

## Projeto de Pesquisa - FAPESP - Modalidade Temático

### Métodos de Aproximação para Computação Visual

Resposta aos comentários do assessor *ad hoc* #2

Recebido em anexo a carta da FAPESP de 03/10/2007

- *Não há um foco. Sob a capa de “Computação visual” se inclui várias grandes áreas entre elas processamento de imagens, geometria computacional, patologia, computação gráfica, análise numérica, entre outras. [...] A fragmentação do projeto e a falta de um método unificador e de clareza de objetivos impede sua avaliação. [...] O projeto como um todo é, na realidade, vários projetos justapostos, mas que não se encaixam como um todo.*

O projeto é de fato amplo. Porém, o comentário acima está tratando como *áreas* o que são na verdade três *níveis* do projeto — matemático, tecnológico e prático. No nível tecnológico há apenas uma área, a visão computacional e suas sub-áreas. No nível matemático estão as técnicas de análise numérica (aproximação, aritmética afim, análise fractal, etc.) que pretendemos utilizar no desenvolvimento de novas tecnologias. No nível prático estão as aplicações reais (patologia, bancos de imagens, etc.) que utilizarão e motivarão essas novas tecnologias.

Quanto ao nome da área tecnológica, há um consenso geral de que processamento de imagens e modelagem geométrica são sub-áreas de uma mesma área, que engloba também geometria computacional, síntese de imagens e visualização, tipografia computacional, interfaces gráficas, realidade virtual, reconhecimento de padrões em imagens, visão computacional, e outras sub-áreas correlatas. Embora alguns autores definam computação gráfica como sendo a união de todas essas sub-áreas [42, p.2], muitos entendem que este nome tem um sentido mais estrito — que exclui, por exemplo, processamento de imagens, reconhecimento de padrões, e visão computacional. Em vista desta segunda interpretação, adotamos o nome *computação visual* para a área como um todo.

Nomenclatura à parte, a unidade de todas as sub-áreas acima se reflete, por exemplo, na existência de um Simpósio nacional (SIBGRAPI), com qualidade indiscutível e 20 anos de história, que congrega pesquisadores em todas essas diversas especialidades. A unidade dessa grande área é ressaltada pelo fato de que muitos pesquisadores de renome, nacionais [43, 47, 48, 40, 46, 41, 44, 45, 39, 49] e internacionais [54, 53, 50, 55, 52, 51, 56], têm publicações importantes em duas ou mais dessas sub-áreas.

O “fio condutor” do projeto, como explicamos, é a *aplicação inovadora de técnicas matemáticas de aproximação funcional a problemas concretos de computação visual*. É este fio condutor que amarra os diferentes tópicos teóricos (aritmética afim, splines diádicos, wavelets, dimensão fractal, etc.) com as diferentes áreas de aplicação (visão computacional, bancos de imagens, patologia clínica, etc.) Como comprovado por infinitos exemplos na história da ciência e tecnologia, a interação entre teoria e prática tem sido o principal motor para o progresso de ambas.

- ***O coordenador, Prof. J. Stolfi, é de uma área — computação gráfica (mais precisamente, modelagem geométrica) — e os pesquisadores principais são de outra; um de patologia, Prof. K. Metze, e o outro de processamento de imagens, Prof. N. Leite.***

A produção acadêmica do coordenador do projeto, disponível em seu currículo Lattes, comprova suficientemente sua atuação em diversas sub-áreas da computação visual, ao longo de quase 25 anos, incluindo geometria computacional [14, 13, 15, 7, 29, 24, 23, 1, 8, 2, 28], processamento de imagens [12, 27, 21, 17, 9, 16], visão computacional [30, 18], e computação gráfica [20, 19, 26, 10], além de aproximação matemática [3, 4, 5, 11] e outras áreas.

- ***O Prof. K. Metze está envolvido em um único tópico de um sub-projeto.***

O sub-projeto do Prof. Konradin, em particular, deverá se desdobrar em vários sub-projetos, cada qual versando sobre aplicação de técnicas de processamento de imagens, incluindo as descritas em outras seções da proposta, a problemas clínicos específicos.

A rigor, cada um destes sub-projetos mereceria uma descrição separada, com nível de detalhe comparável ao dos demais sub-projetos. Porém, este detalhamento não é possível neste momento, pois muitos desses sub-projetos deverão ser definidos no decorrer do temático.

Especificamente, o Prof. Konradin planeja utilizar técnicas desenvolvidas por ele próprio e por outros membros do temático na análise e busca de imagens nos bancos de imagens patológicas e clínicas que ele montou em projetos anteriores. Estes bancos estão relacionados no final desta resposta. Como se pode observar, cada banco de imagens tem características próprias, que exigirão metodologia e tratamento específicos — e portanto constituirá um sub-projeto separado deste temático.

Finalmente, vale notar que o Prof. Konradin, que é pesquisador nível 1-A do CNPq, não é apenas especialista em patologia clínica, mas tem experiência substancial na aplicação de técnicas de processamento de imagens e medicina — como evidenciado pelas suas publicações recentes [35, 37, 38, 32, 36, 34, 33, 31].

- ***O projeto Geometria computacional em espaços não euclidianos é nitidamente separado dos demais tanto em método como em conteúdo e consta de um único pesquisador, Prof. P. Rezende. Também o item Algoritmos heurísticos para o Problema da galeria de Arte é de geometria computacional, envolvendo o mesmo professor P. Rezende.***

Concordamos que *nossa descrição* destes sub-projetos não mostrou uma conexão direta com os demais sub-projetos. Entretanto, a ligação existe através do tema geral do projeto temático, que é o uso de técnicas de *aproximação matemática* em métodos e aplicações de computação visual.

No caso do sub-projeto da Galeria de Arte, a idéia principal é a aproximação de um domínio contínuo (um polígono no plano) por um domínio discreto (uma grade regular de pontos), transformando assim um problema específico e difícil em um problema

conhecido e potencialmente mais fácil. Esta técnica matemática provavelmente poderá ser usada em outros algoritmos de computação visual, como o reconhecimento de formas, identificação de correspondências em imagens, segmentação, etc..

No caso do sub-projeto de Geometria computacional em espaços não-euclidianos, esperamos conexões com vários outros sub-projetos, em dois sentidos. Por um lado, os resultados teóricos e algorítmicos obtidos nesse sub-projeto deverão ser ferramentas úteis para os outros. (Por exemplo, o reconhecimento e rastreamento de objetos deformáveis em vídeos requer a solução de problemas de geometria computacional sobre a superfície do modelo, que é um espaço eminentemente não euclidiano.) Por outro lado, a implementação de algoritmos de geometria computacional em espaços não-euclidianos quase que certamente exigirá técnicas de aproximação matemática. (Por exemplo, superfícies e geodésicas nesses espaços serão provavelmente modeladas por splines.)

Observamos também que o coordenador do projeto tem uma publicação significativa em co-autoria com o Prof. Rezende [6], e colaborou com o Prof. Cid em duas consultorias para o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD) nas quais usamos técnicas semelhantes às propostas no sub-projeto da Galeria de Arte. Estas consultorias resultaram em softwares que estão atualmente em uso no CPqD, para localização ótima de, respectivamente, telefones públicos e rádios comunitárias. Foi no decorrer dessas consultorias que desenvolvemos a técnica de aproximação de polígonos por grades de pontos, que planejamos usar no sub-projeto citado.

- ***O projeto Análise fractal multi-escala é também nitidamente separado dos outros, este é um projeto em procesamento de imagens e aplicações. Aqui os pesquisadores principais são os professores N. Leite, A. Falcão, e K. Metze. Existe um histórico de colaboração entre os professores N. Leite e K. Metze.***

Na verdade, o coordenador do projeto também tem experiência de pesquisa comprovada neste assunto. Por exemplo, o trabalho de Doutorado da Profa. Helena Leitão, sobre reconstrução de objetos fragmentados, resultou em técnicas inovadoras para análise de imagens e reconhecimento de padrões — que dependem fortemente do caráter fractal dos contornos dos fragmentos.

- ***Este projeto deve ser sub-dividido em três projetos diferentes: 1. Métodos de aproximação em Computação Visual coordenado pelo Prof. J. Stolfi [...] 2. Análise e descrição de formas em procesamento de imagens e aplicações biomédicas, coordenado pelos Profs. N. Leite, A. Falcão, e K. Metze [...] 3. Geometria Computacional, coordenado pelo Prof. P. Rezende.***

Esta divisão, que basicamente separa os pesquisadores com experiência em métodos de aproximação (incluindo J. Stolfi, A. Gomide, S. Gomes, M. Domingues, L. Figueiredo) dos pesquisadores com experiência e interesse em computação visual aplicada (incluindo K. Metze, N. Leite, A. Falcão, R. Torres, S. Goldenstein, L. Velho) frustraria o objetivo do projeto temático, ressaltado acima.

Além disso, não se pode supor que as colaborações futuras dos membros, dentro do temático, sejam limitadas aos mesmos assuntos e conjuntos de pessoas das colaborações passadas e presentes. Na verdade, nós antevemos maiores oportunidade de inovação justamente nas combinações de teoria e prática onde ainda **não** existe um histórico de colaboração. Entendemos, aliás, que o objetivo do programa de Projetos Temáticos é justamente fomentar a colaboração de pesquisadores de diversas especialidades em torno de um tema com potencial para pesquisa inovadora inter-disciplinar.

## Referências

### Algumas publicações de J. Stolfi em computação visual

Segue abaixo uma relação de algumas publicações do Prof. Jorge Stolfi, coordenador do projeto, evidenciando sua atuação em diversas sub-áreas da computação visual, e em métodos de aproximação matemática. A relação completa pode ser obtida na base de dados Lattes.

- [1] Marcus Vinícius A. Andrade, Wagner F. Barros, and Jorge Stolfi. An exact algorithm for point location on spherical maps. In *Anais do GEOINFO 2002 - IV Simpósio Brasileiro de Geoinformática*, pages 99–107, December 2002.
- [2] Marcus Vinícius A. Andrade and Jorge Stolfi. Exact algorithms for circles on the sphere. In *Proceedings of the 14th ACM Symposium on Computational Geometry*, pages 126–134, June 1998.
- [3] Cláudio G. S. Cardoso, Maria Cristina C. Cunha, Anamaria Gomide, Denis J. Schiozer, and Jorge Stolfi. Finite elements on dyadic grids with applications. *Mathematics and Computers in Simulation*, 73(1–4):87–104, November 2006. doi:10.1016/j.matcom.2006.06.024.
- [4] L. H. de Figueiredo and J. Stolfi. Affine arithmetic: Concepts and applications. *Numerical Algorithms*, 37(1–4):147–158, December 2004.
- [5] L. H. de Figueiredo, J. Stolfi, and L. Velho. Approximating parametric curves with strip trees using affine arithmetic. *Computer Graphics Forum*, 22(2):171–179, June 2003.
- [6] Pedro J. de Rezende and Jorge Stolfi. *Fundamentos de Geometria Computacional*. IX Escola de Computação, July 1994.
- [7] Herbert Edelsbrunner, Leonidas J. Guibas, and Jorge Stolfi. Optimal point location in a monotone subdivision. *SIAM Journal on Computing*, 15(2):317–340, May 1986.
- [8] Jeff Erickson, Leonidas J. Guibas, Jorge Stolfi, and Li Zhang. Separation-sensitive collision detection for convex objects. In *Proceedings of the 10th ACM/SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA 1999)*, pages 327–336, January 1999.
- [9] Alexandre X. Falcão, Jorge Stolfi, and Roberto de A. Lotufo. The image foresting transform: Theory, algorithms, and applications. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(1):19–29, January 2004.
- [10] Bernard Chazelle, Herbert Edelsbrunner, Leonidas J. Guibas, Micha Sharir, and Jorge Stolfi. Lines in space: Combinatorics and algorithms. *Algorithmica*, 15(5):428–447, May 1996.
- [11] Anamaria Gomide and Jorge Stolfi. Approximation error maps. In *Proceedings of A4A4 - IV International Symposium on Algorithms for Approximation*, pages 446–453, July 2001. Published in 2002.

- [12] Leo J. Guibas and Jorge Stolfi. A language for bitmap manipulation. In *Proceedings of SIGGRAPH 82*, volume 16, pages 311–311, July 1982. Superseded by [gui-sto-82-bop].
- [13] Leonidas J. Guibas, Lyle Ramshaw, and Jorge Stolfi. The kinetic framework for computational geometry. In *Proceedings of the 24th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS)*, pages 100–111. IEEE, November 1983.
- [14] Leonidas J. Guibas and Jorge Stolfi. On computing all North-East neighbors in the  $L_1$  metric. *Information Processing Letters*, 17(4):219–223, November 1983.
- [15] Leonidas J. Guibas and Jorge Stolfi. Primitives for the manipulations of general subdivisions and the computation of Voronoi diagrams. *ACM Transactions on Graphics*, 4(2):74–123, April 1985.
- [16] Helena C. G. Leitão and Jorge Stolfi. A multiscale method for the reassembly of two-dimensional fragmented objects. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(9):1239–1251, September 2002.
- [17] Helena C. G. Leitão, Rafael V. Saracchini, and Jorge Stolfi. Program sources and test images for photometric stereo with light gauges. On-line archive at <http://www.ic.uff.br/~raab/projects/phstereo/2006-08/>; last accessed on ??/??/2006., 2006.
- [18] Helena Cristina G. Leitão and Jorge Stolfi. Measuring the information content of fracture lines. *International Journal of Computer Vision*, 65(1):163–174, October 2005.
- [19] R. L. W. Liesenfeld and J. Stolfi. Realistic simulation of viscoelastic bodies. Technical Report IC-97-12, Institute of Computing, Univ. of Campinas, September 1997.
- [20] Luis A. P. Lozada, Cândido F. X. de Mendonça, and Jorge Stolfi. Visualization of three-dimensional maps. In *Proceedings of SIBGRAPI 2000 - 13th Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, pages 251–258, October 2000.
- [21] Rodrigo Minetto, Neucimar J. Leite, and Jorge Stolfi. Reliable detection of camera motion based on weighted optical flow fitting. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP'07)*, volume IU/MTSV, pages 435–440. INSTICC Press, Portugal, March 2007.
- [22] Arnaldo J. Montagner and Jorge Stolfi. Gems: A general data structure for  $d$ -dimensional triangulations. Technical Report IC-06-16, Institute of Computing, Univ of Campinas, September 2006.
- [23] Arnaldo J. Montagner and Jorge Stolfi. General convex hull using the Gem data structure. Technical Report IC-06-11, Institute of Computing, Univ. of Campinas, May 2006.
- [24] Arnaldo Jovanini Montagner and Jorge Stolfi. Gems: A general data structure for  $d$ -dimensional triangulations. In Naoki Katoh, editor, *Abstracts of the Kyoto International Conference on Computational Geometry and Graph Theory (KyotoCGGT2007)*, pages 151–153. Kyoto University, June 2007.

- [25] Afonso Paiva, Luiz Henrique de Figueiredo, and Jorge Stolfi. Robust visualization of strange attractors using affine arithmetic. *Computers & Graphics*, 30(6):1020–1026, December 2006.
- [26] Rober M. Rosi, Cândido F. X. de Mendonça Neto, Luís A. P. Lozada, and Jorge Stolfi. Automatic visualization of two-dimensional cellular complexes. In Stephen North, editor, *Proceedings of Graph Drawing '96*, volume 1190 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 303–317. Springer, September 1996.
- [27] Jeffrey O. Shallit and Jorge Stolfi. Two methods for generating fractals. *Computers & Graphics*, 13(2):185–191, March 1989.
- [28] Jack Snoeyink and Jorge Stolfi. Objects that cannot be taken apart with two hands. *Discrete & Computational Geometry*, 12:367–384, 1994.
- [29] Jorge Stolfi. *Oriented Projective Geometry: A Framework for Geometric Computations*. Academic Press, 1991.
- [30] Christian Vogler, Siome Goldenstein, Jorge Stolfi, Vladimir Pavlovic, and Dimitris Metaxas. Outlier rejection in high-dimensional deformable models. *Image and Vision Computing*, 25(3):274–284, March 2007.

## Algumas publicações de K. Metze em computação visual

Segue uma relação de algumas das publicações recentes do Prof. Konradin Metze para evidenciar sua atuação substancial em processamento de imagens, e sua colaboração com o Prof. Neucimar Leite. Ambos são pesquisadores principais do projeto.

- [31] G. B. Oliveira, F. G. Pereira, K. Metze, and I. Lorand-Metze. Spontaneous apoptosis in chronic lymphocytic leukemia and its relationship to clinical and cell kinetic parameters. *Cytometry*, 46(6):329–335, 2001.
- [32] L. B. Rocha, R. L. Adam, N. J. Leite, K. Metze, and M. A. Rossi. Biomineralization of polyanionic collagen-elastin matrices during cavariial bone repair. *Journal of Biomedical Materials Research, Part A*, 79A(2):237–245, November 2006. Manuscript JBMR-A-05-0530 R1 no prelo.
- [33] K. Metze, R. L. Adam, P. V. Silva, R. B. De Carvalho, and N. J. Leite. Analysis of chromatin texture by Pinkus' approximate entropy. *Cytometry, Part A*, 59A(1):63–63, 2004.
- [34] K. Metze, G. B. Oliveira, F. G. Pereira, R. L. Adam, and I. Lorand-Metze. Spontaneous apoptosis in chronic lymphocytic leukemia is not an independent prognostic factor for stability of disease when compared with combined AgNOR and TTM scores. *Cell Oncology*, 27(3):199–201, 2005.

- [35] R. L. Adam, E. Ribeiro, K. Metze, N. J. Leite, and I. Lorand-Metze. Morphometric and granulometric features of erythroblasts as a diagnostic tool of hematologic diseases. *Cytometry, Part A*, 59A(1):46–46, 2004.
- [36] M. P. Auada, R. L. Adam, N. J. Leite, M. B. Puzzi, M. L. Cintra, W. B. Rizzo, and K. Metze. Texture analysis of the epidermis based on the fast Fourier transform in Sjogren-Larsson syndrome. *Analytical and Quantitative Cytology and Histology*, 28(4):219–227, August 2006. MS# AQ-00872-06.
- [37] R. C. Ferreira, P. S. de Matos, R. L. Adam, N. J. Leite, and K. Metze. Application of the Minkowski-Bouligand fractal dimension for the differential diagnosis of thyroid follicular neoplasias. *Cellular Oncology*, 28(5–6):331–333, 2006.
- [38] I. Lorand-Metze, E. Ribeiro, C. S. P. Lima, L. S. Batista, and K. Metze. Detection of hematopoietic maturation abnormalities by flow cytometry in myelodysplastic syndromes and its utility for the differential diagnosis with non-clonal disorders. *Leukemia Research*, —. In Press, Available online 5 June 2006.

## Algumas publicações de L. Velho em computação visual

Seguem algumas publicações do Prof. Luiz Velho, colaborador externo do projeto, para evidenciar sua atuação em diversas sub-áreas da computação visual.

- [39] Jonas Gomes and Luiz Velho. *Image Processing For Computer Graphics*. Springer, 1997.
- [40] Luiz Velho, Dimas M. Morera, and Paulo C. Carvalho. Computing geodesics on triangular meshes. *Computers & Graphics*, 29(5), 2005.
- [41] Luiz Velho and Jonas Gomes. Digital halftoning with space filling curves. *Computer Graphics*, 25(4):81–90, 1991.
- [42] Luiz Velho and Jonas Gomes. *Fundamentos da Computação Gráfica*. IMPA, 2004.
- [43] Luiz Velho and Jonas Sossai Jr.. Projective texture atlas construction for 3D photography. *The Visual Computer*, 23, 2007.
- [44] Luiz Velho and Paulo C. Carvalho. Mathematical optimization methods in graphics and vision. SIGGRAPH Course Notes. ACM, 2003.
- [45] Luiz Velho, Paulo C. Carvalho, and Jonas Gomes. Image processing and wavelets. In *First Latin American Congress of Mathematicians*.
- [46] Luiz Velho, Siome K. Goldenstein, and Christian VOGLER. Adaptive deformable models for graphics and vision. *Computer Graphics Forum*, 2005.
- [47] Luiz Velho, Thomas Lewiner, Helio Lopes, and Vinicius Mello. Extraction and compression of hierarchical isocontours from image data. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 30:231–242, 2006.



- [48] Luiz Velho, Thomas Lewiner, Marcos Craizer, Helio Lopes, Sinésio Pesco, and Esdras Medeiros. GEncode: Geometry-driven compression for general meshes. *Computer Graphics Forum*, 2006.
- [49] Luiz Velho, Roberto César Jr., David Pires, and Marcelo Vieira. Rastreamento de componentes conexas em vídeo 3d para obtencao de estruturas tridimensionais. In *Proceedings of WTDCGPI 2006*, 2006.

## Algumas publicações de L. Guibas em computação visual

Seguem algumas poucas publicações do Prof. Leonidas Guibas, de Stanford, para evidenciar a atuação de um pesquisador internacional em diversas sub-áreas da computação visual.

- [50] Niloy J. Mitra, Leonidas J. Guibas, and Mark Pauly. Symmetrization. *ACM Transactions on Graphics*, 26(3):63, 2007.
- [51] Yossi Rubner, Carlo Tomasi, and Leonidas J. Guibas. The earth mover's distance as a metric for image retrieval. *International Journal of Computer Vision*, 40(2):99–121, 2000.
- [52] Brad Schumitsch, Sebastian Thrun, Leonidas J. Guibas, and Kunle Olukotun. The identity management kalman filter (imkf). *Robotics: Science and Systems*, 2006.
- [53] Jean-Daniel Boissonnat, Leonidas J. Guibas, and Steve Oudot. Manifold reconstruction in arbitrary dimensions using witness complexes. In *Proceedings of Symposium on Computational Geometry 2007*, pages 194–203, 2007.
- [54] Ali Ozer Ercan, Abbas El Gamal, and Leonidas J. Guibas. Object tracking in the presence of occlusions via a camera network. In *Proceedings of IPSN 2007*, pages 509–518, 2007.
- [55] Qing Fang, Jie Gao, and Leonidas J. Guibas. Landmark-based information storage and retrieval in sensor networks. In *Proceedings of INFOCOM 2006*, 2006.
- [56] Leonidas J. Guibas, Brian Rogoff, and Carlo Tomasi. Fixed-window image descriptors for image retrieval. *Storage and Retrieval for Image and Video Databases*, pages 352–362, 1995.