

# APLICAÇÃO DA FOTOGAMETRIA DIGITAL À CURTA DISTÂNCIA NA MEDIÇÃO DA EXPANSIBILIDADE PULMONAR

Flávio Porfírio Alves<sup>1</sup>  
Daniel Carneiro da Silva<sup>2</sup>  
Ana Lúcia Candeias<sup>3</sup>  
Armèle de Fátima Dornelas de Andrade<sup>4</sup>  
Maria das Graças Rodrigues de Araújo<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – [flavioporfirio@itep.br](mailto:flavioporfirio@itep.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Departamento de Engenharia Cartográfica – DECart – [danielcs@ufpe.br](mailto:danielcs@ufpe.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Departamento de Engenharia Cartográfica – DECart – [analucia@ufpe.br](mailto:analucia@ufpe.br)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Departamento de Fisioterapia – Defisio – [armele@ufpe.br](mailto:armele@ufpe.br)

<sup>5</sup> Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Departamento de Fisioterapia – Defisio – [mgra@ufpe.br](mailto:mgra@ufpe.br)

## RESUMO

A Fotogrametria Digital a curta distância tem sido aplicada em diversas áreas do conhecimento e com bastante sucesso na medicina. As medições do corpo humano realizadas por medições diretas para obtenção de volumes, perímetros ou comprimentos, podem não ter a precisão necessária devido à própria forma, posição e falta de rigidez do corpo e órgãos. Assim a Fotogrametria Médica pode contribuir para resolver esses problemas. Este trabalho apresenta um projeto de pesquisa em andamento entre os Departamentos de Engenharia Cartográfica e Fisioterapia da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco) para trabalhos conjuntos na medição da expansibilidade pulmonar usando técnicas de Fotogrametria Digital que atualmente é efetuada pelo método manual chamado de cirtometria.

**Palavras-chave:** Fotogrametria Digital, Fotogrametria Médica, Fisioterapia

## APPLICATION OF THE DIGITAL CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY IN THE MEASUREMENT OF THE PULMONARY EXPANSIBILIDADE

### ABSTRACT

*The Digital Close Range Photogrammetry has been applied in diverse areas of the knowledge and with sufficient success in the medicine. The measurements of the human body carried through by direct measurements for attainment of volumes, perimeters or lengths, can not have the necessary precision due to proper form and lack of rigidity of the body and organs. Thus the medical photogrammetry can contribute to decide these problems. This work presents a project of research in progress between the Departments of Engineering Cartographic and Physiotherapy of the UFPE (Federal University of Pernambuco) for measurement of the expansion pulmonary using techniques of Digital Photogrammetry that currently is effected by manual method called cirtometria.*

**Keywords:** Digital Photogrammetry, Medical photogrammetry, physiotherapy

## 1 INTRODUÇÃO

A Fotogrametria Digital à Curta Distância é capaz de obter medidas precisas de objetos tridimensionais, criando modelos digitais em três dimensões da superfície do objeto. Com estas características, além de não ter contato físico direto com o objeto, a medicina encontrou na Fotogrametria um modo que pode ser mais confiável e mais exato de medir o corpo e os membros, do que os meios usados tradicionalmente. As aplicações podem ser para obtenção de volumes, perímetros ou comprimentos em estudos de escoliose, pés, palato e dentes, olho, movimento, crescimento, dentre outras.

A medição fotogramétrica na área de saúde é auxiliada atualmente por imagens digitais e sistemas de medição comerciais. Estes sistemas são divididos em duas categorias: um que trabalha com a visão externa do corpo e outro que trabalha com uma visão interna. Para os fotogrametristas, os sistemas externos de medição do corpo são de maior interesse e são baseados em princípios óticos da luz visível. Um dos princípios empregado na Fotogrametria para extrair informações tridimensionais é baseado na estereoscopia. Inicialmente é necessário o uso de duas fotografias, com eixo ótico paralelos entre si e tomadas com uma distância adequada, de modo que a parte de interesse do objeto seja visível nas duas imagens; em seguida as fotografias podem ser observadas e medidas usando estereoscópios e outros dispositivos. Outro método fotogramétrico que tem grande flexibilidade se baseia em feixes de raios e as imagens podem ter eixos convergentes. Neste caso pode não haver a estereoscopia mas a medição de pontos isolados, medidos a partir de três ou mais imagens, fornece mais alta precisão que o modo normal. Os métodos fotogramétricos adequados para aplicações em medicina devem ser desenvolvidos de tal forma que possam ser usados por não-fotogrametristas. Para isto as tarefas de aquisição das imagens e de medição devem ter um alto grau de automação, que é obtido usando um ou vários métodos de combinação de imagens.

Centenas de aplicações de Fotogrametria na área de saúde têm sido publicadas e estas se estendem em diversos campos e utilizam diversas técnicas. MICHAEL & NEWTON (2002) relacionam muitos exemplos de medições e PATIAS (2002) discute as transformações matemáticas à várias questões como registro e a fusão de imagens de multisensores, combinação de seqüências da imagem, a segmentação e análise de movimento. Para uma bibliografia mais extensiva, por exemplo, pode-se consultar os artigos da sub-comissão V-3 - *Medical Image Analysis and Human Motion da International Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)* (<http://www.geo.tudelft.nl/frs/medical/isprs-wg.html>). Os acontecimentos de vários simpósios médicos, especialmente os simpósios de Bioestereometria publicados na *International Society for Optical Engineering (SPIE)*, são uma fonte útil da informação.

TOMMASELLI e REISS (2003), desenvolveram um sistema fotogramétrico de aplicação geral que pode ser usado em medicina. Utilizaram um coletor de imagens construído de uma câmara digital de pequeno formato e um projetor de padrões de luz estruturada. Estes padrões são projetados sobre a superfície do objeto a ser reconstruído e capturado pela câmara digital que é solidária ao projetor. O cálculo das coordenadas 3D de pontos da superfície do objeto depende de dois conjuntos de elementos que devem ser conhecidos: as coordenadas de imagem dos alvos projetados e os vetores diretores destes padrões, ambos no referencial da imagem.

Este artigo apresenta uma pesquisa conjunta do Departamento de Engenharia Cartográfica (Decart) e Departamento de Fisioterapia (Defisio) da UFPE, que iniciou o desenvolvimento de um sistema fotogramétrico digital para medições externas do tórax e abdômem. Este projeto inicialmente destina-se à Fisioterapia respiratória para avaliar o respirador bucal, e todas as patologias que interferem na mecânica respiratória, através da análise do padrão respiratório, pelo diâmetro da caixa torácica e do abdômen.

## 2. MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA RESPIRAÇÃO

As medições do tórax e do abdômen serão úteis para monitorar o progresso do tratamento dos pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC). Essas medições da

expansibilidade pulmonar são efetuadas normalmente pelo método manual, chamado de cirtometria, que consiste da medição das circunferências do tórax e abdômen durante os movimentos respiratórios, utilizando apenas uma fita métrica e alternativamente pela Fotogrametria.

Um extenso estudo da respiração usando a Fotogrametria para registrar as mudanças no tronco foi realizado por KOVÁTS et al. (1989). Uma rede foi projetada no corpo, e fotografada a cada segundo durante o ciclo de respiração. Diversos arranjos fotográficos foram usados incluindo um par de câmeras e de uma única câmera com um espelho.

ADAMS & KLEIN (1986) mediram o movimento de pontos no tórax de crianças durante o ciclo de respiração, usando câmeras não-métricas e um estereocomparator. Mais tarde, ADAMS et al. (1989) propuseram um sistema fotogramétrico inteiramente digital para a mesma finalidade e seu uso foi relatado por ADAMS e por TREGIDGA (1992). Como os contornos ou as vistas em perspectiva dos deslocamentos são difíceis de interpretar, Adams e seus colaboradores criaram representações estereoscópicas de vetores de deslocamento. Estes são mais úteis se sobrepostos sobre as estereofotografias, de modo que os deslocamentos possam ser relacionados à estrutura do tórax.

## 2.1 A CIRTOMETRIA

A cirtometria consiste de um conjunto de medidas das circunferências do tórax e abdômen durante os movimentos respiratórios (CARVALHO, 1979) e tem como finalidade avaliar a expansibilidade torácica, de forma simples e acessível, utilizando apenas uma fita métrica.

BEAZLEY (1975) descreveu a técnica utilizada para medir a expansão torácica. O paciente se posiciona com o tronco ereto e a fita métrica é passada horizontalmente ao redor do tórax, no nível a ser medido. Uma das extremidades da fita era fixada pela mão do examinador enquanto a fita deslizava de acordo com a respiração do sujeito. A tensão da fita deve permanecer a mesma durante todas as medições. O paciente realiza três respirações profundas e consecutivas. A maior diferença observada entre a inspiração profunda e a expiração era registrada. Sendo, segundo o autor, considerada como normais diferenças entre 2,5 a 10cm.

DAVIS (1987) descreveu que as medidas de expansão torácica deveriam ser feitas em inspiração e expiração profundas e em repouso. Relatando também que mesmo quando medidas nos níveis máximos, é freqüentemente difícil de se obter uma reprodução acurada da medição.

Em um estudo cujo objetivo era avaliar pacientes com DPOC antes e após um programa de reabilitação pulmonar, JAMAMI et al. (1999) realizaram a cirtometria, utilizando uma fita métrica, ao fim da inspiração e expiração máximas. A partir das medidas foi obtido o índice de amplitude toracoabdominal sintetizado na equação (1):

$$IA = \left( \frac{\frac{INS - EXP}{INS} + \frac{INS - EXP}{EXP}}{2} \right) \times 100 \quad (1)$$

onde:

IA: Índice de amplitude toracoabdominal;

INS: Cirtometria durante inspiração máxima;

EXP: Cirtometria durante expiração máxima.

O IA, segundo os autores, permitiu avaliar por meio de um valor ponderado, a expansibilidade toracoabdominal de pacientes de diferentes compleições. Não há referências quanto à origem da fórmula utilizada nem em relação ao número de repetições realizadas.

A utilização da cirtometria é bastante diversificada, porém devido a resultados não satisfatórios, a Fotogrametria Digital pode ser uma técnica mais confiável e mais exata de medir a expansibilidade pulmonar.

## 2.2. FOTOGRAMETRIA DIGITAL À CURTA DISTÂNCIA

A Fotogrametria é a ciência e tecnologia de se reconstruir o espaço tridimensional, a partir de imagens bidimensionais, advindas da gravação de padrões de ondas eletromagnéticas, sem contato físico direto com o objeto ou alvo de interesse.

O crescente avanço tecnológico na área da informática e na fabricação de equipamentos de imagens digitais, e a utilização dos métodos analíticos e de processamento de imagens nos trabalhos fotogramétricos a curta distância têm sido significativos e tornam a Fotogrametria mais acessível à muitas áreas de aplicação.

O processamento digital de imagens é utilizado nos procedimentos fotogramétricos com dois objetivos: O primeiro com o intuito de melhorar a qualidade de visualização, restaurando ou corrigindo distorções. O segundo objetivo é para reconhecer padrões nas imagens e identificar feições. Atualmente as técnicas de processamento e de combinação de imagens digitais permitem que vários processos de medição fotogramétricos sejam automatizados total ou parcialmente.

Os métodos para as medidas de superfície baseados na Fotogrametria Digital usam imagens adquiridas simultaneamente, ou seqüencialmente. Um conjunto denso de correspondentes pontos nas imagens é estabelecido por um processo de combinação e as coordenadas 3D dos pontos combinados são calculadas usando as equações 2 e 3. Os resultados de medição da superfície, conseqüentemente, são como uma nuvem de pontos 3D (figura 3). O processo de combinar várias imagens é baseado inicialmente num método de coeficiente de correlação e seguido do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Pode ainda haver a restrição geométrica adicional de que o ponto combinado deve cair na linha epipolar. O algoritmo de combinação de imagens considera partes da imagem em torno dos pontos selecionados: uma imagem é usada como um molde (*template*) e o outro como imagens de busca. A correlação gera uma combinação inicial e o MMQ aumenta a precisão ajustando variações radiométricas e geométricas entre as janelas. A idéia principal é deixar as partes da imagem de molde inalterados e modificar as partes nas imagens da busca por uma transformação afim (translação, escala, rotação e inclinação).

Na etapa de obtenção das medições são importantes os princípios da Fotogrametria Analítica, onde a equação de colinearidade reproduz matematicamente o processo de formação da imagem, fazendo a ligação entre as coordenadas dos pontos no espaço objeto (3D) e suas correspondentes coordenadas no espaço imagem (2D). A equação de colinearidade, (equações 2 e 3), parte da condição de que os três pontos (centro perspectivo, ponto imagem e ponto objeto) pertencem a mesma reta.

$$x_p = -f \frac{m_{11}(X_p - X_c) + m_{12}(Y_p - Y_c) + m_{13}(Z_p - Z_c)}{m_{31}(X_p - X_c) + m_{32}(Y_p - Y_c) + m_{33}(Z_p - Z_c)} \quad (2)$$

$$y_p = -f \frac{m_{21}(X_p - X_c) + m_{22}(Y_p - Y_c) + m_{23}(Z_p - Z_c)}{m_{31}(X_p - X_c) + m_{32}(Y_p - Y_c) + m_{33}(Z_p - Z_c)} \quad (3)$$

onde:

$X_p$ ,  $Y_p$  e  $Z_p$  são as coordenadas cartesianas do ponto P no sistema de coordenadas do objeto;

$X_c$ ,  $Y_c$  e  $Z_c$  são as coordenadas do centro perspectivo no sistema de coordenadas do objeto;

$f$  é a distância focal calibrada;

$m_{i,j}$  são os elementos da matriz de rotação, determinada em função das três rotações em torno dos eixos cartesianos e  $x_p, y_p$  são as coordenadas do ponto no espaço imagem.

### 3. PESQUISA NA UFPE

Na UFPE está em andamento uma pesquisa conjunta do Departamento de Engenharia Cartográfica (Decart) e Departamento de Fisioterapia (Defisio) que iniciou o desenvolvimento de um sistema fotogramétrico digital para medições externas do corpo humano. Inicialmente os objetivos são medição da expansibilidade pulmonar, porém as aplicações podem se estender para estudos de escoliose, movimentos e crescimento; avaliação de forma e dimensões de pés, palato e dentes, olho, etc. Os equipamentos necessários já estão disponíveis: duas câmaras digitais, tripés, projetores, computadores, programas de processamento de imagens e de fototriangulação.

A figura 1 mostra a imagem de testes para avaliação das dimensões e nitidez da grade projetada sobre as costas de um paciente. A grade foi inserida a partir de um retroprojetor com uma transparência de um reticulado. A partir das medições dos pontos de interseção da grade podem ser derivadas todas as medições de ângulos e distâncias de pontos de interesse.

Com o uso de duas câmaras serão obtidas as imagens de pares estereoscópicos. Em seguida usando pontos de controle externos, colocados numa estrutura rígida, como mostrado na figura 2, e com o programa de processamento, será possível obter coordenadas 3D (X, Y e Z da equação 2 e 3) a partir de coordenadas de imagem  $x_p$  e  $y_p$ . Na figura 3 baseada em PATIAS (2002) está um exemplo de medição com câmaras convergentes e ainda o produto final na forma de Modelo Numérico.

O sistema é composto de duas câmaras sincronizadas para a obtenção de imagens do tórax e do abdômen nos instantes da inspiração e expiração. Com as medições dos pontos será possível calcular os respectivos volumes. As câmaras estão em processo de calibração usando um campo de pontos existente na UFPE.

Na etapa de processamento de imagens, são importantes os princípios da Fotogrametria Analítica, e também será fundamental o desenvolvimento de medições automáticas usando as técnicas de combinação de imagens digitais. Após a obtenção da nuvem de pontos será possível o cálculo de volume no instante da inspiração ou expiração. Uma análise temporal usando esta abordagem é capaz de mostrar evoluções do tratamento fisioterapêutico.

O sistema de medição previsto deve atender ainda ao requisito de ser operado por não-especialista em Fotogrametria, portanto de manuseio fácil e confiável.

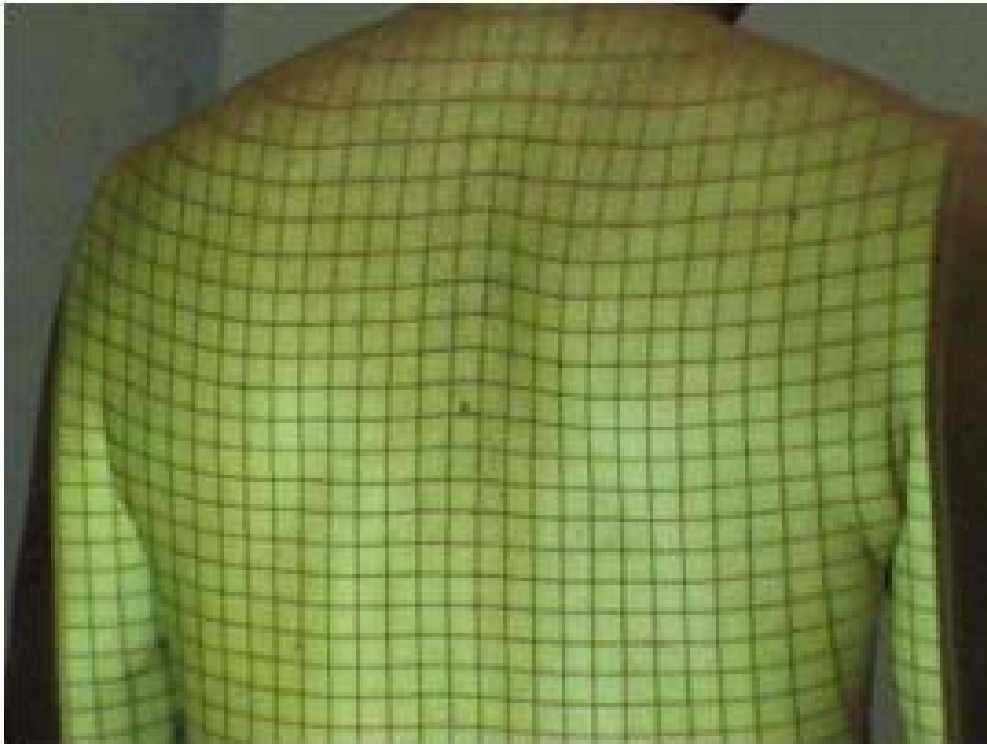


Figura 1 – Imagem digital das costas de um paciente com grade projetada.

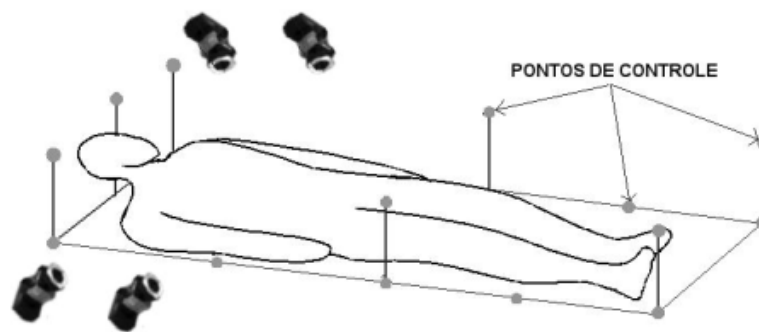


Figura 2 – Esquema do sistema de pontos de controle.

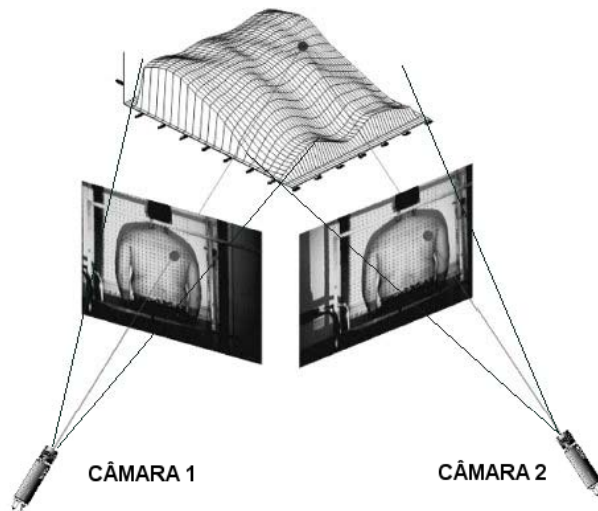


Figura 3 – Sistema de medição com câmaras convergentes [baseado em PATIAS (2002)]

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As aplicações indicam que a Fotogrametria é uma ferramenta médica eficaz de medição na qual tem um número de vantagens sobre os métodos alternativos:

- O método é não invasivo e daí evita distorção, ferimento ou infecção do paciente;
- O levantamento de dados é rápido, e o movimento do paciente é superado mesmo em situações dinâmicas;
- O levantamento de dados é conveniente para o paciente e para o profissional em medicina com o processamento de dados sendo realizado como uma operação separada;

Deve haver um registro permanente da imagem que possa ser consultado e remedido em qualquer momento no futuro.

Com o sistema previsto na UFPE espera-se em breve que a metodologia esteja plenamente funcional.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, L.P., RÜTHER, H. AND KLEIN, M. **Development of a PC Based Near Real Time Photogrammetry System for Evaluating Regional body Surface Motion During Breathing.** *Biostereometrics '88* (Eds. J.U. Baumann and R.E. Herron), 1989. SPIE 1030: p. 352-360.

ADAMS, L. P. AND KLEIN, M. **Biostereometric Methods for Study of Body Surface Motions During Breathing.** *International Archives of Photogrammetry and remote Sensing*, 26 (5), 1986. p. 263-270.

ADAMS, L. P. AND TREGIDGA, A. M. **Precise Biological Surface Measurements in Some Medical and Dental Studies.** *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 29 (B5), 1992. p. 844-849.

ATKINSON, K. B. **Close Range Photogrammetry and Machine Vision.** Department of Photogrammetry and Surveying. University College London. London, 1996.

BEAZLEY, E. A. **Notes on Physiotherapy Techniques.** In: CASH, J. E. **Chest, Heart and Vascular Disorders for Physiotherapists.** London: Faber and Faber, 1975. p. 294-306.

CARVALHO, M. R. A. **Avaliação Morfodinâmica do Tórax e do Abdômen.** In: **Fisioterapia Respiratória.** Rio de Janeiro: Nova Casuística, 1979. p. 65-68.

DAVIS, A. J. **Fisioterapia Torácica – Objetivos, Avaliação e Técnicas.** In: DOWNIE, P. A. **CASH – Fisioterapia nas Enfermidades Cardíacas, Torácicas e Vasculares.** São Paulo: Panamericana, 1987. p. 220-243.

JAMAMI, M. et al. **Efeitos da Intervenção Fisioterápica na Reabilitação Pulmonar de Pacientes com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica.** Rev Fisioter Univ São Paulo, v. 06, n.02, p. 140-153, 1999.

KOVÁTS, F., BOSZÖRMÉNYI-NAGY, G., NAGY, G.G. AND ÖRDÖG, L. **Morphometry of the Upright Trunk During Breathing.** Biostereometrics '88 (Eds. J. V. Baumann & R.E. Herron), 1989. SPIE 1030:255-262.

MITCHELL, H.L., NEWTON, I. **Medical photogrammetric measurement: overview and prospects.** ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v. 56, 2002. p. 286– 294.

PATIAS, P. **Medical imaging challenges photogrammetry.** ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v.56, 2002. p. 295– 310.

SANTOS, M. A. **Comparação entre o Modelo de Conrady-Brown e Ortogonal para Calibração de Câmeras Semi-Métricas.** Dissertação de apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, Curitiba: UFPR, 1996. p. 01.

TOMMASELLI, A. M. G., REISS, M. L. L. **Reconstrução 3D por Luz Estruturada: Calibração dos Vetores Diretores dos Feixes de Padrões Projetados.** Presidente Prudente: UNESP, 2003.