

**CIRCULAR TÉCNICA**

ISSN 1413-9545  
dezembro, 1996

Número 5/96

**NOVO MÉTODO PARA AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DO  
INTERIOR DE FRUTAS**

Clovis I. Biscegli  
Sílvia Crestana



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*

*Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária*

*Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

*Rua XV de Novembro, 1452 - Caixa Postal 741 - CEP 13560-970 - São Carlos - SP*

*Telefone: (016) 274 2477 - Fax: (016) 272 5958*

CIRCULAR TÉCNICA N° 5

ISSN 1413-9545

dezembro, 1996

**USO DE NOVO MÉTODO PARA AVALIAÇÃO NÃO-  
DESTRUTIVA DO INTERIOR DE FRUTAS**

Clovis I Biscegli

Silvio Crestana

## **AGRADECIMENTOS**

Aos Profs. Drs. H. C. Panepucci, Tito J. Bonagamba, Alberto Tannus, ao Dr. Mateus J. Martins, ao MSc Edson L. G. Vodotto, (IFSC-USP, São Carlos) e aos Drs. Robert Kauten e Donald R. Nielsen (University of California-Davis) pela colaboração e às instituições FAPESP, CNPq, FINEP, IFSC-USP e EMBRAPA/CNPDI, pelo apoio.

## SUMÁRIO

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| INTRODUÇÃO.....                 | 4  |
| OS EQUIPAMENTOS.....            | 5  |
| OS RESULTADOS.....              | 7  |
| CONCLUSÕES.....                 | 11 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 12 |

## **USO DE NOVO MÉTODO PARA AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DO INTERIOR DE FRUTAS**

Clovis I Biscegli<sup>1</sup>

Silvio Crestana<sup>1</sup>

### **INTRODUÇÃO**

Conhecer o interior de um objeto, sem destruí-lo, através de informações tomadas do lado externo foi, indubitavelmente, uma das maiores conquistas científicas das últimas três décadas. A técnica que tornou isto possível ficou conhecida como Tomografia Computadorizada de raios-X (TC), e tem sido empregada originalmente e principalmente em medicina e em certas aplicações industriais. Ultimamente a TC foi estendida para solos, plantas, raízes e frutas (Crestana et al, 1996).

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados da aplicação da Tomografia de ressonância magnética (TORM), a alguns casos de interesse da Agricultura e Engenharia de Alimentos. São exemplos, os danos em frutas causados por: secas e geadas, por podridões, por larvas e fungos e a caracterização do estado de maturação. A imagem obtida por TORM mostra a distribuição espacial dos prótons no seu ambiente químico e no caso de frutas, são predominantemente detectados os prótons de hidrogênio da água. A imagem obtida depende de

---

<sup>1</sup> Físico, PhD, EMBRAPA-CNPDIA, Cx. P. 741, CEP 13560-970 São Carlos, SP

algumas variáveis, como a concentração de moléculas que contém prótons, os tempos de relaxação  $T_1$  e  $T_2$ , da difusão, o tipo de seqüência e duração de pulsos. Diferenças nos tempos de relaxação dos prótons entre vários tecidos biológicos contribuem significativamente na aparência da imagem.  $T_1$  tem dimensão de tempo e é chamado de **tempo de relaxação spin-rede**. Ele representa o tempo que a energia leva para ser transferida para outros graus de liberdade, ou seja, o tempo que o sistema de prótons demora para atingir o equilíbrio. Valores grandes de  $T_1$  (minutos ou horas) significam uma relaxação muito lenta. O termo **rede** é conveniente porque no caso de sólidos o processo de relaxação de fato envolve as vibrações da rede cristalina, mas de forma geral, **rede** se refere também a outros graus de liberdade do sistema e não somente àqueles relacionados com o sistema de prótons.  $T_2$  também tem dimensão de tempo e é conhecido como **tempo de relaxação transversal**. As duas formas de relaxação são causadas por campos magnéticos ou elétricos dependentes do tempo na região dos prótons, campos estes que têm origem no movimento térmico aleatório, os quais estão presentes em qualquer forma de matéria.

Chen et al (1989), Crestana et al (1990) e mais recentemente Sonogo et al (1995) demonstraram com sucesso o uso da imagem por TORM para a avaliação da qualidade interna de frutas. Outras aplicações da TORM incluem o estudo da transmissão de calor na indústria de conservação assim como avaliações de processos de transporte e de armazenamento em fruticultura, conforme demonstrado em Crestana et al., (1990). Também são muito promissoras as possibilidades do uso da TORM para a detecção de infestação por moscas-das-frutas como em manga e laranja.

## OS EQUIPAMENTOS

Para a realização dos experimentos foram usados tomógrafos de ressonância magnética instalados em locais diferentes.

As imagens de frutos sadios de maçã, nectarina e pêsego foram obtidas através dos espectrômetros de transformada de Fourier de RMN-General Electric CSI-2 (Figura 1), pertencentes às Universidades da Califórnia-Davis e Duke-Carolina do Norte, nos Estados Unidos.

Outras imagens foram obtidas com mangas e laranjas infestadas com moscas-das-frutas no tomógrafo com imã de 2 Tesla do Instituto de Física de São Carlos-USP. Este espectrômetro está baseado em microcomputador e módulos eletrônicos, softwares de controle, de aquisição e reconstrução de imagens através da transformada rápida de Fourier (FFT) desenvolvidos e construídos a partir do trabalho pioneiro de Panepucci et al, (1985), e Tannus, (1987).

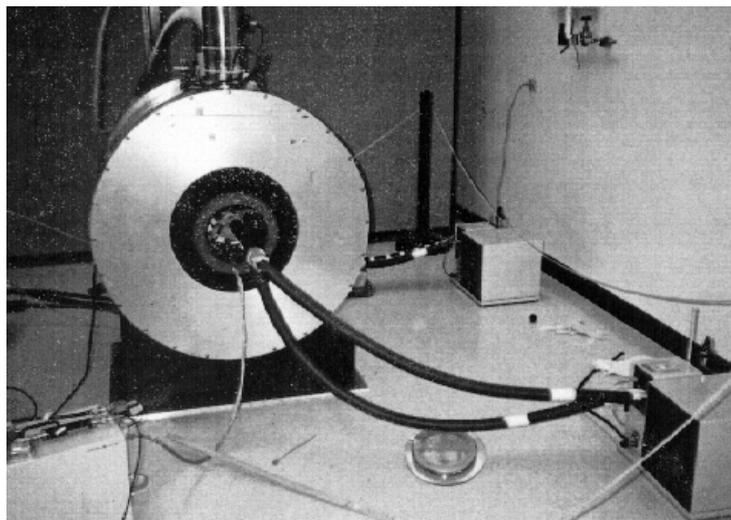


Fig. 1 - Foto do imã supercondutor de 2 Tesla (Universidade da Califórnia-Davis).

Em todos os equipamentos utilizados, imagens de objetos de diâmetro menores do que 14 cm puderam ser obtidas no interior dos ímãs supercondutores de 2 Tesla. Bobinas de rádio-freqüência de 7,5 e 10 cm de diâmetro, preparadas no próprio

laboratório e sintonizadas na frequência de 85,53 MHz, foram usadas com objetos de tamanhos parecidos com estas para melhorar o fator de preenchimento e conseqüentemente aumentar a relação sinal/ruído dos dados adquiridos.

Seqüências de pulsos "spin echo" foram utilizadas. Cada aquisição foi armazenada em 128, 256 ou 512 pontos, resultando na memória do computador, imagens de 128x128, 256x256 ou 512x512 respectivamente. Após cada tomografia gerada, a amostra foi cortada próxima à região em que a imagem foi obtida para a comparação visual.

## OS RESULTADOS

As diferentes intensidades presentes nas imagens estão associadas às intensidades dos diferentes "pixels" presentes. Por sua vez, estes refletem a presença de diferentes materiais constituintes das amostras através de mudanças na densidade de prótons ou tempos de relaxação. A escolha da seqüência de pulsos também influencia no destaque ou não de uma determinada característica da amostra, onde  $T_1$  ou  $T_2$  podem predominar. Interessante estudo sobre as origens do contraste em imagens de plantas obtidas com "spin echo" e os efeitos de  $T_2$  foi realizado por Duce et al, (1992). No caso das seqüências "spin echo", os tempos de repetição  $T_r$  e de eco  $T_e$ , ressaltam a quantidade de água móvel ou mais livre, delimitando regiões na imagem mais ou menos brilhantes. A presença de fibras, de pele e de polpa aparecem menos intensas devido às baixas concentrações de água livre. As figuras 2, 3 e 4 mostram respectivamente, imagens de um corte tomográfico de uma maçã, de uma nectarina e de um pêssigo onde detalhes do caroço, da polpa, do estado de maturação e dos contornos são perfeitamente definidos. Em todos os casos, o interior da semente, do caroço e as várias partes do tecido interno podem ser precisamente examinados, revelando aspectos que sem o uso da tomografia só podem ser vistos com a destruição dos mesmos.

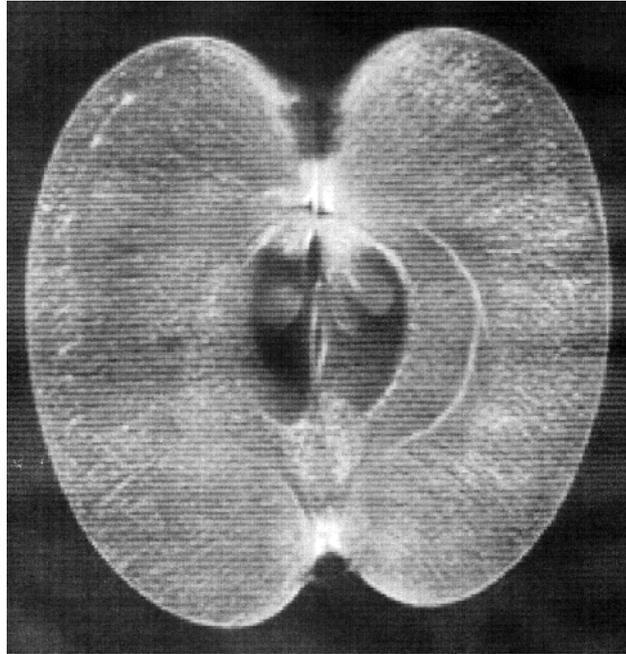


Fig. 2 - Imagem tomográfica de uma maçã (Granny Smith) adquirida com  $Tr=500ms$  em uma bobina de 10 cm de diâmetro interno. A seqüência de "spin echo" usada privilegia ligeiramente  $T_2$ .

Diversas mangas foram colocadas em contato com moscas-das-frutas (*Anastrepha fraterculus*) para que estas depositassem ovos. Decorrido o tempo de desenvolvimento da larva, algumas mangas que não apresentavam nenhum sinal de dano externo visível, foram levadas ao tomógrafo para a obtenção de imagens do seu interior.

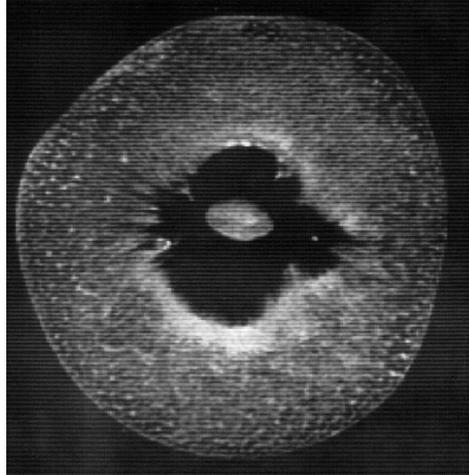


Fig. 3 - Imagem tomográfica do interior de uma nectarina adquirida com uma bobina de 10 cm de diâmetro interno.



Fig. 4 - Imagem tomográfica de um pêsego na qual podem ser vistos detalhes da anatomia do caroço e da polpa.

A figura 5 revela o interior de uma manga após a infestação por moscas-das-frutas, sendo perfeitamente visível regiões de podridão e ausência de polpa consumida pela larva em crescimento. As áreas mais brilhantes mostram presença de tecido mole e água no estado mais livre. As diferenças na textura interna do fruto podem ser perfeitamente analisadas, o que mostra as possibilidades do uso da técnica para estudos de caracterização do estado de maturação.

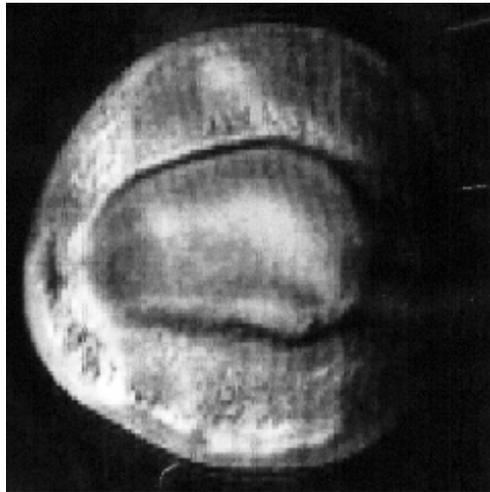


Fig. 5 - Imagem tomográfica do interior de uma manga que apresenta regiões de ausência de polpa devido a infestação por moscas-das-frutas (*Anastrepha tuberculus*).

A figura 6 mostra a imagem tomográfica do interior de uma laranja sadia. Para efeito de tornar mais evidente as diferenças no contraste da imagem, foram introduzidos no fruto dois palitos de PVC com diâmetros de 1 e 0,5 mm, os quais são perfeitamente visíveis na imagem gerada.

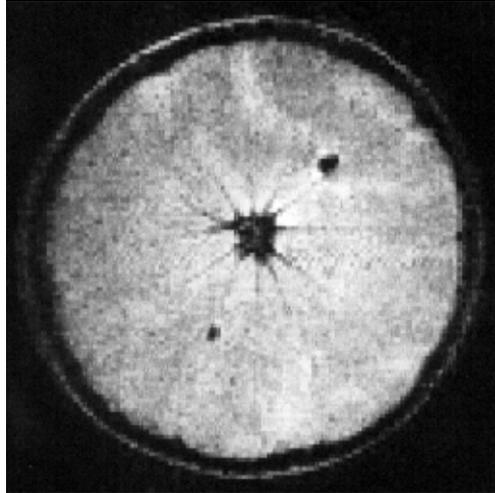


Fig. 6- Imagem tomográfica de uma laranja sadia.

### CONCLUSÕES

Foi possível mostrar, de forma preliminar, o enorme potencial que o uso da técnica de TORM possui para a investigação não-destrutiva do interior de frutas. É necessário avançar na direção de quantificar os resultados, por exemplo, na determinação do volume de polpa consumida pela larva, e na correlação entre os diferentes estados de maturação usualmente aceito pelo produtor com parâmetros extraídos da análise da imagem gerada. No entanto, quando o experimento pode ser realizado com materiais e condições apropriadas, como no caso das frutas mostradas neste trabalho, a TORM se constitui em uma poderosa ferramenta metodológica não-invasiva, com resolução microscópica muito promissora para estudos de sistemas biológicos de interesse em Engenharia de Alimentos e Agricultura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PANEPUCCI, H., DONOSO, J.P., TANNUS, A., BECKMAN, N. & BONAGAMBA, T. **Ciência Hoje**, v.4, n.20, p.46-50, 1985.
- TANNUS, A., **Desenvolvimento da tecnologia de tomografia por ressonância magnética nuclear-TORM**. São Carlos: USP-IFQSC. Dpto. de Física e Ciência dos Materiais, 1987. Tese de Doutorado.
- CHEN, P., McCARTHY, M.J. & KAUTEN, R., NMR for internal quality evaluation of fruits and vegetables. **Transactions of the ASAE**, v.32, n.5, p.1747-1753, 1989.
- CRESTANA, S., KAUTEN, R. & NIELSEN, D.R.,. Microtomografia de ressonância magnética nuclear para investigações não-destrutivas em engenharia de alimentos e agricultura. In: Anais do XVIII ENCONTRO SOBRE ESCOAMENTO EM MEIOS POROSOS, 18, Nova Friburgo-RJ. p.689-698, 1990.
- DUCE, S.L., CARPENTER, T.A., HALL, L.D. & HILLS, B.P. An investigation of the origins of contrast in NMR spin echo images of plant tissue. **Magnetic Resonance Imaging**, v.10, p.289-297, 1992.
- SONEGO, L.; BEM-ARIE, R.; RAYNAL, J.; PECH, J.C. Biochemical and physical evaluation of textural characteristics of nectarines exhibiting woolly breakdown: NMR imaging, X-ray computed tomography and pectin composition. **Postharvest Biology and Technology**, v.5, p.187-198, 1995.
- CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S.; VAZ, C.M.P.; NAIME, J. M.; CESAREO, R.; NIELSEN, D.R.; REICHARDT, K. Tomografia reconstitutiva. In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C.I.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L.A. **Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. Cap.4. p.152-199.