

**EMPREGO DA RELAXAÇÃO NUCLEAR E CLAE NA AVALIAÇÃO DO FRUTO TUCUMÃ  
(*Astrocaryum vulgare*, Mart.) IRRADIADO  
USE OF THE NUCLEAR RELAXATION AND HPLC IN THE EVALUATION OF THE  
TUCUMAN (*Astrocaryum vulgare*, Mart.) IRRADIATED FRUIT**

Keila dos Santos Cople LIMA<sup>1</sup>, Antonio Luís dos Santos LIMA<sup>1</sup>, Leandro Moreira ARAUJO<sup>2</sup>,  
Maria Inês Bruno TAVARES<sup>3</sup>, Ronel Luiz de Oliveira GODOY<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Professor – Instituto Militar de Engenharia – IME.

<sup>2</sup>Estudante de Doutorado em Engenharia Nuclear – UFRJ

<sup>3</sup>Professora Associada - IMA - UFRJ

<sup>4</sup>Pesquisador – Embrapa Agroindústria de Alimentos - CTAA

Palavras-chave: Irradiação Gama, Aminoácidos, Óleos, RMN, CLAE.

### **Introdução**

O Tucumã (*Astrocaryum vulgare*, Mart) é uma drupa ovóide, com mesocarpo fibroso e de coloração amarelo-alaranjada quando maduro, nativo dos estados do Amazonas, Pará, Maranhão e Tocantins, muito apreciado pela população local, sendo consumido principalmente *in natura* (Lorenzi et al., 2006). Considerado como uma boa fonte de carotenóides, com maior concentração de  $\beta$ -caroteno, o principal precursor da vitamina A. A Técnica de Ressonância Magnética Nuclear (RMN) é baseada na detecção de espécies que apresentam spin magnético total  $I > 0$ . Em geral o fenômeno é observado em isótopos com números ímpares de prótons ou nêutrons. O hidrogênio é a espécie mais explorada em aplicações de RMN por causa da sua grande abundância isotópica e sensibilidade (Silverstein et al., 2007). A RMN de Baixo Campo (frequências abaixo de 60 MHz) é uma técnica que se aplica aos núcleos de  $^1\text{H}$  de espécies químicas no estado líquido ou sólido.

O processo de irradiação de alimentos no Brasil apresenta-se bastante promissor pela sua contribuição com a redução das perdas pós-colheita. Dentre os benefícios da irradiação de alimentos, estão: a desinfestação de grãos de cereais e leguminosas, controle de microorganismos patogênicos, aumento da vida de prateleira de carnes, frutas, vegetais, raízes e tubérculos, retardamento da maturação dos frutos, eliminação de pragas, inibição do brotamento de tubérculos e bulbos entre outros (Lima et al., 2003).

No Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) autorizou o uso de fontes de emissão de raios gama (cobalto-60 e césio-137), raios X (energia até 5 MeV) e aceleradores de elétrons (energia até 10 MeV) para estudos de irradiação de alimentos.

O objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos de diferentes doses de radiação gama (0,0; 0,5; 1,0; 2,0 kGy) em amostras de Tucumã, dividido em controle (não irradiado) e irradiado. As avaliações foram feitas utilizando as técnicas de RMN de baixo campo e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE).

### **Material e Métodos**

O fruto foi comprado no estado ideal para o consumo na cidade de Belém, no Estado do Pará, Brasil. Em seguida, eles foram embalados em sacos de polietileno de baixa densidade (LDPE), acondicionados em caixas de papelão e enviados ao Rio de Janeiro, cidade onde o presente estudo foi realizado.

O processo de irradiação foi realizado na Seção de Defesa Nuclear do Exército Brasileiro, utilizando um irradiador de pesquisa do tipo cavidade, que possui uma fonte de Cs-137 e taxa de dose máxima de 1,6 kGy/h, equipado com um aparelho de auto-retirada controlado por um sistema eletro-eletrônico, portas móveis blindadas e outros sistemas de segurança, incluindo dispositivos lógicos e configuração estável que pode garantir um perfeito funcionamento, eliminando qualquer possibilidade de exposição acidental à fonte radioativa.



As amostras de Tucumã foram divididas em controle (não irradiado) e irradiadas (doses de 0,5; 1,0 e 2,0 kGy). A análise de RMN de baixo campo foi realizada no Laboratório de Ressonância Magnética Nuclear do Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano (IMA/UFRJ) com um espectrômetro de RMN modelo Maran Ultra 23 MHz. A frequência de observação foi de 23 MHz, as larguras dos pulsos de 90° e de 180° foram de 5 µs e 10 µs, respectivamente, e o intervalo entre os pulsos foi de 5 s, com faixa de  $\tau$  de 100-5000000. A temperatura foi controlada em 25°C, o número de pontos foi de 40 com 4 acúmulos por ponto. A análise de CLAE foi realizada nos laboratórios de cromatografia da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Agroindústria de Alimentos, Guaratiba, RJ com um sistema cromatográfico modelo Alliance 2695. Todos os dados obtidos por RMN baixo campo e CLAE foram submetidos ao teste F com nível de confiança (NC) de 95%. Uma vez detectado variância significativa entre as médias aplicou-se o teste de Tukey para determinação das doses que variaram significativamente em relação ao controle para 95% NC.

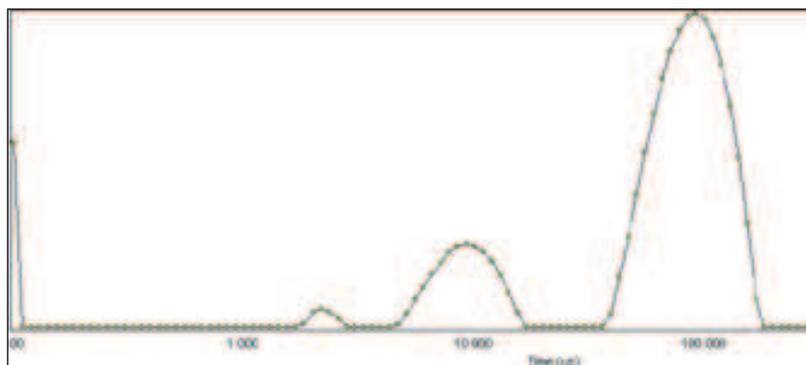
## Resultados e Discussão

Os resultados mostram que o estudo dos domínios do fruto Tucumã através da determinação dos tempos de relaxação longitudinal do hidrogênio ( $T_1H$ , ou simplesmente,  $T_1$ ) pela RMN de baixo campo prova ser uma técnica rápida, não destrutiva, eficiente e confiável. A técnica é utilizada em determinações quantitativas de forma não destrutiva e não invasiva empregando pouca instrumentação, de forma rápida e com o mínimo de amostras, preservando assim sua constituição e natureza. O tempo de relaxação longitudinal é influenciado pela mobilidade molecular da amostra e retrata informações que compreendem domínios que variam de 25 a 40 nm.

Nas amostras da casca e polpa, que são o epicarpo e o mesocarpo do fruto, respectivamente, o domínio com o menor valor de  $T_1$  está relacionado com a intensidade da água, de aproximadamente 20%. Os resultados mostraram que o epicarpo e mesocarpo do tucumã possuem um elevado teor de água. O domínio com valor intermediário de  $T_1$  é relacionado aos óleos e o domínio com o maior valor de  $T_1$  representa os polissacarídeos e as fibras, abundantes na polpa do fruto. Os valores de referência para água, lipídios e polissacarídeos foram observados no trabalho de Preto et al. (2011).

O endocarpo é a parte do fruto com mobilidade intermediária. O domínio que controla a relaxação do endocarpo apresentou uma intensidade de aproximadamente 73% e é atribuída aos óleos. A técnica foi capaz de mostrar de forma eficaz que o endocarpo é a parte do fruto com menos água, um fato inerente ao endocarpo de drupas.

A semente é a parte do fruto com menor mobilidade e maior teor de óleo, com abundância de cerca de 75%. Também apresenta o domínio de maior rigidez de todo o fruto, com intensidade de 9%, atribuídos às fibras e polissacáridos. Os resultados mostram que os componentes com maior concentração em todas as partes do tucumã são os óleos. A figura 1 mostra as curvas de domínios, com três exponenciais, do endocarpo do tucumã.



**Figura 1.** Distribuição dos domínios do endocarpo do tucumã para ajuste de três exponenciais.



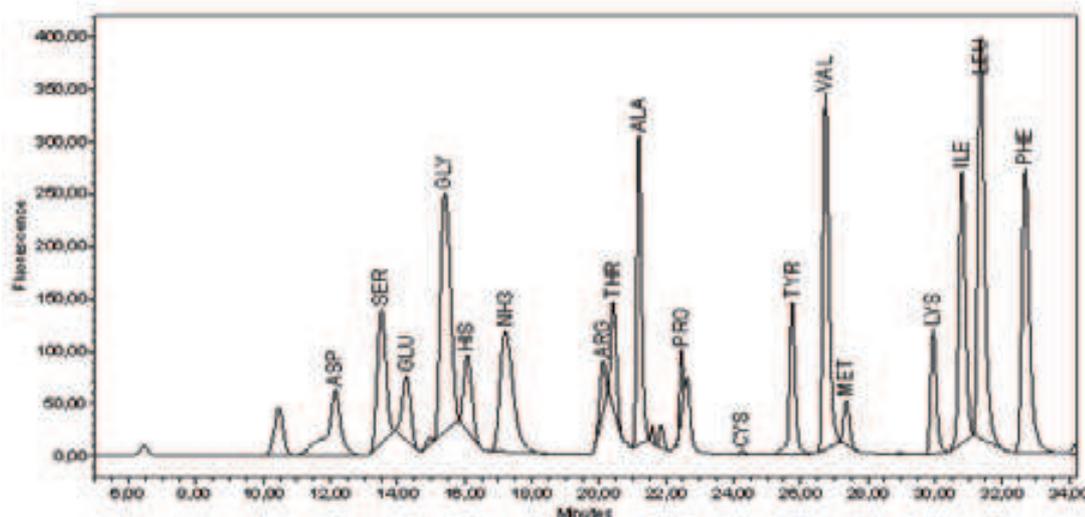
As amostras do epicarpo e mesocarpo irradiadas com uma dose de 2,0 kGy mostraram uma redução significativa ( $p < 0,05$ ) no seu teor de água (11%). Este resultado pode ser explicado pela influência da radiação sobre a permeabilidade seletiva da membrana plasmática das células, levando-as a liberar mais água para o ambiente extracelular, fato evidenciado pelo significativo decréscimo no valor do  $T_1$  do terceiro domínio, relativo aos polissacarídeos e fibras, para 2,0 kGy. O segundo domínio, relativo aos óleos, não apresentou alteração significativa em seu tempo de relaxação e intensidade ( $p < 0,05$ ). A tabela 1 mostra os valores do  $T_1$  e intensidades para as amostras do epicarpo e mesocarpo não irradiado (controle) e irradiados com as doses de 0,5 kGy, 1,0 kGy e 2,0 kGy. De acordo com o teste F com 95% NC não houve alteração dos valores de  $T_1$  nos domínios do endocarpo irradiado em relação ao teor de água. O mesmo resultado ocorreu no segundo domínio, que representa os óleos e no terceiro, representativo dos polissacarídeos e fibras. A mobilidade molecular da água nas amostras da semente demonstrou um aumento nos domínios 1 e 3 em relação ao controle, especialmente na dose de 2,0 kGy. As intensidades dos domínios correspondentes à água reduziram com o aumento da dose de irradiação, enquanto que a intensidade dos óleos, polissacarídeos e as fibras não mostrou nenhuma variação significativa em relação ao controle.

**Tabela 1.** Valores médios do  $T_1H$  e intensidades do epicarpo e mesocarpo do tucumã controle (não irradiado) e irradiado nas doses de 0,5, 1,0 e 2,0 kGy.

Controle		0,5 kGy		1,0 kGy		1,0 kGy	
$T_1$ (ms)	Int (%)						
15	19	19	18	15	18	14	11
68	50	69	53	67	49	55	55
238	31	245	30	212	33	202	34

As análises dos aminoácidos foram realizadas no epicarpo e mesocarpo do tucumã por CLAE nas amostras controle e irradiadas. Foram detectados 15 aminoácidos, e destes, 7 essenciais constituídos por isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina, treonina, histidina e valina; e os não essenciais alanina, arginina, ácido aspártico, ácido glutâmico, glicina, prolina, serina e tirosina. A Figura 2 mostra um cromatograma dos aminoácidos do tucumã.

As concentrações de aminoácidos essenciais nas amostras controle e irradiadas estão representadas na Tabela 2. Os teores de Aminoácidos não essenciais estão na Tabela 3.



**Figura 2.** Cromatograma de aminoácidos do epicarpo e mesocarpo do tucumã.



**Tabela 2.** Concentrações dos aminoácidos essenciais em 100g de polpa de tucumã.

Aminoácidos	Doses e concentrações em g/100g da amostra			
	Controle	0,5 kGy	1,0 kGy	2,0 kGy
Essenciais				
Histidina (HIS)	0,065	0,075	0,065	0,070
Isoleucina (ILE)	0,055	0,060	0,050	0,060
Leucina (LEU)	0,090	0,100	0,085	0,105
Lisina (LYS)	0,070	0,070	0,065	0,085
Fenilalanina (PHE)	0,075	0,085	0,070	0,080
Treonina (THR)	0,055	0,040	0,040	0,045
Valina (VAL)	0,075	0,080	0,075	0,090

**Tabela 3.** Concentrações de aminoácidos não essenciais em 100g de polpa de tucumã.

Aminoácidos	Doses e concentrações em g/100g da amostra			
	Controle	0,5 kGy	1,0 kGy	2,0 kGy
Não Essenciais				
Alanina (ALA)	0,035	0,070	0,060	0,080
Arginina (ARG)	0,040	0,030	0,030	0,035
Ácido Aspártico (ASP)	0,150	0,140	0,135	0,170
Ácido Glutâmico (GLU)	0,125	0,155	0,140	0,190
Glicina (GLY)	0,215	0,245	0,225	0,285
Prolina (PRO)	0,025	0,030	0,020	0,035
Serina (SER)	0,085	0,100	0,085	0,105
Tirosina (TYR)	0,100	0,100	0,080	0,105

O tucumã apresenta teores consideráveis de aminoácidos essenciais (Araujo, 2009). A recomendação da ingestão diária de aminoácidos essenciais segundo IOM (2004) para a histidina é de 18mg/g de proteína, a concentração desse aminoácido no fruto é cerca de 43% da recomendação para 100g de polpa. A lisina, que é um aminoácido limitante, atinge cerca de 15% da recomendação em 100g de polpa, caracterizando o fruto como uma boa fonte complementar de histidina. O mesmo acontece para os outros aminoácidos essenciais, conforme mostrado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Recomendação da ingestão de aminoácidos essenciais em 100g de polpa de tucumã.

Aminoácidos	DRI Proteína (mg/g)	DRI Polpa (g/100g)	Recomendação (%)
Histidina	18	0,152	43
Isoleucina	25	0,211	26
Leucina	51	0,430	21
Lisina	55	0,464	15
Fenilalanina + Tirosina	47	0,400	44
Treonina	27	0,228	24
Valina	32	0,270	28

Segundo teste F com nível de confiança de 95% aplicada nas concentrações de cada um dos 15 aminoácidos analisados, não houve perdas significativas resultantes do processo de irradiação, o que prova que a irradiação pode ser empregada para fins de conservação do fruto até a dose de 2,0 kGy sem perdas significativas, resultado semelhante foi obtido por Lima et al. (2003) no qual a riboflavina se manteve estável para a dose de 2,0 kGy. Os resultados obtidos nesse trabalho estão de acordo com Diehl (1990), que conclui que proteínas e enzimas parecem permanecer estáveis após tratamento com radiação gama.

## Conclusão

A espectroscopia de ressonância magnética nuclear é uma técnica não invasiva aplicável a uma grande variedade de alimentos e que serve como uma ferramenta para caracterização

da composição química dos frutos. Neste trabalho, a técnica foi usada para mostrar que a polpa do tucumã contém grande quantidade de água e que a semente apresenta os lipídios como seus constituintes majoritários. Também foi observado que as amostras do epicarpo e mesocarpo irradiadas com doses de 2.0 kGy mostraram uma redução significativa ( $p < 0.05$ ) no seu conteúdo de água (11%). Este resultado pode ser compreendido como a influência da radiação sobre a permeabilidade seletiva da membrana plasmática das células vegetais. Não houve variação nos valores de  $T_1$  nos domínios do endocarpo irradiado em relação à água, lipídeos e os polissacáridos e fibras. A mobilidade molecular da água nas amostras de sementes demonstraram um aumento nos domínios 1 e 3 em relação ao controle, especialmente para a dose de 2.0 kGy.

O tucumã é uma fonte apreciável de aminoácidos essenciais e não essenciais. Todos os 15 aminoácidos identificados permaneceram estáveis nas doses de radiação aplicadas, reforçando que a radiação gama pode ser empregada para fins de conservação do fruto até a dose de 2,0 kGy sem variações significativas nos teores de aminoácidos.

### Referências Bibliográficas

1. ARAUJO, L. M. **Efeitos de baixas doses de radiação gama no fruto tucumã (*Astrocarym vulgare Mart.*)**. Dissertação, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro & Brasil (2009).
2. DIEHL, J. F. **Safety of irradiated foods**. New York and Basel: Marcel Dekker, Inc., v. 36, 1990.
3. IOM. National Academy of Sciences. **Dietary Reference Intakes (DRIs): Recommended Intakes for Individuals, Vitamins**. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, 2004.
4. LIMA, A. L. S. ; LIMA, K. S. C. ; ARAUJO, L. M. ; PACHECO, S. ; GODOY, R. L. O. **Aplicação de Baixas Doses de Radiação Ionizante no Fruto Brasileiro Tucumã (*Astrocarym vulgare Mart.*)**. Acta Amazonica (Impresso), v. 41, p. 377-381, 2011.
5. LIMA, K. S. C.; LIMA, A. L. S.; LUCHESE, R. H.; GODOY, R. L. O.; SABAA-SRUR, A. U O. **"Cenouras minimamente processadas em embalagens com atmosferas modificadas e tratadas com radiação gama: avaliação microbiológica, físico-química e química"**, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Volume 23, n.2, pp. 240-250 (2003).
6. LORENZI, H.; BACHER, L.; LACERDA, M.; SARTORI, S. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas**. 4ed. São Paulo: Instituto Plantarum Nova Odessa, São Paulo & Brasel, 2006.
7. PRETO, M. S. M., TAVARES, M. I. B., SEBASTIÃO, P. J. O. **Caracterização dos constituintes poliméricos da *Maytenus ilicifolia* por relaxação nuclear de  $^1\text{H}$  por RMN no Estado Sólido**. *Polímeros*, vol. 21, n° 5, p. 416-420, 2011.
8. SILVERSTEIN, R. M., WEBSTER, F. X. KIEMLE, D. J. **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**. 7ª.ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2007.

Autor a ser contatado: Leandro Moreira Araujo, Doutorando em Engenharia Nuclear – COPPE, UFR. Endereço: Rua Padre Boss, 81. CEP 21240180, Jardim América, Rio de Janeiro, RJ. e-mail: leandrokill9@hotmail.com