquidificador doméstico, tamisadas em malha de 48 mesh e desengorduradas com o hexano P.A, por 12 horas em extrator Soxhlet.

Obtenção do isolado proteico

A preparação do isolado proteico foi baseada na metodologia descrita por Koyoro e Powers¹³. Foram preparadas suspensões de farinha desengordurada em água destilada na proporção (1:20), equilibradas em pH 10,0 com hidróxido de sódio 1,0 M, com agitação, em agitador magnético, durante 2 horas. As suspensões obtidas foram centrifugadas a 4 °C por 30 minutos. O sobrenadante foi decantado e filtrado. Mais duas etapas de extrações foram realizadas nos resíduos consecutivos, utilizando-se o mesmo procedimento. Os três sobrenadantes resultantes foram reunidos, o seu volume medido e uma alíquota foi retirada para determinação de proteínas pelo método de Biureto¹⁴. O pH do sobrenadante total foi ajustado a 4,5, com ácido clorídrico 1,0 M, para precipitar as proteínas. O precipitado resultante foi ressuspenso mais uma vez, usando os mesmos procedimentos do início. O sobrenadante resultante da reextração teve seu pH ajustado para 4,5 para a precipitação isoelétrica. As proteínas precipitadas isoelétricamente foram lavadas com água destilada, centrifugadas, liofilizadas e, então, armazenadas sob refrigeração.

Acetilação do isolado proteico

O método descrito por Groninger¹⁵ foi usado para a acetilação do isolado proteico. Amostras foram solubilizadas em água destilada e ajustadas ao pH 8,5 com hidróxido de sódio 1,0 M em baixa temperatura (2-4 °C). O teor proteico de cada amostra, após a solubilização, foi considerado para definir a quantidade de anidrido acético a ser adicionado em diferentes níveis: 5, 10 e 15% (v/p) de proteína. Alíquotas de volumes iguais do reagente foram adicionadas lentamente sob constante agitação no período de uma hora. O pH foi mantido entre 8,0 e 8,5 pela adição de hidróxido de sódio

1,0 M para que apenas o ϵ -amino grupo da lisina seja modificado. A reação foi considerada completa quando o pH se manteve estabilizado (pH 8,0). Após a acilação, as proteínas foram precipitadas isoeleticamente (pH 4,5) com ácido clorídrico 1,0 M e centrifugadas em centrífuga refrigerada a 1.600 x G por 30 minutos. Os precipitados obtidos foram lavados com água destilada para remoção do excesso de reagente remanescente da modificação, recuperados por centrifugação refrigerada (1.600 x G por 30 minutos) e liofilizados.

Extensão de Modificação

O grau de modificação das proteínas da munguba acetiladas foi determinado colorimetricamente de acordo com o método de Beckwith, Paulis e Wall¹⁶, pela avaliação da lisina disponível como derivados coloridos da reação com ninidrina, produzidos num sistema dimetil sulfóxido (DMSO). A absorvância foi medida a 580 nm. A diferença da absorvância entre os derivados DMSO de isolados proteicos modificados em diferentes níveis e o isolado não modificado foi usada como índice do grau de modificação química para acetilação.

PROPRIEDADES FUNCIONAIS

Solubilidade

A solubilidade da proteína foi determinada de acordo com Dench, Rivas e Caygill¹⁷. Amostras equivalentes a 100 mg foram dispersas em 20,0 mL de água destilada. O pH foi ajustado em valores de 2,0 - 10,0 com ácido clorídrico 1,0 M e hidróxido de sódio 1,0 M, sob agitação contínua, em agitador magnético por 30 minutos. As suspensões obtidas foram transferidas quantitativamente para tubos de ensaio graduados e centrifugados a 4.000 x G, por 30 minutos. O conteúdo de proteínas dissolvidas no sobrenadante foi determinado pelo método de Biuret¹⁴.

Capacidade de Absorção de Água e Óleo

A capacidade de absorção de água e óleo foi determinada utilizando o método descrito por Beuchat¹⁸. Amostras equivalentes a 0,25 g em proteínas foram pesadas em tubos de centrífuga graduados. Um volume de 2,5 mL de água destilada ou óleo de soja (marca SOYA, BUNGE ALIMENTOS S.A.) foi acrescentado com subsequente agitação por 1 minuto, em agitador de tubos, até formação de suspensão. Após 30 minutos, com agitações ocasionais, os tubos foram centrifugados a 2.750 x G por 10 min. Os volumes sobrenadantes resultantes

em cada tubo foram medidos. O resultado foi expresso como mL de água ou óleo retido por grama de proteína.

PROPRIEDADES EMULSIFICANTES

Capacidade Emulsificante

A capacidade emulsificante foi determinada usando os métodos descritos por Kato et al.¹⁹ Dispersões das amostras foram preparadas utilizando quantidades equivalentes a 1,0 mg proteínas/mL de água destilada. Sob agitação contínua, em agitador magnético, na temperatura ambiente, o pH foi ajustado para valores de 3,0, 5,0, 7,0 e 9,0 com ácido clorídrico 1,0 M e hidróxido de sódio 1,0 M. Após o equilíbrio ser atingido em cada um desses níveis de pH, prorrogou-se o tempo de agitação por 30 min. Volumes de 50 mL das dispersões foram transferidos para o copo de vidro emulsificador, equipado com eletrodos conectados a um multímetro para registro de corrente elétrica. Em seguida, as dispersões foram agitadas a 10.000 rpm com óleo de soja adicionado em fluxo contínuo (22 mL/minuto) de um balão de separação graduado. A quantidade de óleo necessária para que ocorra a inversão da emulsão, acusada no registrador por queda brusca na corrente elétrica, foi utilizada para a determinação da quantidade de óleo necessária para promover a emulsificação. O resultado foi expresso em mL óleo/100 mg proteínas.

Atividade e Estabilidade da Emulsão

A atividade e a estabilidade de emulsão foram determinadas de acordo com o método descrito por Yasumatsu, Sawada e Moritaka²⁰. Dispersões das amostras de 20 mL foram preparadas utilizando quantidades de 25 mg proteínas /mL água destilada, equilibradas em pH 3,0, 5,0, 7,0 e 9,0, com ácido clorídrico 1,0 M e hidróxido de sódio 1,0 M, sob agitação contínua, em agitador magnético, em temperatura ambiente. Após o equilíbrio ser atingido em cada um desses níveis de pH, procedeu-se a prorrogação do tempo de agitação por 30 minutos. As dispersões foram transferidas para o copo de vidro do emulsificador e 20,0 mL de óleo de soja foram adicionados em seguida. A emulsão, formada a 10.000 rpm durante 1 minuto de agitação, foi transferida rapidamente para tubos de centrífuga e estes centrifugados a 2.750 x G durante 5 minutos. O resultado da atividade de emulsão foi expresso como percentual de emulsão formada no volume total através da equação:

$$A. E (\%) = \frac{\text{Altura da camada emulsificada}}{\text{Altura do conteúdo total}} \times 100$$

A estabilidade de emulsão foi avaliada utilizando a equação acima, após aquecimento da emulsão a 80 °C por 30 minutos, resfriamento em gelo por 15 minutos e centrifugação a 2.750 x G por 5 minutos nos mesmos tubos que continham a emulsão formada na avaliação da atividade de emulsão.

Viscosidade

Dispersões de proteínas foram preparadas nas concentrações de 1, 2 e 3% (p/v). O pH das soluções proteicas foi ajustado para 12 para solubilização das proteínas com agitação, em agitador magnético. Após o equilíbrio ser atingido nesse nível de pH, procedeu-se a prorrogação do tempo de agitação por 30 minutos. A medida da viscosidade foi feita usando um viscosímetro de Ostwald em temperatura ambiente (29 °C) e após aquecimento (90 °C) por 15 minutos. A viscosidade foi expressa como viscosidade relativa.

Análise Estatística

Os resultados foram submetidos à análise estatística com observação das médias e desvios-padrão de 3 repetições cada. Os dados relativos às propriedades funcionais dos isolados proteicos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com as diferenças significativas determinadas pelo teste de Tukey. O nível de probabilidade de erro (p) considerado foi menor que 5%, com o auxílio do programa *SPSS 14.0 for Windows Evaluation Version 2*, de acordo com o método descrito por Maroco²¹.

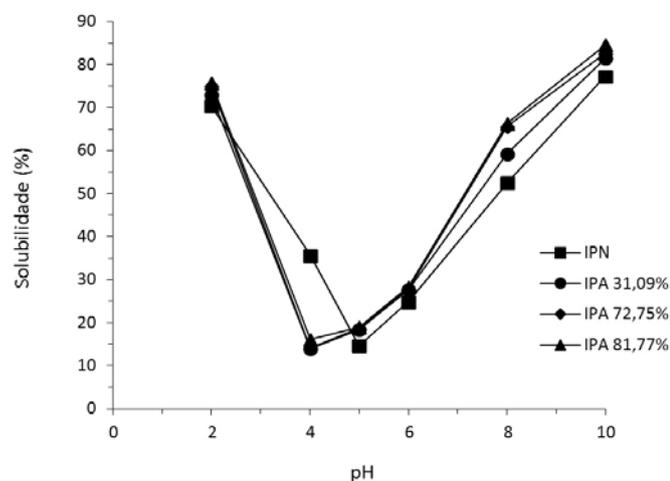


Figura 1. Perfil de solubilidade do isolado proteico nativo (IPN) e acetilato (IPA) de amêndoas de munguba em função dos valores de pH entre 2 e 10

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Extensão da Modificação

Os resultados demonstraram que a extensão da lisina modificada (31,09; 72,75 e 81,77%) aumentou na medida em que se ampliaram as concentrações do anidrido acético, respectivamente em 5, 10 e 15%. A extensão da modificação é essencial para se conseguir as desejadas propriedades funcionais no isolado proteico,^{22,23} o qual depende adicionalmente da acessibilidade aos grupos aminos da proteína para que ocorra a reação química²⁴. Resultados semelhantes foram obtidos por Wanasundara e Shahidi²⁵, com a semente de linho, que encontraram uma extensão de modificação com anidrido acético de 47,4; 70,0 e 84,5%, e por Ramos e Bora⁸, com a castanha-do-pará (58,6; 66,2 e 75,3%).

Solubilidade

Verifica-se na Figura 1 para os derivados acetilados uma solubilidade mínima em pH 4,0, que corresponde a seu ponto isoelétrico (pI). Considerando, ainda, uma redução da solubilidade com o aumento do pH até alcançar seu ponto isoelétrico. A partir deste ponto, observou-se um aumento progressivo da solubilidade para os isolados acetilados, ultrapassando no pH 5,0 a solubilidade do isolado proteico nativo da munguba. As maiores solubilidades foram registradas nos extremos de pH (2,0 e 10,0).

A maior solubilidade encontrada em extremos de pH (ácido e alcalino) para os derivados acetilados se deve à predominância de cargas positivas ou negativas, resultando em forte interação entre a proteína e as moléculas de água, assim como também uma maior repulsão eletrostática, proporcionando um aumento da solubilidade. Os derivados acetilados melhoraram a solubilização do isolado nativo da munguba na faixa de pH de 5,0-10,0. Isso se deve a uma combinação da repulsão da carga intra e intermolecular que promoveu desdobramento da proteína e produziu menos interações proteína-proteína e mais interações proteína-água. Resultados semelhantes à munguba foram encontrados por Lawal, Adebawale e Adebawale²⁶; Ramos e Bora⁸; El-Adawy⁷; Gruener e Ismond²⁷.

Capacidade de Absorção de Água e de Óleo

Os resultados das capacidades de absorção de água (CAA) e óleo (CAO) do isolado proteico nativo da munguba e dos modificados por acetilação encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Capacidades de absorção de água (CAA) e óleo (CAO) do isolado proteico nativo da munguba (IPN) e dos modificados por acetilação (IPA)

Modificação	Grau de Modificação (%)	CAA (mL H ₂ O/g proteína)	CAO (mL óleo/g proteína)
IPN	0	1,49 b ± 0,02	2,37 c ± 0,03
	31,09	1,63 ab ± 0,04	2,72 b ± 0,03
IPA	72,75	1,71 a ± 0,06	2,81 ab ± 0,07
	81,77	1,72 a ± 0,06	2,93 a ± 0,05

Resultados das análises com média de três repetições (± desvio-padrão). Médias seguidas pela mesma letra (na coluna) não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Observou-se um aumento significativo ($p < 0,05$) de 14,77 e 15,44%, respectivamente, no valor da absorção de água para o isolado modificado por acetilação nas seguintes extensões de modificações 72,75 e 81,77% em comparação ao isolado nativo da munguba. A acilação pode causar dissociação e desdobramento das moléculas proteicas, passando a expor grupos mais hidrofílicos que hidrofóbicos, aumentando, assim, os lados hidrófilos para a ligação com a água⁷. De acordo com Beuchat¹⁸, o desdobramento de moléculas de proteína intensificaria a entrada de água, enquanto a dissociação de proteína em subunidades aumentaria potencialmente os locais de ligação com a água. O aumento na capacidade de absorção de água após a acetilação foi reportado para o feijão⁷, aveia²⁸, soja²⁹ e folha de tabaco³⁰.

Os resultados alcançados para a capacidade de absorção de óleo nos isolados proteicos acetilados mostraram um aumento significativo, respectivamente, de 14,77, 18,57 e 23,63% em relação ao isolado nativo em todos os níveis de modificações. O mecanismo de absorção do óleo de uma proteína foi principalmente sugerido como a retenção física de óleo pelas proteínas, sendo a mesma influenciada pela sua hidrofobicidade³¹. O aumento na capacidade de absorção de óleo para o isolado acetilado pode ser atribuído ao fato de que a acetilação leva à introdução de grupos de lipofílicos nas moléculas de proteína³². Melhorias na capacidade de absorção de óleo após acetilação foram também informadas para as proteínas do feijão⁶, amendoim¹¹, e algodão³³.

PROPRIEDADES EMULSIFICANTES

Capacidade Emulsificante

A capacidade emulsificante do isolado proteico nativo da munguba e dos modificados por acetilação está apresentada na Figura 2.

A capacidade de emulsão geralmente segue o perfil de solubilidade, variando em função do pH, como foi observado neste estudo. Aumentos significativos foram encontrados nas capacidades emulsificantes para os isolados acetilados em pH 7 e 9 em relação ao isolado nativo. No pH 5,0 houve apenas um aumento significativo de 31,08% na maior extensão de modificação (81,77%), enquanto em pH 3,0, os derivados acetilados não apresentaram melhoria em comparação ao isolado nativo. O maior percentual de óleo emulsificado no pH 7,0 (145,15 mL óleo/100 mg) correspondeu a um aumento de 53,58%. O maior percentual de óleo emulsificado encontrado para o isolado acetilado em pH 9,0 (176,11 mL óleo/100 mg) correspondeu a um aumento de 72,37%, em comparação à proteína nativa.

O aumento da capacidade emulsificante observado na acetilação dos isolados proteicos da munguba pode

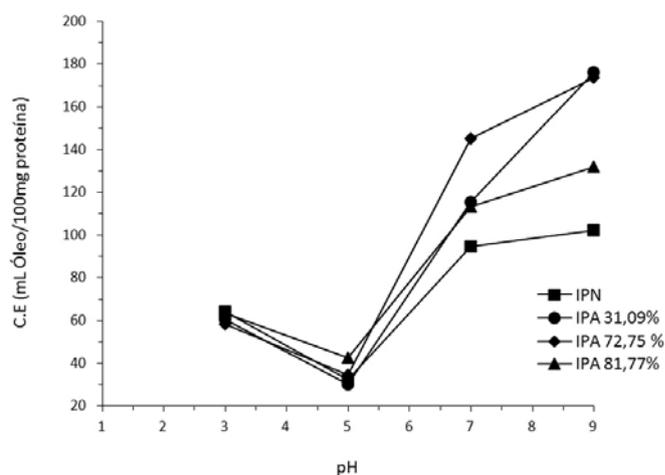


Figura 2. Capacidade de emulsificação do isolado proteico nativo (IPN) e acetilato (IPA) de amêndoas de munguba em função dos valores de pH entre 3,0; 5,0; 7,0 e 9

Tabela 2. Atividade emulsificante do isolado proteico nativo da munguba e dos modificados por acetilação

Isolado Proteico	Atividade Emulsificante (%)			
	pH 3,0	pH 5,0	pH 7,0	pH 9,0
Nativo	46,88 ± 1,33 a	6,23 ± 0,31 b	53,57 ± 1,00 b	62,70 ± 1,37 a
Acetilado 31,09%	46,61 ± 1,82 a	6,37 ± 0,32 ab	57,55 ± 1,20 a	63,12 ± 0,86 a
Acetilado 72,75%	44,12 ± 0,78 ab	7,45 ± 0,39 ab	57,62 ± 0,83 a	63,07 ± 0,59 a
Acetilado 81,77%	43,78 ± 0,86 b	7,55 ± 0,35 a	58,04 ± 0,90 a	62,88 ± 0,89 a

Resultados das análises com média de três repetições (± desvio-padrão). Médias seguidas pela mesma letra (na coluna) não diferem pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 3. Estabilidade da emulsão do isolado proteico nativo da munguba e dos modificados por acetilação

Isolado Proteico	Estabilidade da Emulsão (%)			
	pH 3,0	pH 5,0	pH 7,0	pH 9,0
Nativo	42,03 ± 1,19 a	5,64 ± 0,30 c	51,65 ± 1,18 bc	60,30 ± 1,25ab
Acetilado 31,09%	41,50 ± 0,75 a	6,08 ± 0,29 bc	51,97 ± 0,87 bc	62,38 ± 1,08 a
Acetilado 72,75%	42,28 ± 1,08 a	6,87 ± 0,32 ab	54,46 ± 1,15 ab	58,79 ± 1,25 b
Acetilado 81,77%	42,66 ± 1,08 a	7,20 ± 0,27 a	55,67 ± 1,15 a	62,11 ± 0,80 a

Resultados das análises com média de três repetições (± desvio-padrão). Médias seguidas pela mesma letra (na coluna) não diferem pelo teste de Tukey a 5%

ocorrer em razão do desdobramento das moléculas de proteína, promovido pela acilação das moléculas proteicas, aumentando, assim, a exposição de resíduos lipofílicos e hidrofílicos para a interfase óleo-água, promovendo a redução da tensão de superfície e evitando a coalescência das gotículas de óleo. O menor aumento nas capacidades emulsificantes na região do ponto isoelétrico se deve ao fato de que é nessa região que se tem a menor solubilidade das proteínas e a maior interação proteína-proteína, resultando em baixa hidrofobicidade de superfície. Silva, Bora e Neto¹⁰ reportaram para as sementes de algaroba acetiladas um acentuado aumento na capacidade de emulsificação no pH 3,0, um decréscimo no pH 5,0 e aumento progressivo nos pHs 7,0 e 8,0. Já Ramos e Bora⁸ relataram uma diminuição em pH 3,0 e aumentos em pHs 5,0, 7,0 e 9,0 com o aumento do grau de modificação.

Atividade e Estabilidade da Emulsão

A atividade e estabilidade da emulsão do isolado proteico nativo da munguba e dos modificados por

acetilação estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 2 e 3.

A atividade e a estabilidade emulsificante foram mínimas no pH 5,0. Os maiores valores obtidos para atividade e estabilidade emulsificante foram nos lados ácidos e básicos desse pH. Pôde-se verificar que houve um aumento significativo de 21,19% na atividade emulsificante do isolado acetilado no pH 5,0, no seu maior grau de modificação (81,77%). Nesse mesmo pH, houve um incremento na estabilidade emulsificante de 21,80 e 27,66%, respectivamente, com o isolado acetilado a 72,75 e 81,77%. No pH 7,0, a atividade emulsificante foi melhorada pela acetilação em todas as extensões de modificação, sendo o maior percentual de aumento verificado (8,34%) no seu maior grau de modificação e a estabilidade melhorada neste mesmo pH em 7,78%, também no seu maior grau de modificação. Observou-se, ainda, que a atividade e a estabilidade emulsificante do isolado nativo não foram melhoradas após a acetilação nos pHs 3,0 e 9,0. A atividade e a estabilidade da emulsão

encontrada seguiram um comportamento semelhante com a capacidade emulsificante, sofrendo influência da solubilidade, hidrofobicidade de superfície e flexibilidade molecular. Encontramos resultados semelhantes para as proteínas do linho²⁵, canola²⁷, ervilha⁵ e feijão⁶.

Viscosidade

Os resultados referentes à viscosidade relativa do isolado proteico nativo indicam que houve um aumento da viscosidade com o aumento da concentração da solução proteica em 1, 2 e 3%. O maior valor encontrado para a viscosidade foi 2,51 na temperatura ambiente e em sua maior concentração (3%). Pôde-se observar ainda que após o aquecimento a 90 °C, o isolado nativo sofreu pouca alteração em sua viscosidade.

Verificou-se que semelhantemente ao isolado proteico nativo houve um aumento da viscosidade relativa dos isolados proteicos acetilados com o crescimento da concentração proteica. Observou-se um aumento significativo de 11,68 e de 5,58% na viscosidade relativa da proteína acetilada na temperatura ambiente e na menor extensão do isolado acetilado (31,09%), na concentração de proteína de 1 e 3%, respectivamente. Uma diminuição da viscosidade relativa das amostras foi observada após o aquecimento a 90 °C.

De acordo com Cheftel, Cuq e Lorient³⁴, a viscosidade da maior parte dos fluidos proteicos aumenta exponencialmente com a concentração proteica, estando em concordância aos relatos deste estudo. Relatos similares foram apresentados por Sze-Tao e Sathe³⁵, Dua, Mahajan e Mahajan³⁶.

CONCLUSÃO

As propriedades funcionais das proteínas de amêndoas da munguba modificadas por acetilação foram caracterizadas neste estudo. Os perfis de solubilidade mostraram-se dependentes da variação de pH. A modificação química melhorou a solubilidade do isolado nativo tanto no seu ponto isoelétrico (pI) como na região alcalina, sendo apropriado para o uso em produtos de padaria, massas em geral e alimentos semissólidos. As capacidades de absorção de água e do óleo do isolado proteico nativo da munguba foram melhoradas após a modificação, sendo indicadas em alimentos como sopas e carnes. Os resultados obtidos na acetilação das propriedades emulsificantes favorecem a sua utilização em alimentos com alto desempenho de emulsificação do

óleo, como salsichas e maionese. A viscosidade relativa aumentou com o aumento da concentração da solução proteica. As mudanças na funcionalidade da proteína da amêndoa de munguba acetilada sugerem, pois, o seu aproveitamento como uma nova fonte de ingrediente proteico na indústria de alimentos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal da Paraíba (UFPB) pela utilização dos Laboratórios do Departamento de Tecnologia Química e de Alimentos (DTQA) do Centro de Tecnologia e a todos que contribuíram na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. Ribeiro EP, Seravalli EA. G. Química de Alimentos. 2ª ed. São Paulo (SP): Edgard Blucher; 2007.
2. Tang CH. Functional properties and in vitro digestibility of buckwheat protein products: Influence of processing. *J Food Eng*. 2007; 82(4): 568-76.
3. Aluko R, Yada RY. Structure–function relationships of cowpea (*Vigna unguiculata*) globulin isolate: influence of pH and NaCl on physicochemical and functional properties. *Food Chem*. 1995; 53(3): 259-65.
4. Onweluzé JC, Obanu ZA, Onuoha KC. Functional properties of some lesser-known tropical legumes. *J Food Sci Technol*. 1994; 13:302-06.
5. Johnson EA, Brekke J. Functional properties of acylated pea protein isolates. *J Food Sci*. 1983; 48: 722-5.
6. Lawal OS, Adebawale KO. The acylated protein derivatives of *Canavalia ensiformis* (jack bean): A study of functional characteristics. *LWT*. 2006; 39(8): 918-29.
7. El-Adawy TA. Functional properties and nutritional quality of acetylated and succinylated mung bean protein isolate. *Food Chem*. 2000; 70(1): 83-91.
8. Ramos CMP, Bora PS. Functional characterization of acetylated brazil nut (*Bertholletia excelsa* HBK) kernel globulin. *Ciênc Tecnol Aliment*. 2004; 24(1): 134-8.
9. Liu LH, Hung TV. Functional properties of acetylated chickpea proteins. *J Food Sci*. 1998; 63: 331-7.
10. Silva JB, Bora OS, Neto V. Caracterização de propriedades funcionais do isolado protéico de semente de algaroba (*Prosopis juliflora*) modificado por acetilação. *Ciênc Tecnol Aliment*. 1997; 17(3): 263-9.
11. Monteiro PV, Prakash V. Alteration of functional properties of peanut (*Arachis hypogaea* L) protein fractions by chemical and enzymatic modifications. *J Food Sci*. 1996; 33(1): 16-9.
12. Oliveira JTA, Vasconcelos IM, Bezerra LCNM, Silveira SB, Monteiro ACO, Moreira RA. Composition and nutritional properties of seeds from *Pachira aquatica* Aubl, *Sterculia striata* StHil et Naud and *Terminalia catappa* Linn. *Food Chem*. 2000; 70(2): 185-91.

13. Koyoro H, Powers JR. Functional properties of peas globulin fractions. *Cereal Chem*. 1987; 64(2): 97-101.
14. Gornall AG, Bordawill CS, David M M. The determination of protein by the biuret reaction. *J Biol Chem*. 1949; 177:751-80.
15. Groninger HS. Preparation and Properties of Succinylated Fish Myofibrillar Protein. *J Agr Food Chem*. 1973; 21(6): 978-81.
16. Beckwith AC, Paulis JW, Wall JS. Direct estimation of lysine in corn meals by the ninhydrin color reaction. *J Agr Food Chem*. 1975; 23(2): 194-6.
17. Dench JE, Rivas RN, Caygill JC. Selected functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) flour and two protein isolates. *J Sci Food Agr*. London. 1981; 32(6): 557-64.
18. Beuchat LR. Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *J Agr Food Chem*. 1977; 25(2): 258-61.
19. Kato A, Takahashi A, Matsudomi N, Kobayashi K. Determination of emulsifying properties of some proteins by conductivity measurements. *J Food Sci*. 1985; 50(1): 50-62.
20. Yasumatsu K, Sawada K, Moritaka S. Whippings and emulsifying properties of soy bean products. *Agr Biol Chem*. 1972; 35(5):719-27.
21. Maroco J. Análise estatística – com utilização do SPSS. Lisboa: Ed. Sílabo; 2003.
22. Paulson AT, Tung MA. Emulsification properties of succinylated canola protein isolates. *J Food Sci*. 1998; 53(3): 818-20.
23. Krause JP, Schwenke KD. Relationship between adsorption and emulsifying properties of acetylated protein isolates from faba beans (*Vicia faba* L.). *Nahrung*. 1996; 40: 12-7.
24. Krause JP. Comparison of the effect of acylation and phosphorylation on surface pressure, surface potential and foaming properties of protein isolates from rapeseed (*Brassica napus*). *Ind Crop Prod*. 2002; 15(3): 221-8.
25. Wanasundara PKJP.; Shahidi, F. Functional Properties of Acylated Flax Protein Isolates. *J Agr Food Chem*. 1997; 45(7): 2431-41.
26. Lawal OS, Adebawale KO, Adebawale YA. Functional properties of native and chemically modified protein concentrates from bambarra groundnut. *Food Res Int*. 2007; 40(8): 1003-11.
27. Gruener LE, Ismond MA. H. Effects of acetylation and succinylation on the functional properties of the canola 12s globulin. *Food Chem*. 1997; 60(3): 357-63.
28. Ponnampalam R, Goulet G, Amiot J, Chamberland B, Brisson G J. Some functional properties of acetylated and succinylated oat protein concentrates and a blend of succinylated oat protein and whey protein concentrates. *Food Chem*. 1988; 29: 109-18.
29. Fernández-Quintela A, Macarulla MT, Del Barrio AS, Martínez JA. Composition and functional properties of protein isolates obtained from commercial legumes grown in northern Spain. *Plant Foods for Human Nutr*. 1997; 51: 331-42.
30. Sheen SJ. Effect of succinylation on molecular and functional properties of soluble tobacco leaf proteins. *J Agr Food Chem*. 1991; 39(6): 1070-4.
31. Wang JC, Kinsella E. Functional properties of novel proteins, alfa-alfa leaf proteins. *J Food Sci*. 1976; 41: 286-92.
32. Narayana K, Narasinga Rao, MS. Effect of acetylation and succinylation on the functional properties of winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*) flour. *J Food Sci*. 1984; 49: 547-50.
33. Choi YR, Lusas EW, Rhee KW. Succinylation of cotton seed flour. Effect on functional properties of protein isolates prepared by modified flour. *J Food Sci*. 1981; 46: 954 -5.
34. Cheftel JC, Cuq JL, Lorient D. Proteínas alimentares: bioquímica, propiedades funcionais, valor nutritivo e modificações químicas. Zaragoza: Acribia; 1989. 339 p.
35. Sze-Tao KWC, Sathe SK. Functional properties and in vitro digestibility of almond (*Prunus dulcis* L.) protein isolate. *Food Chem*. 2000; 69(2): 153-60.
36. Dua S, Mahajan A, Mahajan A. Improvement of functional properties of rapeseed (*Brassica campestris* Var. Toria) preparation by chemical modification. *J Agr Food Chem*. 1996; 44: 706-10.