

Foto: Ben-Hur Mattiuz



## Uso da Tomografia de Ressonância Magnética Para Diagnosticar os Efeitos de Injúrias Mecânicas em Goiabas 'Paluma' e 'Pedro Sato'

Clovis Isberto Biscegli<sup>1</sup>  
Ben-Hur Mattiuz<sup>2</sup>  
José Fernando Durigan<sup>3</sup>

Atualmente a produção de frutas de alta qualidade objetivando a produção comercial de produtos frescos, para mercados cada vez exigentes, tem sido a tônica da fruticultura brasileira. Isso se deve às mudanças culturais nos hábitos alimentares do brasileiro, notadamente, nas populações de classe média a média alta (Souza, 2001).

Os impactos mecânicos que as frutas estão submetidas durante as operações de manejo na colheita e pós-colheita são responsáveis por perdas significativas na produção, distribuição e comercialização. É importante ressaltar que a aparência externa também é um importante atributo de qualidade do fruto, é o principal fator de rejeição percebido pelo consumidor. Frutos murchos, amassados, sem a cor característica e com aparência desagradável sobram nas prateleiras dos supermercados. A busca de qualidade requer técnicas seguras, rápidas e não-destrutivas para a medida de algumas propriedades físicas dos frutos (Thomas *et al.*, 1995; Clark *et al.*, 1997).

A Tomografia de Ressonância Magnética (TORM) é um método não invasivo capaz de fornecer informações sobre os estados químico e físico dos materiais celulares, bem como sobre o estado fisiológico, sem qualquer extração ou destruição da amostra. Essa é uma forma não destrutiva de avaliação que indica o controle de qualidade de frutas, pois este fator está correlacionado com o

processo de amadurecimento da maioria das frutas (Cho *et al.*, 1991). Considerando que os parâmetros da ressonância magnética da água em alimentos são dependentes de sua arquitetura celular, as mudanças que afetam a estrutura, e portanto a qualidade, podem ser detectadas por TORM (Biscegli e Crestana, 1996; Nascimento *et al.*, 1999; Biscegli *et al.*, 2000). Especificamente, mudanças de textura provocadas pelo amadurecimento de uma fruta, ou em consequência de impactos mecânicos, devem ser observadas como alterações no ambiente molecular da água, podendo constituir parâmetros para aferir a qualidade de frutos, através de alterações morfológicas, observáveis em imagens de TORM (Clark *et al.*, 1997; Hall *et al.*, 1998).

A condição fundamental para se analisar algum material por TORM é a presença de núcleos com momento magnético. No caso de frutas, o núcleo mais indicado é o do hidrogênio (<sup>1</sup>H), que devido a sua abundância, resulta num alto valor da relação sinal/ruído e, conseqüentemente, permite a obtenção de imagens em tempos curtos. A mobilidade desses núcleos de hidrogênio nos frutos varia com os processos metabólicos e maturação. Adicionalmente, essas concentrações e a mobilidade dos átomos de <sup>1</sup>H estão associadas com atributos qualitativos desses frutos, como a ocorrência de injúrias mecânicas nos tecidos (Chen *et al.*, 1996).

<sup>1</sup> Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária. Caixa Postal 741, CEP 13560-970 São Carlos-SP. clovis@cnpdia.embrapa.br

<sup>2</sup> Professor de Fruticultura das Faculdades de Agronomia do Centro Universitário Moura Lacerda de Rib. Preto (SP), bmattiuz@hotmail.com.

<sup>3</sup> Professor Titular do Departamento de Tecnologia, FCAV-UNESP, Campus de Jaboticabal. Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, km 5, 14870-000, Jaboticabal-SP.

Estudos preliminares realizados por Chen *et al.* (1989), indicam a TORM como poderosa ferramenta para fornecer informações sobre a estrutura interna de frutas inteiras, relacionado-as à qualidade, como a ocorrência de injúrias mecânicas, regiões desidratadas, danos por larvas, amolecimento interno e estágio de maturação. Vários autores têm utilizado a TORM, como método não destrutivo, a fim de avaliar a qualidade de frutas frescas (Zion, *et al.*, 1995; Hall *et al.*, 1998; Biscegli *et al.*, 2000; Gonzales *et al.*, 2001). Chen *et al.* (1996) e Clark *et al.* (1999) utilizaram a TORM para acompanhar o desenvolvimento em frutas, através de medidas quantitativas fornecidas pelas imagens.

Este trabalho apresenta os resultados do uso da tomografia de ressonância magnética, como método não destrutivo, para avaliar os efeitos das injúrias mecânicas em goiabas 'Paluma' e 'Pedro Sato'.

## Material e Métodos

Foram utilizados frutos de goiabeiras das cultivares Paluma e Pedro Sato procedentes do município de Vista Alegre do Alto, SP.

Depois de colhidos, no estágio de maturação "de vez", correspondente à coloração verde-mate (Pereira, 1995), os frutos foram imediatamente e cuidadosamente transportados para o Laboratório de Tecnologia dos Produtos Agrícolas da FCAV/UNESP Jaboticabal, onde foram inicialmente imersos em água fria (15 °C) e clorada (150 mg de cloro.L<sup>-1</sup>) por cinco minutos e, em seguida, submetidos às injúrias mecânicas.

Na injúria por impacto, eles foram deixados cair, em queda livre, de uma altura de 1,20 m. Cada fruto sofreu dois impactos em sua região equatorial, em lados opostos. Para a injúria correspondente à compressão, os frutos foram colocados em um aparelho onde um bloco exercendo um peso de 29,4 N era apoiado, por 15 minutos, provocando 2 lesões em lados opostos e no sentido longitudinal dos frutos. Na injúria por corte foram realizados dois cortes, em lados opostos, de 30 mm de comprimento por 2 mm de profundidade, no sentido longitudinal, usando-se uma lâmina com 1,1 mm de espessura. As áreas lesionadas eram imediatamente demarcadas. Em seguida, os frutos foram transportados cuidadosamente até a Embrapa Instrumentação Agropecuária, em São Carlos, SP, onde foram armazenados a 22 ± 2 °C e 40 %UR.

Os frutos foram analisados no tomógrafo de ressonância magnética Varian Inova de 2 Tesla, com a inserção dos mesmos numa bobina de radiofrequência do tipo "gaiola" com diâmetro interno de 14 cm operando na frequência de 85,53 MHz. As imagens foram obtidas a partir da detecção dos prótons de hidrogênio (<sup>1</sup>H), que são essencialmente das moléculas de água que compõem as frutas. As imagens geradas são em matrizes de 256 x 256 pixels, em 256 tons de cinza, em fatias com 2 mm de espessura e espaçadas de 5 mm. Para cada fruto foram obtidos 9 tomogramas simétricos, a partir do centro do fruto, em cortes sagitais. As imagens bidimensionais foram analisadas com relação a forma, localização e textura dos graus de cinza, que indicam as situações da água, mais móvel (livre) ou mais ligada aos tecidos sadios. Essas imagens foram captadas com intervalos de cinco dias, após a aplicação das injúrias.

Foram realizadas imagens do tipo coronal, para as injúrias por impacto e por compressão e sagital para as injúrias por corte.

## Resultado e Discussão

Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as imagens de tomografia de ressonância magnética de frutos injuriados e não injuriados de goiabas 'Paluma' e 'Pedro Sato'. As imagens obtidas são observadas essencialmente a partir dos sinais dos núcleos de <sup>1</sup>H da água, que corresponde a pelo menos, 93 % da intensidade do espectro de <sup>1</sup>H dos frutos de goiaba.

Na parte saudável da fruta, correspondente aos frutos controle, a diminuição da massa molecular implicou no aumento da mobilidade das moléculas de água, proporcionando aumento do tempo de relaxação spin-spin (T2), resultando numa tonalidade mais clara na imagem. Observa-se que essas áreas mais claras tornam-se mais evidentes ao longo do período de armazenamento (6º dia). Provavelmente essa resposta indica o aumento da concentração de açúcares, devido à hidrólise de carboidratos de reserva e ao colapso da matriz celular, devido ao amadurecimento (Hall *et al.*, 1998).

Por outro lado, áreas mais claras servem também para indicar condições de água móvel (livre), causadas por injúrias de natureza mecânica. Nas Figuras 1 e 2, é possível constatar esse efeito, onde o estresse físico causado pelo impacto produziu um colapso interno nos lóculos desses frutos ("internal bruising"), levando à perda da integridade celular e a conseqüente liquefação dos tecidos placentários, com extravasamento celular. Isto é visível através das áreas mais claras localizadas no interior dos frutos (indicado por setas). Observa-se ainda que, nas goiabas, a injúria por impacto não apresenta sintomas externos prontamente visíveis, ou seja, o pericarpo externo do fruto permanece aparentemente intacto no momento da injúria e evolui para regiões lesionadas com o passar dos dias. Moretti (1998) também observou a ocorrência de injúria interna em tomates submetidos à injúria mecânica por impacto, verificando que elas nem sempre eram acompanhadas por sintomas externos visíveis. A injúria por compressão produziu lesões (áreas mais esbranquiçadas e indicadas por setas) no pericarpo externo dos frutos de ambas as cultivares de goiaba (Figuras 1 e 2). As regiões lesionadas são tão mais brancas quanto mais próximas da casca dos frutos, provavelmente devido à maior proximidade do objeto compressor. Mohsenin (1986) afirma que a resistência de um determinado vegetal depende de suas propriedades reológicas. Torna-se evidente que a estrutura e a elasticidade celular da goiaba conferiu resistência mecânica à compressão, fazendo com que os tecidos mais internos fossem preservados.

Quando se compara as cultivares em cada injúria, percebe-se que na injúria por impacto a cultivar Pedro Sato mostra uma susceptibilidade maior a esse tipo de injúria que a 'Paluma', evidenciada pela maior região esbranquiçada. Esses resultados corroboram com os trabalhos de Mattiuz & Durigan (2001), que ao submeterem frutos das cultivares Paluma e Pedro Sato a injúrias mecânicas, evidenciaram que na injúria por impacto os frutos da 'Paluma' apresentaram uma firmeza significativamente maior (2,85 kPa) que os da 'Pedro Sato' (2,49 kPa).

As Figuras 1 e 2, também permitem visualizar que a injúria por corte promoveu a ocorrência de áreas mais esbranquiçadas, indicativo de água livre, nas regiões próximas aos locais dos cortes, no primeiro dia, em ambas as cultivares. No 6º dia de avaliação, esta área não apresentava sintomas de injúria, provavelmente

devido à lignificação dos tecidos nessa região, interrompendo o avanço da injúria. Contudo, verifica-se que na região vizinha ao corte houve deformações no formato do fruto, em ambas as cultivares. Isto pode ser

devido à perda acentuada de massa fresca no lugar da injúria, ocasionando uma redução na superfície e dando origem à concavidade no local injuriado.

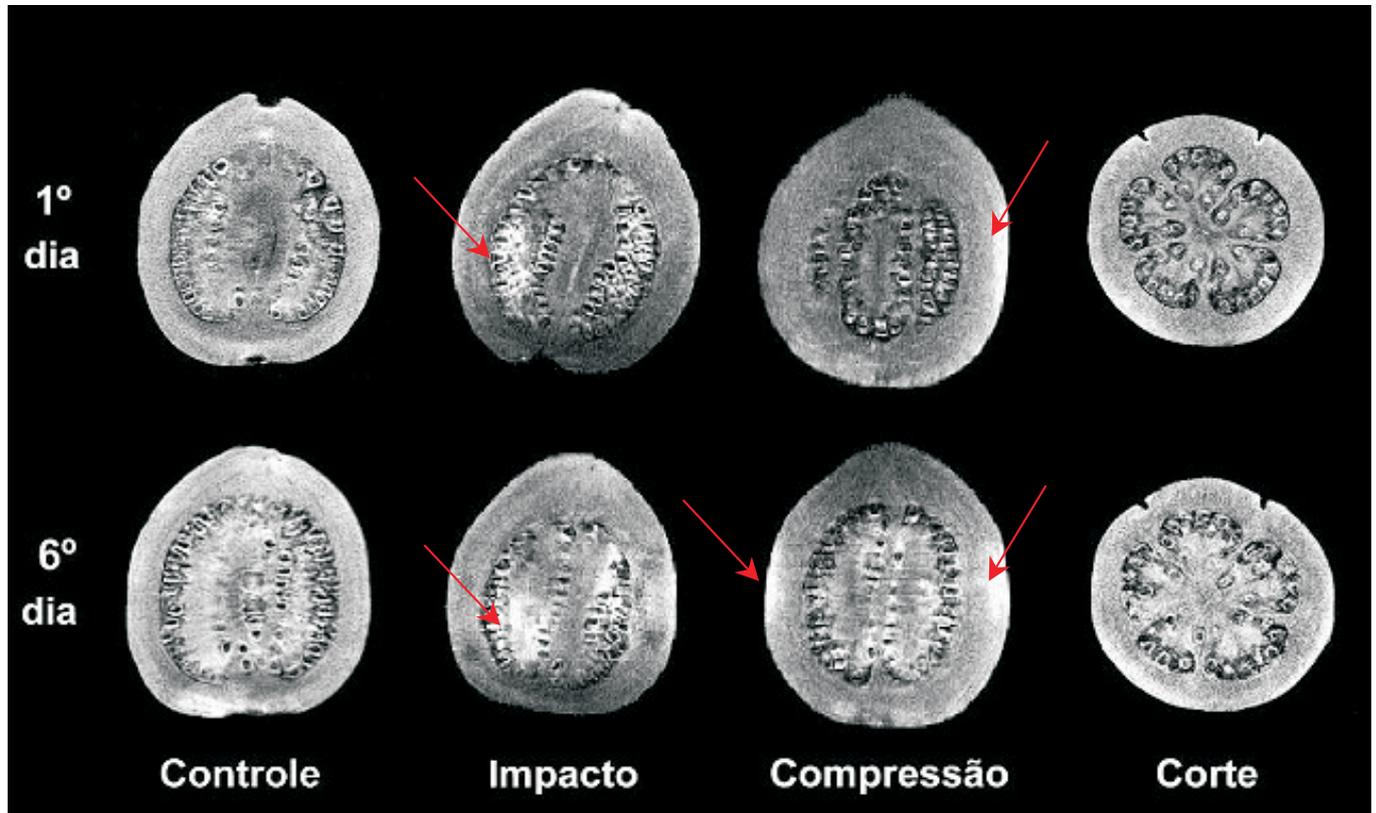


Figura 1. Tomogramas de ressonância magnética nuclear de goiabas 'Paluma' submetidas a três tipos de injúrias mecânicas.

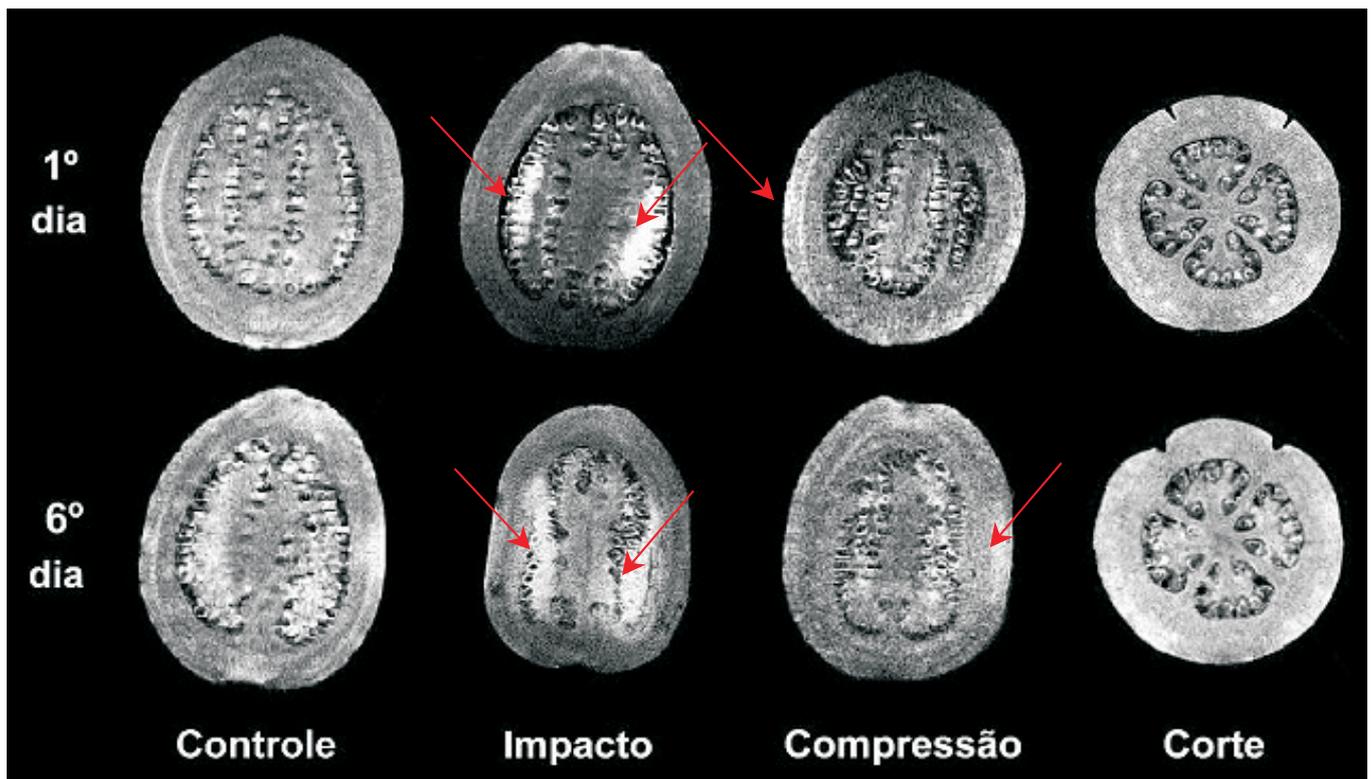


Figura 2. Tomogramas de ressonância magnética nuclear de goiabas 'Pedro Sato' submetidas a três tipos de injúrias mecânicas.

## Conclusões

A tomografia de ressonância magnética é uma ferramenta eficaz na detecção de injúrias internas de frutos. O estresse físico causado pelo impacto produziu um colapso interno nos lóculos desses frutos, levando à perda da integridade celular e a conseqüente liquefação dos tecidos placentários. A injúria por compressão tornou-se mais evidente no pericarpo externo do fruto, mostrando lesões nos tecidos. A injúria por corte provocou deformações superficiais devido à perda de matéria fresca no local da lesão.

## Referências Bibliográficas

- BISCEGLI, C. I.; CRESTANA, S. *Uso de um novo método para avaliação não-destrutiva do interior de frutas*. São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA, 1996. 16 p. (EMBRAPA-CNPDIA. Circular Técnica, 5).
- BISCEGLI, C. I.; FRANCO, R. W. de A.; TANNUS, A.; COLNAGO, L. A. Use of magnetic resonance and spectroscopy in tropical fruits: challenges and opportunities. In: CRUVINEL, P. E.; COLNAGO, L. A. (Ed.) *Advances in agricultural tomography*. São Carlos: Embrapa Agricultural Instrumentation, 2000. p. 77-78.
- CHEN, P.; MCCARTHY, M. J.; KAUTEN, R. NMR for Internal Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 32, n. 5, p. 1747-1753, 1989.
- CHEN, P.; MCCARTHY, M. J.; KIM, S. M.; ZION, B. Development of a high-speed NMR technique for sensing maturity of avocados. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 39, n. 6, p. 2205-2209, 1996.
- CHO, S. I.; BELLON, V.; EADS, T. M.; STROSHINE, R. L.; KRUTZ, G. W. Sugar content measurement in fruit tissue using water peak suppression in high resolution 1H magnetic resonance. *Journal of Food Science*, v. 56, n. 4, p. 1091-1094, 1991.
- CLARK, C. J.; HOCKINGS, P. D.; JOYCE, D. C.; MAZUCCO, R. A. Application of magnetic resonance imaging to pre- and post-harvest studies of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, n. 11, p. 1-21, 1997.
- CLARK, C. J.; RICHARDSON, A. C.; MARSH, K. B. Quantitative magnetic resonance imaging of Satsuma Mandarin fruit during growth. *HortScience*, Alexandria, v. 34, n. 6, p. 1071-1075, 1999.
- GONZALEZ, J. J.; VALLE, R. C.; BOBROFF, S.; BIASI, W. V.; MITCHAM, E. J.; MCCARTHY, M. J. Detection and monitoring of internal browning development in 'Fuji' apples using MRI. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, n. 22, p. 179-188, 2001.
- HALL, L. D.; EVANS, S. D.; NOTT, K. P. Measurement of textural changes of food by MRI relaxometry. *Magnetic Resonance Imaging*, Amsterdam, v. 16, n. 5/6, p. 485-492, 1998.
- MATTIUZ, B. H.; DURIGAN, J. F. Efeito de injúrias mecânicas na firmeza e coloração de goiabas das cultivares Paluma e Pedro Sato. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v. 23, n. 2, p. 277-281, 2001.
- MOHSEININ, N. N. *Physical properties of plant and animal materials: structure, physical characteristics and mechanical properties*. 2. ed. New York: Gordon and Breach, 1986. 891 p.
- MORETTI, C. L. *Injúria interna de impacto em frutos de tomate: fisiologia e conservação pós-colheita*. 1998. 132 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- NASCIMENTO, A. S. do; BISCEGLI, C. I.; MENDONÇA, M. da C.; CARVALHO, R. da S. Avanços em tratamentos quarentenários para exportação de manga brasileira: tratamento hidrotérmico e tomografia de ressonância magnética. In: ALVES, R. E.; VELOZ, C. S. (Org.). *Exigências quarentenárias para exportação de frutas tropicais e subtropicais*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical: CYTED: CONACYT, 1999. p. 155-171.
- PEREIRA, F. M. *Cultura da goiabeira*. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 47 p.
- SOUZA, R. A. M. de. Mercado para produtos minimamente processados. *Informações econômicas, São Paulo*, v. 31, n. 3, p. 7-18, 2001.
- THOMAS, P.; KANNAN, A.; DEGWEKAR, V. H.; RAMAMURTHY, M. S. Non-destructive detection of seed weevil-infested mango fruits by X-ray imaging. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, n. 5, p. 161-165, 1995.
- ZION, B.; CHEN, P.; MCCARTHY, M. J. Nondestructive quality evaluation of fresh prunes by NMR spectroscopy. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, Sussex, v. 67, p. 423-429, 1995.

### Comunicado Técnico, 47

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Instrumentação Agropecuária**  
Rua XV de Novembro, 1542 - Caixa Postal 741  
CEP 13560-970 - São Carlos-SP  
**Fone:** 16 274 2477  
**Fax:** 16 272 5958  
**E-mail:** sac@cnpdia.embrapa.br  
www.cnpdia.embrapa.br

1a. edição  
1a. impressão 2001: tiragem 300

### Comitê de Publicações

**Presidente:** Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso  
**Secretária Executiva:** Janis Aparecida Baldovinnotti  
**Membros:** Dr. Odílio Benedito Garrido de Assis,  
Dr. João de Mendonça Naime,  
Dr. Rubens Bernardes Filho,  
Dr. Washington Luiz de Barros Melo  
**Membro Suplente:** Débora Marcondes B. P. Milori

### Expediente

**Supervisor editorial:** Dr. Odílio B. Garrido de Assis  
**Revisão de texto:** Janis Aparecida Baldovinnotti  
**Tratamento das ilustrações:** Valentim Monzane  
**Editoração eletrônica:** Valentim Monzane