

**Relatório Científico do Projeto Edital Universal
Métodos de Aproximação para Computação Visual**

Processo: 472402/2007-2

Período do relatório: ???/2007 a ???/2009

Jorge Stolfi, IC-UNICAMP (SP) - Coordenador

Alexandre Xavier Falcão, IC-UNICAMP (SP) - Colaborador

Anamaria Gomide, IC-UNICAMP (SP) - Colaboradora

Helena Cristina da Gama Leitão, IC-UFF (RJ) - Colaboradora

Luiz Carlos Pacheco Rodrigues Velho, IMPA (RJ) - Colaborador

Luiz Henrique de Figueiredo, IMPA (RJ) - Colaborador

Neucimar Jerônimo Leite, IC-UNICAMP (SP) - Colaborador

Ricardo da Silva Torres, IC-UNICAMP (SP) - Colaborador

Siome Klein Goldenstein, IC-UNICAMP (SP) - Colaborador

Sônia Maria Gomes, IMECC-UNICAMP (SP) - Colaboradora

Sumário

1	Resumo	1
1.1	Linhas de pesquisa	1
1.2	Publicações	2
1.3	Outras pesquisas dos membros do temático	2
1.4	Aquisição de equipamento e material	2
2	Métodos multi-escala	3
2.1	Bases para representação multi-escala de imagens e vídeos	3
2.2	Representação multi-escala de malhas triangulares	3
2.3	Morfologia matemática multi-escala de imagens	4
2.4	Registro multi-escala de imagens	4
2.5	Recuperação de imagens por comparação multi-escala	5
2.6	Análise de forma baseada na dimensão fractal	6
2.7	Aproximação com splines e bases radiais na esfera	7
2.8	Análise de imagens médicas	8
3	Métodos de aproximação não-linear	9
3.1	Determinação de contornos suaves para imagens binárias	9
3.2	Segmentação de imagens e vídeos	10
3.3	Compressão de imagens	10
3.4	Segmentação de vídeos por movimento de câmera	11
3.5	Métodos fotométricos para visão 3D	11
3.6	Rastreamento de objetos deformáveis	13
3.7	Classificação de padrões em imagens	13
3.8	Comparação garantida de imagens em escala reduzida	15
4	Outras atividades de membros do projeto	16
4.1	Atividades de pesquisa e consultorias	16
5	Referências bibliográficas	17
5.1	Publicações relacionadas ao projeto	17
5.2	Outras publicações de membros do projeto no período	24
5.3	Outras citações bibliográficas	27

1 Resumo

1.1 Linhas de pesquisa

No período coberto por este relatório, os pesquisadores do projeto progrediram em várias das linhas previstas originalmente:

- Bases para representação multi-escala de imagens e vídeos
- Morfologia matemática multi-escala de imagens
- Registro multi-escala de imagens
- Recuperação de imagens por comparação multi-escala
- Aproximação com splines e bases radiais na esfera
- Análise de forma baseada na dimensão fractal
- Determinação de contornos suaves para imagens binárias
- Segmentação de vídeos por movimento de câmera
- Métodos fotométricos para visão 3D
- Rastreamento de objetos deformáveis
- Compressão eficiente de vídeos de segurança
- Comparação garantida de imagens em escala reduzida
- Segmentação de imagens e vídeos

Algumas das linhas de pesquisa previstas no plano inicial ainda não foram iniciadas:

- Suavização geométrica de curvas.
- Aplicação de aritmética afim em computação visual.
- Determinação de correspondências aproximadas em imagens.

Em compensação, novas linhas de pesquisa surgiram por desdobramento das linhas iniciais ou adesão de novos pesquisadores e estudantes:

- Representação multi-escala de malhas triangulares.
- Análise de imagens médicas.
- Classificação de padrões em imagens.
- Inerpolação de superfícies.
- Compressão de imagens.

1.2 Publicações

As atividades e publicações dos membros do projeto, relacionadas ao mesmo, são citadas nas seções pertinentes deste relatório (2 e 3). Elas incluem três livros publicados por editoras internacionais:

- *Mathematical Optimization in Computer Graphics and Vision*, por L. Velho, P. C. Carvalho, L. Figueiredo, e J. Gomes (Morgan Kaufmann, 2008);
- *High Dynamic Range Image Reconstruction*, por Asla Sá, P. C. Carvalho, and L. Velho (Morgan & Claypool, 2008);
- *Image Processing for Computer Graphics and Vision*, por L. Velho, A. Frery, and J. Gomes (Springer, 2008)

As publicações relacionadas ao projeto no período incluem também 21 artigos em periódicos internacionais [?, 4–22], 19 capítulos de livros e trabalhos em anais de congressos internacionais [24–42], um livro nacional [43], 18 capítulos de livros e trabalhos em congressos nacionais e regionais [44–61], 5 orientações concluídas de Doutorado [62–66] e 4 de Mestrado [67–70].

1.3 Outras pesquisas dos membros do temático

A título de informação de contexto, na seção 4 mencionamos algumas outras atividades de pesquisa e desenvolvimento dos membros, no período em questão, que não estão diretamente relacionadas com o Temático. Vale notar também que vários membros do Temático exerceram atividades administrativas no período do relatório. Em particular, J. Stolfi, A. Gomide, e R. Torres foram respectivamente Diretor, Diretora Associada, e Coordenador de Graduação do IC-UNICAMP durante praticamente todo esse período.

1.4 Aquisição de equipamento e material

★[Verificar:] No decorrer do primeiro ano foram adquiridos equipamentos para os docentes integrantes do projeto, e equipamento de infra-estrutura (servidoras de ciclos) para o Laboratório de Informática Visual, usado pela maioria dos alunos de pós-graduação ligados ao Temático.

2 Métodos multi-escala

2.1 Bases para representação multi-escala de imagens e vídeos

Pesquisadores envolvidos: A. Gomide, J. Stolfi, S. Gomes, L. Velho.

O objetivo deste sub-projeto era desenvolver representações inovadoras de imagens e vídeos segundo a técnica multi-escala.

Malhas diádicas adaptativas. Com vistas a esse objetivo, continuamos desenvolvendo as estruturas de dados e algoritmos para representação de malhas diádicas definidas anteriormente por J. Stolfi, A. Gomide e outros [116]. Estas atividades são o tema do trabalho de Doutorado do aluno Douglas Azevedo Castro, do IMECC-UNICAMP, que está sendo orientado por S. Gomes [33, 60]. Dentro desse trabalho, estamos desenvolvendo um integrador genérico para equações diferenciais parciais usando malhas diádicas adaptáveis.

Métodos multi-escala para análise de sinais e EDP. Neste período realizamos estudos teóricos sobre formalismos matemáticos e desenvolvemos algoritmos para analisar sinais espaço-temporais [71, 74, 79, 81].

Realizamos também estudos teóricos, numéricos e computacionais para o desenvolvimento de formalismos multiescala modernos, como bases de wavelets e bases radiais multiescala, para resolver simulações numéricas utilizando EDP evolutivas com singularidades isoladas [9, 10, 24, 42]. Fizemos uma análise comparativa de dois esquemas multiescala (refinamento adaptativo de malhas e multiresolução adaptativa) para as equações reativas de Euler [46, 48]. Aplicamos essas técnicas a problemas de propagação de ondas eletromagnéticas, descritas pelas equações de Maxwell, em meios heterogêneos [25, 78, 80], e para as equações de valoração de Black-Sholes [59].

2.2 Representação multi-escala de malhas triangulares

Pesquisadores envolvidos: A. Gomide, J. Stolfi, S. Goldenstein, L. Velho.

Esta é uma nova linha de pesquisa, centrada na aproximação de superfícies por malhas triangulares — uma técnica bem conhecida e largamente usada na modelagem de formas geométricas.

Decomposição espectral de malhas. Nesse período, S. Goldenstein orientou o trabalho de mestrado de Fernando de Goes, sobre um método matemático para segmentação e esqueletização de malhas de modelos articulados utilizando técnicas de decomposição espectral [11, 12, 16]. Este trabalho incluiu o desenvolvimento de um método para representação e adaptação dinâmica de malhas de modelos deformáveis [15].

Modelagem por malhas paramétricas. Em outra linha de pesquisa, L. Velho e outros pesquisadores desenvolveram uma técnica inovadora de modelagem geométrica que ajusta uma superfície suave a uma malha de triângulos de topologia arbitrária [6].

Curvas geodésicas de Bézier. Em colaboração com outros pesquisadores do IMPA, L. Velho também encontrou uma maneira de transpor o algoritmo de DeCasteljau para superfícies arbitrárias (em particular, malhas e triângulos), usando interpolação geodésica em lugar da tradicional interpolação afim [14]. Esta técnica permite usar o paradigma de curvas de Bézier para modelagem e aproximação de curvas sobre tais superfícies.

2.3 Morfologia matemática multi-escala de imagens

Pesquisadores envolvidos: N. Leite.

O objetivo deste sub-projeto era identificar métodos eficientes de simplificação da “topografia” de uma imagem através de um processo de transformação multi-escala, no contexto das teorias do espaço-escala não-linear e morfologia matemática (MM).

Estas transformações podem ser utilizadas em diversas aplicações de processamento de imagens, tais como binarização e segmentação, para melhorar a qualidade dos resultados obtidos.

Simplificação multiescala da imagem. As atividades nesta linha incluíram o trabalho de Doutorado de Leyza Dorini (orientada por N. Leite, concluída em 2009) [62], que um operador do tipo *toggle* [36, 57, 58] com propriedades do tipo espaço-escala para efetuar uma simplificação topológica controlada de imagens, em que máximos e mínimos interagem ao mesmo tempo. Esta é uma vantagem em relação a outros métodos que tratam esses dois tipos de extremos separadamente. A análise de diferentes níveis de representação do sinal conduz a inúmeras vantagens, possibilitando lidar adequadamente com sua natureza multi-escala, e permitindo a extração de características específicas que se tornam explícitas a cada escala.

Processamento de impressões digitais. Dentro desta linha de pesquisa se enquadram os trabalhos de N. Leite sobre o uso de técnicas de morfologia matemática para pré-processamento de impressões digitais [22].

Operadores multiescala para binarização de imagens. A partir de variações na formulação e no modo de aplicação do operador proposto, foi possível definir uma nova operação de *limiarização adaptativa multi-escala* [41] e um método morfológico de filtragem e segmentação. Foram realizados diversos experimentos que comprovam o interesse das abordagens propostas. Parte dos resultados aqui obtidos foi aplicada em trabalhos de doutorado e mestrado financiados pela FAPESP, em particular nas atividades de pesquisa envolvendo simplificações topológicas de imagens.

2.4 Registro multi-escala de imagens

Pesquisadores envolvidos: A. Falcão, A. Gomide, J. Stolfi, L. Velho, N. Leite.

O objetivo deste sub-projeto era desenvolver métodos robustos e eficientes para *registro* (alinhamento) de duas ou mais imagens afetadas por deformações arbitrárias.

Algoritmo para correspondência ótica. As atividades deste sub-projeto incluem o trabalho de tese do aluno Rodrigo Minetto (Doutorado, orientado por N. Leite e co-orientado por J. Stolfi). No período em questão, implementamos o algoritmo multi-escala de Kanade, Lucas e Tomasi (KLT) para localização eficiente de regiões semelhantes em duas imagens. Nessa ocasião, fizemos um estudo aprofundado do algoritmo de alinhamento local mono-escala de Lucas e Kanade (LK), que é o passo principal do algoritmo KLT. As implementações do LK geralmente usam métodos de minimização com convergência lenta (primeira ordem) para encontrar o alinhamento ótimo. Usando uma combinação dos métodos de Newton-Raphson (NR) e de descida pelo gradiente, conseguimos ampliar o raio de convergência do algoritmo LK, de ≈ 2 pixels para ≈ 4 pixels, preservando a velocidade de convergência (segunda ordem) do método NR. Esta melhoria também tornou o algoritmo KLT mais robusto e eficiente. Estes resultados foram apresentados em congresso nacional [51] e estão sendo escritos para publicação em revista.

O algoritmo KLT será uma ferramenta básica para nossas futuras pesquisas em alinhamento de imagens. Por definição, o algoritmo KLT já encontra o alinhamento translacional ótimo de duas imagens. Para alinhamentos com mais graus de liberdade (rotação, cisalhamento, mudança de escala, perspectiva, morphing, etc.) pode-se aplicar o KLT a uma coleção de janelas pequenas distribuídas sobre as duas imagens, e ajustar o modelo apropriado de transformação aos pares de correspondências assim obtidas.

Otimização por gradiente multi-escala. Em um contexto mais amplo, onde estamos interessados no ponto ótimo de uma função critério que varia com determinados parâmetros, o método do gradiente descendente pode ser aplicado em múltiplas escalas do espaço de parâmetros. Na verdade, isto nem requer a geração explícita do espaço de parâmetros em várias escalas, o que seria inviável em várias aplicações. O gradiente é calculado em várias escalas de diferenciação da função critério. Em cada escala, o gradiente pode apresentar magnitude, direção e sentido diferentes. A mudança dos parâmetros é feita então em magnitude, direção e sentido que aproxima o ponto ótimo da função critério. Esta variante simples foi proposta na dissertação de mestrado de Fernanda Favretto (concluída em março de 2009, orientada por A. Falcão) [67] e melhorou a acurácia e velocidade de convergência do registro rígido de imagens tridimensionais (especificamente, imagens de ressonância magnética do cérebro humano). Estes resultados foram apresentados no SIBGRAPI em 2008 [50]. A técnica baseada no descendente de gradiente em múltiplas escalas não foi publicada ainda, mas eles estão escrevendo o artigo para revista internacional. Esta técnica será investigada pelo Prof. Falcão em outras aplicações relacionadas ao projeto, como recuperação e classificação de imagens, combinação de descritores de forma, cor e textura, e alinhamento de modelos discretos com a imagem para fins de rastreamento de objetos em vídeo e segmentação.

2.5 Recuperação de imagens por comparação multi-escala

Pesquisadores envolvidos: J. Stolfi, H. Leitão.

O objetivo deste sub-projeto era desenvolver métodos para busca de imagens por conteúdo usando técnicas multi-escala.

Protótipo para busca multi-escala. As atividades deste sub-projeto estão sendo atualmente executadas como parte do projeto de Mestado do aluno Carlos Zampieri, orientado por J. Stolfi.

Neste período desenvolvemos e testamos um protótipo do programa para busca de imagens por conteúdo multi-escala, usando como critério de comparação a distância euclidiana $\text{dist}(A, B) = \sqrt{\sum_p (A[p] - B[p])^2}$. Inicialmente construímos, para cada imagem B do banco, a pirâmide de imagens $\mathbb{B}^{(0)} = B, \mathbb{B}^{(1)}, \dots, \mathbb{B}^{(m)}$ reduzidas em progressão geométrica. Na busca, calculamos estimativas intervalares garantidas (seção 3.8) para a distância $\text{dist}(A, B)$ usando as imagens reduzidas $\mathbb{A}^{(k)}, \mathbb{B}^{(k)}$ em ordem decrescente de k . Estas estimativas, muito mais rápidas de calcular que $\text{dist}(A, B)$, permitem eliminar rapidamente muitas das imagens do banco.

Para esta técnica, desenvolvemos e testamos estimadores da distância euclidiana baseados em aritmética intervalar (usando imagens reduzidas por máximo e mínimo) e na geometria euclidiana no espaço n -dimensional (usando imagens reduzidas por média e variância); sendo que este último, surpreendentemente, se revelou mais preciso e eficaz que o primeiro. Também aplicamos estas técnicas à distância euclidiana cumulativa multi-escala, $\text{dist}^*(A, B) = \sum_k \lambda_k \text{dist}(\mathbb{A}^{(k)}, \mathbb{B}^{(k)})$ com pesos dados λ_k .

Para testar este método, obtivemos dois bancos de imagens, cada um com cerca de 1000 imagens de natureza bastante variada. Nas duas bases, a busca multi-escala permitiu economizar entre 80 e 95% do custo computacional, em relação à busca exaustiva na escala original. Vale notar que, embora o método use aproximações para acelerar a busca, o resultado final é sempre exato — isto é, a imagem encontrada é realmente a imagem do banco mais próxima à imagem de busca. Estes resultados estão sendo descrito em artigo para apresentação em congresso.

Wavelets para identificação de impressões digitais. Nesta linha de pesquisa também se insere o trabalho de N. Leite e R. Torres sobre o uso da transformada wavelet na busca em bancos de impressões digitais [20].

2.6 Análise de forma baseada na dimensão fractal

Pesquisadores envolvidos: R. Torres, A. Falcão, N. Leite.

Os objetivos originais deste sub-projeto eram o desenvolvimento de descritores de formas baseados em análise multi-escala e fractalidade.

Combinação de descritores por programação genética. A análise de dimensão fractal pode ser aplicada no contexto de recuperação de imagens ou classificação de padrões em imagens. A dimensão fractal proposta em [118] foi avaliada por A. Falcão em conjunto com 12 outros descritores de forma, cor e textura no contexto de classificação de padrões em imagens para o diagnóstico de espécies parasitárias. A metodologia empregada usou o método baseado em programação genética [4] para selecionar e/ou combinar descritores visando maximizar a acurácia da classificação por floresta de caminhos ótimos [19]. Entre os 13 descritores avaliados, 7 foram selecionados na melhor árvore de operações e a dimensão

fractal estava entre eles. Estes resultados não foram publicados ainda, porque os avanços desta aplicação estavam sendo patenteados (ver PCT WO 2008/064442 A2).

Descritores de textura derivados de wavelets. No período, N. Leite investigou descritores texturais extraídos por transformadas wavelets [8].

2.7 Aproximação com splines e bases radiais na esfera

Pesquisadores envolvidos: A. Gomide, S. Gomes, J. Stolfi, L. Velho.

O tema deste sub-projeto era o desenvolvimento de técnicas de aproximação variadas (harmônicos esféricos, bases radiais, ou splines) para funções definidas sobre uma esfera unitária n -dimensional S^n .

Modelagem de mapas de iluminação. Uma aplicação para estas técnicas é a modelagem do *mapa de iluminação* usado em muitos métodos de síntese de imagens realistas. Esse mapa é uma representação do fluxo de luz médio que incide sobre uma cena provindo de fontes externas, em cada direção. Mais precisamente, o fluxo de luz em um ponto do espaço pode ser idealizado como uma função real $\Phi(u)$ definida em S^2 que dá a energia dos fótons que passam perto desse ponto com direções próximas a u , por unidade de tempo.

Com o aluno de mestrado Aldo Zhang, L. Velho desenvolveu métodos para a captura de mapas de iluminação na forma de imagens de grande variação dinâmica (HDR) [61].

Captura do fluxo de luz por gabarito de iluminação. No período do relatório, o doutorando Rafael Saracchini e J. Stolfi continuaram desenvolvendo técnicas para a captura e modelagem do fluxo de luz para fins do sub-projeto de estéreo fotométrico (seção 3.5).

Em estéreo fotométrico, o fluxo Φ é geralmente desconhecido; que pode ser observado é a *função de tonalização* $\Lambda(u)$, que é a cor aparente de uma superfície com normal u exposta ao fluxo Φ . A função Λ pode ser determinada a partir da imagem de um *gabarito de iluminação*, um objeto convexo suave cuja forma e função de espalhamento de luz (FBDR) são conhecidas — tipicamente, uma esfera com superfície branca e acabamento fosco. Nesse caso, $\Lambda(u)$ é a cor aparente do gabarito no ponto do mesmo onde a normal é u . Basta então ajustar um modelo matemático, por exemplo uma série de harmônicos esféricos ou de funções radiais, a esses pares de dados.

A grosso modo, a função $\Lambda(u)$ é conhecida apenas no hemisfério do gabarito que é visível a partir da câmera. Por essa razão, estamos por enquanto tratando a tonalização Λ como função de duas variáveis (u_x, u_y) definida no disco unitário B^2 . Como parte do projeto de Doutorado de Rafael Saracchini, orientado por J. Stolfi, desenvolvemos um algoritmo para ajustar um modelo matemático à função de tonalização, combinando uma aproximação de quadrados mínimos em uma base apropriada (harmônicos esféricos ou funções radiais) e uma função sigmóide não-linear. Essa modelagem permite eliminar boa parte do ruído (erros de quantização e defeitos de acabamento) que contaminam a imagem do gabarito, especialmente próximo ao contorno do mesmo.

Ajuste automático da geometria do gabarito. Nesse método, supõe-se geralmente que o contorno do gabarito na imagem é um círculo, que a normal u é vertical no centro desse círculo, e que a parte visível do mesmo consiste dos pontos onde a normal u tem componente vertical positiva. Entretanto, quando a câmera está a uma distância finita da cena, a imagem de um gabarito esférico não é um círculo mas sim uma elipse; e a parte visível do mesmo varia conforme sua posição na imagem. Estes detalhes terão que ser levados em conta para conseguirmos estéreo fotométrico de precisão em situações realistas; por exemplo, para acomodar variação espacial na iluminação, ou para deduzir a posição de fontes de luz que estão fora do campo da imagem.

Ainda dentro do projeto de R. Saracchini, desenvolvemos um programa para ajustar uma elipse à linha de silueta (contorno da projeção) de um gabarito esférico em uma imagem. O programa usa a técnica de otimização multi-escala para obter rapidamente resultados de alta precisão (fração de pixel) mesmo a partir de posicionamentos iniciais bastante grosseiros. A partir dos dados dessa elipse podemos compensar os efeitos de perspectiva e calcular a normal exata de cada ponto visível do gabarito.

2.8 Análise de imagens médicas

Pesquisadores envolvidos: N. Leite, R. Torres, A. Falcão.

Esta nova linha de pesquisa objetiva a análise de imagens histopatológicas e citológicas a fim de extrair informações relevantes para diagnósticos e prognósticos.

As atividades deste sub-projeto foram realizadas principalmente na forma de colaboração de N. Leite em projetos do Prof. Konradin Metze da Faculdade de Ciências Médicas (FCM) da UNICAMP, realizados primariamente pelo Dr. Randall Luís Adam do Hospital das Clínicas da UNICAMP, e vários outros associados e alunos do Prof. Metze. Essas colaborações resultaram em vários artigos com co-autoria de membros do projeto [7, 44].

Análise da textura da cromatina. Atualmente estamos pesquisando o poder diagnóstico e prognóstico da análise de imagens da cromatina. Um fruto dessa colaboração foi o software *FourierDetect* para análise de imagens, que está em fase de registro no INPI [13, 76]. A pesquisadora Rita de Cassia Ferreira (orientada por K. Metze com a colaboração de N. Leite e L. Ward) está investigando a análise da cromatina como fator prognóstico em carcinoma papilífero da tireóide [5].

Diagnose automática de enteroparasitoses. No IC-UNICAMP, A. Falcão e seu aluno de Doutorado Jancarlo Gomes (tese defendida em 12/2008) desenvolveram e patentearam técnicas originais para diagnóstico de enteroparasitoses por análise de imagens microscópicas [65]. Na tese de Doutorado de João Paulo Papa (também orientada por A. Falcão, defendida em 11/2008) essas técnicas foram aplicadas com sucesso a outros tipos de diagnóstico [31, 63].

3 Métodos de aproximação não-linear

3.1 Determinação de contornos suaves para imagens binárias

Pesquisadores envolvidos: J. Stolfi, L. Figueiredo.

O tema deste sub-projeto era construir curvas ou superfícies suaves (*envoltórias*) envolvendo ou separando conjuntos finitos de pontos dados, respectivamente no plano ou no espaço.

Escolha da família de separadores. No período em questão, uma parte das atividades deste sub-projeto foram desenvolvidas principalmente como projeto de tese de Doutorado da aluna Ana Paula Malheiro, orientada por J. Stolfi. Nesse projeto, consideramos em particular o caso em que os conjuntos X e Y formam uma partição dos vértices de uma malha regular com células quadradas (no plano) ou cúbicas (no espaço).

Para modelar as envoltórias, escolhemos o espaço \mathcal{P}_c^g dos splines polinomiais implícitos (em vez de paramétricos) definidos sobre essa malha, com continuidade formal de ordem 1. O uso de splines implícitos simplifica os aspectos topológicos do problema, especialmente em três dimensões.

Para escolher dentre todas as envoltórias desse tipo que separam X de Y , usamos uma função quadrática Q (*energia* ou *feiura*) tal que Q é zero quando todos os retalhos da envoltória pertencem à mesma variedade quadrática implícita (curva cônica ou superfície quádrlica). A determinação da envoltória fica portanto reduzida a um problema de minimização quadrática com restrições lineares.

Neste período investigamos vários sub-espacos dos splines polinomiais implícitos, determinando o número e a natureza dos graus de liberdade dos mesmos. Concluímos, por exemplo, que os splines bilineares ($\mathcal{P}_1^{1,1}$) não possuem liberdade suficiente; enquanto que splines de grau total 2 (\mathcal{P}_1^2) são suficientes, mas não admitem uma base de elementos finitos, nem mesmo quando restritos a uma fileira quase-unidimensional de células. Por outro lado, splines tensoriais de grau 2 ($\mathcal{P}_1^{2,2}$) possuem um número excessivo de graus de liberdade. Por enquanto nossa escolha continua sendo \mathcal{P}_1^2 .

Implementação do algoritmo separador. No decorrer desses testes, implementamos um programa genérico para determinar a envoltória ótima no plano, para uma dada partição X, Y . As partes principais do programa, que fazem a otimização quadrática, são essencialmente genéricas quanto à dimensão do espaço e à natureza e grau dos splines \mathcal{P}_c^g . O programa também permite escolher o modelo aritmético a usar durante a otimização, quer números em ponto flutuante de 64 bits (aproximados) ou números racionais 64+64 bits (exatos). A aritmética de ponto flutuante é muito mais rápida, e admite malhas muito maiores antes de falhar por *overflow*; mas pode produzir um resultados muito incorretos.

Construção de envoltórias robustas por bases radiais. Em uma linha separada de pesquisa, L. Figueiredo e seu aluno Emílio Brazil consideraram o problema de construir uma envoltória justa para um conjunto I de pontos dados no plano, densamente amostrados no interior de uma região desconhecida. Nesta versão do problema, o exterior da região não é

amostrado explicitamente (isto é, o conjunto X não é dado), os pontos de amostragem não formam uma grade regular, e pode haver ruído nos dados (alguns pontos espúrios que estão

Determinação automática de elementos finitos. A dificuldade deste problema cresce rapidamente em função do número de variáveis. No plano, com o espaço \mathcal{P}_1^2 , cada célula da fronteira X - Y acrescenta 6 variáveis (coeficientes) ao problema, mas também cinco restrições de continuidade (equações) independentes, e portanto apenas um grau de liberdade (dimensão) ao espaço de splines. Uma maneira de amenizar este problema é usar uma base de elementos finitos para o espaço \mathcal{P}_1^2 . Dessa forma, o número de variáveis (coeficientes da base) será igual à dimensão do espaço de splines, ou seja, 1/6 do tamanho do sistema atual.

Motivados por essa consideração, desenvolvemos um algoritmo para determinar automaticamente a base de elementos finitos de suporte total mínimo para um espaço de splines arbitrários. Embora o algoritmo seja exponencial no pior caso, acreditamos que ele será viável na prática quando o espaço admitir uma base de elementos finitos com suporte $O(1)$ [73]. (Este algoritmo, obviamente, terá muitas outras aplicações além da descrita acima.) Este problema também está relacionado com o projeto de Doutorado de Lucas Freitas (orientado por J. Stolfi com a colaboração de M. Tygel do IMECC-UNICAMP) [72, 75].

3.2 Segmentação de imagens e vídeos

Pesquisadores envolvidos: N. Leite, A. Falcão.

Os objetivos originais deste sub-projeto eram o desenvolvimento de métodos inovadores para a segmentação de vídeos com objetos em movimento em ambientes externos não controlados. Os principais desafios nest área são (a) minimizar o envolvimento e tempo total do usuário no processo (normalmente bem maior que o tempo computacional), (b) maximizar a acurácia e a precisão da segmentação e (c) manter o controle do usuário sobre o processo, para que suas ações não destruam parte da segmentação que já estava correta.

A maioria das atividades desenvolvidas dentro deste sub-projeto foram relacionadas à Transformada Imagem-Floresta (IFT) [119]. Recentemente, avanços consideráveis foram obtidos no contexto de segmentação de cenas naturais [32] e com relação à importância da segmentação automática de vídeo no rastreamento de objetos [82].

Em ambos casos, o uso de modelos discretos de aparência do objeto pode ajudar a minimizar e até eliminar o envolvimento do usuário. O modelo de *nuvens*, por exemplo, tem obtido sucesso na segmentação automática de múltiplos objetos em imagens 3D [34]. Este modelo será investigado para a segmentação de vídeo, no mestrado do Thiago Spina (aluno de Iniciação Científica de A. Falcão). Neste caso, o modelo deve ser gerado a partir da segmentação interativa do primeiro quadro de vídeo.

3.3 Compressão de imagens

Pesquisadores envolvidos: L. Velho.

Este é um novo sub-projeto do temático, cujo objetivo é o desenvolvimento de métodos eficientes de compressão de imagens. Juntamente com a aluna de Mestrado Adriana Schulz

e o Prof. Eduardo A. B. da Silva, L. Velho analisou o desempenho da técnica de *amostragem compressiva* para representação compacta de imagens [35, 43, 56].

3.4 Segmentação de vídeos por movimento de câmera

Pesquisadores envolvidos: N. Leite, J. Stolfi.

O objetivo deste sub-projeto era desenvolver um algoritmo robusto para detecção de movimentos de câmera em vídeos.

A principal atividade desenvolvida nesta linha está ligado ao trabalho de Doutorado do aluno Rodrigo Minetto (orientado por J. Stolfi e co-orientado por N. Leite). Este projeto pode ser visto como uma continuação e expansão do trabalho de Mestrado do aluno (orientado por N. Leite, concluída em 17/08/2007) [125]. e está contribuindo também para outra linha deste mesmo temático (registro de imagens, seção 2.4).

O tema da tese do Minetto é na verdade a segmentação, rastreamento, e determinação da pose de objetos rígidos móveis em vídeos. Os movimentos da câmera podem ser tratados como movimento do “objeto de fundo” (o ambiente) em relação à câmera.

Em todas as etapas deste projeto estamos usando métodos de aproximação, vários deles inovadores. Por exemplo, conseguimos um algoritmo excepcionalmente robusto para calibração da pose da câmera usando uma transformação afim como aproximação inicial para a transformação de perspectiva. Também encontramos uma nova aproximação para a distorção radial da lente, usando uma função racional, cuja inversa pode ser calculada diretamente pela mesma fórmula — enquanto que a inversa da aproximação polinomial padrão exige a solução de uma equação de terceiro grau.

3.5 Métodos fotométricos para visão 3D

Pesquisadores envolvidos: A. Gomide, H. Leitão, J. Stolfi, L. Velho.

Neste sub-projeto as atividades foram centradas nos temas de projeto dos alunos Rafael Saracchini, Danilo Pereira, e Altobelli Mantuan.

Estéreo fotométrico. A tese do aluno Rafael Saracchini (Doutorado, orientado por J. Stolfi) versa sobre estéreo fotométrico (EF), onde o objetivo é determinar a direção normal (ou inclinação) em cada ponto da superfície de um arranjo de objetos (a *cena*), a partir de $m \geq 3$ fotos do mesmo obtidas com iluminações diferentes. Consideramos especificamente a variante do problema conhecida como *EF por exemplos*, onde o sombreamento de cada foto é comparado ao de um objeto de referência (*gabarito*) de forma e cor conhecidas. Nesta versão, a parte demorada do cálculo é determinar o ponto do gabarito que tem a mesma resposta à luz que um ponto dado da cena. Este é um caso particular do *problema de ponto mais próximo* em m dimensões. No decorrer deste ano, desenvolvemos um método extremamente rápido para acelerar este cálculo, usando uma grade bidimensional uniforme de “baldes” adequadamente posicionada no \mathbb{R}^m . Esta solução, que acelera o cálculo por um fator de 100 ou mais, foi apresentada no congresso nacional SIBGRAPI em 2007 [127], e submetida a um periódico internacional.

Ainda neste tema, consideramos em seguida o problema do EF na presença de iluminação não-uniforme da cena (em particular, sombras projetadas e iluminação indireta vinda de outros objetos da cena) ou reflexos acentuados em superfícies polidas. Conseguimos encontrar uma formulação baseada na análise bayesiana que automaticamente deconsidera as imagens da cena onde o ponto analisado está afetado por tais anomalias, e leva em conta apenas as imagens onde a cor do ponto é mais consistente com a do gabarito.

Em princípio, essa análise bayesiana exigiria a integração de uma distribuição de probabilidade complicada, geralmente com m picos estreitos. Nós conseguimos acelerar bastante este cálculo, substituindo essa distribuição por uma aproximação constante-por-partes. Este resultado foi apresentado no SIBGRAPI de 2008 [52] e no CLEI de 2009 [55].

Infelizmente, a técnica de aceleração por grade uniforme de baldes, descrita anteriormente, não funciona nos pontos onde há anomalias de iluminação. Em tais casos, o cálculo da normal é bastante demorado. Estamos investigando uma combinação da grade uniforme com métodos tipo RANSAC para contornar esta dificuldade.

Outra investigação que empreendemos dentro desta área foi a aplicação de técnicas de EF para captura da geometria 3D da face humana, usando uma *webcam* como câmera e o próprio monitor de um PC como fonte de luz variável. Embora existam outras técnicas mais confiáveis e precisas para este fim, como *scanners* 3D a laser e luz estruturada, a abordagem que consiedramos seria imbatível em termos de custo e conveniência.

Radiosidade por elementos finitos. A dissertação de Mestrado de Danillo Pereira (Mestrado, orientado por A. Gomide) [68, 77] versou sobre a síntese de imagens realistas de uma cena virtual levando em conta efeitos de *radiosidade* — isto é, a iluminação indireta devida a fótons que interagem duas ou mais vezes com a superfície da cena.

Para este fim é necessário discretizar de alguma forma a função $E(p)$ que define a intensidade da luz emitida espontaneamente em cada ponto p da cena, e a função $L(p)$ que define a intensidade da luz total (emitida mais espalhada) nesse ponto. Os primeiros trabalhos com radiosidade dividiam a cena em inúmeros elementos de rea, cada qual modelado como um polígono plano, sendo E e L constantes sobre cada elemento. Esta solução deixava muito a desejar, pois as descontinuidades entre elementos eram muito perceptíveis, exigindo elementos menores que um pixel e portanto um número muito grande de elementos.

Uma solução recentemente encontrada para esta dificuldade foi aproximar E e L por meio de elementos finitos com derivadas contínuas até primeira ordem. O projeto do Danillo foi comparar três tipos de bases de elementos finitos para este fim: (1) uma base radial com perfil pseudo-gaussiano, (2) uma versão da mesma normalizada de modo a ser uma partição da unidade; e (3) uma base radial normalizada interpoladora (base de Shepard). As imagens obtidas foram avaliadas tanto visualmente quanto numericamente, contra uma solução “exata” obtida por integração direta da equação de Kajiya [123]. O aluno defendeu o Mestrado em 19/03/2009 e os resultados serão submetidos a congresso nacional.

Determinação de linhas de fratura. Os trabalhos acima, no IC-UNICAMP, estão ligados ao trabalho de Iniciação Científica do aluno Altobelli Mantuan do Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense (orientado por H. Leitão). O objetivo é aplicar as técnicas de estéreo fotométrico desenvolvidas no IC-UNICAMP para a determinação de

linhas e superfícies de fratura em imagens de fragmentos de cerâmica. Esta é uma etapa necessária para a reconstrução automática virtual de objetos fragmentados, um projeto de longo prazo que se iniciou com a tese de Doutorado de H. Leitão [121, 122, 124].

A entrada do detector de fraturas de Altobelli é o mapa de normais calculado pelos softwares desenvolvidos pelo Rafael. Fraturas em objetos cerâmicos podem ser reconhecidas pela sua textura extremamente rugosa e irregular (na verdade, fractal), que contrasta com a relativa suavidade das superfícies originais dos objetos — quer moldados à mão, quer torneados; e pela mudança brusca da direção normal ao longo de suas bordas.

3.6 Rastreamento de objetos deformáveis

Pesquisadores envolvidos: S. Goldenstein, L. Velho, N. Leite.

O objetivo deste sub-projeto era o desenvolvimento de métodos robustos para rastreamento de objetos deformáveis (como faces e pessoas) em vídeos.

Captura e interpretação de linguagem de sinais. Dentro desta linha de pesquisa, S. Goldenstein (em colaboração com C. Vogler do Gallaudet Research Institute) investigou o problema da transcrição automática da linguagem de sinais por computador. Além de um levantamento do estado da arte nesse problema [23], foi investigado o uso de informação da dinâmica do movimento da face para análise e compreensão de linguagem de sinais [21].

Rastreamento de animais. Dentro desta linha de pesquisa também se enquadram os trabalhos de Mestrado (orientados por N. Leite) de Rafael de Souza (concluído em 2008) [69], sobre o rastreamento de animais de laboratório [38] e de Fábio Dias (concluído em 2009) [70], sobre o rastreamento de componentes conexas em vídeos de esporte [39].

3.7 Classificação de padrões em imagens

Pesquisadores envolvidos: A. Falcão, R. Torres, S. Goldenstein.

O objetivo deste sub-projeto é desenvolver métodos para reconhecimento e classificação automática de imagens. Embora não estivesse previsto originalmente no plano do Temático, este sub-projeto enquadra-se no escopo geral do mesmo, e foi ativamente pesquisado com excelentes resultados pelos membros acima.

Técnicas para combinação de descritores. Dentro desta linha, A. Falcão e R. Torres desenvolveram uma metodologia que consiste em interpretar um conjunto de amostras (pixels, objetos da imagem, ou imagens de uma coleção) como um grafo, cujos arcos são definidos por uma relação de adjacência. Uma amostra pode ter associada a ela um ou vários descritores. Cada descritor é um par, função de extração de características de imagem e função de distância entre as características. A distância entre amostras adjacentes (peso da aresta) é calculada pela combinação de distâncias entre as amostras usando cada descritor. A função de combinação é denominada *descritor composto*.

Resultados desta metodologia de combinação de descritores usando programação genética foram demonstrados no contexto de recuperação de imagens [4]. Atualmente, A. Falcão e

R. Torres estão preparando um artigo que demonstra a eficácia do método na classificação de padrões. Neste contexto, o problema é reduzido ao cálculo de uma floresta de caminhos ótimos, que deve particionar o grafo em subflorestas representando as classes das amostras. O método é uma extensão direta da transformada imagem-floresta [119] para problemas mais gerais. A partição elege uma raiz para cada árvore da floresta e as amostras da árvore são as mais fortemente conexas com a sua raiz, considerando a função de conexidade. Diferentes relações de adjacência e funções de conexidade podem ser usadas para modelar o problema como classificação supervisionada [19, 37, 40] ou não-supervisionada [18] de padrões.

No caso supervisionado, o método tem obtido resultados melhores que técnicas clássicas, como máquinas de vetores de suporte e redes neurais, em várias aplicações de análise de imagens [26, 29, 47]. Este tópico foi o tema das teses de doutorado de Leonardo Rocha [64] e João Paulo Papa [63] (defendidas em 2008) e de Javier Montoya (iniciada em 2009), todas orientadas por A. Falcão. João Papa está atualmente trabalhando no projeto como pós-doutor, sob supervisão de A. Falcão.

Técnicas de aprendizado supervisionado. A classificação de padrões pode ainda ser usada para segmentação de imagens e vídeos [32] e como técnica de poda de imagens irrelevantes na recuperação de imagens. O aprendizado supervisionado, neste último caso, se baseia em realimentação de relevância [45] — quando o usuário marca entre poucas imagens retornadas em uma consulta, quais são relevantes. O aprendizado pode ser baseado apenas nesta marcação ou até em anotações, as quais podem ser usadas para agrupar imagens da base de acordo com conceitos atribuídos pelo usuário e descritores de imagens. Os trabalhos neste tópico têm envolvido também o desenvolvimento de descritores [27, 53] e técnicas de seleção e/ou combinação de descritores [4], as quais podem gerar a árvore de programação genética com base na realimentação por relevância [126].

Atualmente, A. Falcão e R. Torres estão co-orientando um aluno de doutorado, Jefersson Alex, em recuperação de imagens para classificação de culturas em sensoriamento remoto, e A. Falcão co-orienta um aluno de doutorado da FEEC-UNICAMP, André Tavares, junto com o prof. Léo Pini, no tópico de aprendizado por realimentação de relevância. Eles irão investigar a combinação de descritores usando o descendente de gradiente em múltiplas escalas neste contexto.

Novos descritores de imagens. Neste período foram desenvolvidos e investigados dois novos descritores para busca de imagens por conteúdo.

O descritor BIC [117] para imagens coloridas havia sido desenvolvido em 2002 como trabalho de mestrado de Renato Stehling (orientado por A. Falcão). Este descritor foi melhorado como parte do projeto de Doutorado do aluno Anderson Rocha (orientado por S. Goldenstein, concluído em março de 2009). Os resultados devem ser publicados em revista no futuro próximo.

Esqueleto afim. A distância de um ponto X a uma curva plana $\gamma(t)$ é geralmente definida como sendo a menor distância euclidiana de X a qualquer ponto da curva. Esta definição dá origem ao conceito tradicional de *esqueleto medial* que é a base de muitos descritores de forma. Uma desvantagem desse descritor é que ele é covariante apenas com transformações

euclidianas (rígidas ou de escala uniforme). Duas métricas alternativas, a *distância afim* e a *distância de área*, permitem definir esqueletos (o *esqueleto afim* e o *esqueleto de área*) que são covariantes também com transformações afins arbitrárias do plano.

Juntamente com Moacyr Silva e Ralph Teixeira, L. Velho mostrou que estes novos esqueletos podem ser definidos como os choques das soluções de certas equações diferenciais parciais — especificamente, a equação de Monge-Ampère [17]. Esta equação inclui, como caso especial, a equação eiconal, que dá origem ao esqueleto medial tradicional. Esta descoberta abre caminho para desenvolvimento de métodos eficientes para cálculo desses novos esqueletos, similares ao *Fast Marching Method* usado para a equação eiconal.

Aplicação a classificação de produtos agrícolas. No trabalho de mestrado de Daniel Hauagge (orientado por S. Goldenstein, concluído em 08/08/2007) foi desenvolvido um método automático para classificação de frutas e legumes que inclui descritores e método para fusão de informações [49].

Técnicas de clusterização para BIC. No trabalho de Doutorado Anderson Rocha (orientado por S. Goldenstein, concluído em março de 2009) [66] foi desenvolvido um modelo matemático hierárquico para BIC eficiente [28].

3.8 Comparação garantida de imagens em escala reduzida

Pesquisadores envolvidos: L. Figueiredo, J. Stolfi.

O objetivo deste sub-projeto era desenvolver estimadores rápidos mas garantidos para a distância entre duas imagens, usando técnicas de computação auto-validada.

Estimador intervalar para distância euclidiana. Este sub-projeto está sendo executado em conjunto com o sub-projeto de busca de imagens por conteúdo usando técnicas multi-escala (seção 2.5); especificamente, como parte do projeto de Mestrado do aluno Carlos Zampieri, orientado por J. Stolfi.

Neste período desenvolvemos estimadores intervalares para a distância euclidiana de imagens, $\text{dist}(A, B) = \sqrt{\sum_p (A[p] - B[p])^2}$. Para tanto, supomos que cada pixel p da imagem reduzida é um intervalo que contém as cores de todos os pixels correspondentes a p na imagem original. O cálculo de $\text{dist}(A', B')$ para imagens reduzidas A', B' , com aritmética intervalar, fornece então um intervalo que garantidamente contém a distância $\text{dist}(A, B)$ das imagens originais (sem redução).

Recentemente estendemos este estimador para comparar imagens de objetos com contorno irregular. Esta versão dá um tratamento diferenciado para pixels do fundo (que não pertencem ao objeto de interesse) de modo que diferenças de contorno são medidas separadamente das diferenças de cor. No futuro próximo pretendemos desenvolver estimadores eficazes e eficientes para outras funções de distância mais sofisticadas, como as distâncias de Hausdorff, de Monge, de *morphing* elástico, de entropia, etc..

4 Outras atividades de membros do projeto

4.1 Atividades de pesquisa e consultorias

A lista abaixo relaciona apenas **algumas** das áreas de pesquisa e publicações de pesquisadores ligados ao projeto, mas fora do escopo do mesmo, no período deste relatório:

- L. Figueiredo e L. Velho: uso de placas gráficas para processar modelos geométricos booleanos [83]; sistemas dinâmicos no plano complexo [92].
- L. Figueiredo: a linguagem de programação Lua [88, 96]; geometria algébrica [84]
- L. Velho: computação em música e dança [91, 93–95, 97, 104, 108]; interfaces para computação visual [86, 105, 107, 110]; análise, modelagem e síntese de expressões faciais [85, 87]; restauração de imagens usando simetria [90]; colorização de vídeos e filmes [106, 109]; visualização não-realista [102]; simulação de água rasa para síntese de imagens [95]; e super-resolução [101].
- N. Leite: desde março de 2009 realizando Pós-Doutorado de um ano na França.
- S. Goldenstein: esteganografia e esteganálise em imagens [111, 114]; pesquisa operacional [115]; uso de inteligência artificial para detecção de fraudes aduaneiras (projeto Harpia da Secretaria da Fazenda) [112, 113].
- S. Gomes: análise de erro e uso de funções de base singulares para o método de Galerkin descontínuo [99, 100, 103].
- J. Stolfi: detecção de regiões codificadoras em DNA [98].

5 Referências bibliográficas

5.1 Publicações relacionadas ao projeto

5.1.1 Livros internacionais

- [1] **Luiz C. P. Velho**, Paulo C. P. Carvalho, **Luiz H. de Figueiredo**, and Jonas Gomes. *Mathematical Optimization in Computer Graphics and Vision*, volume 1. Morgan Kaufmann, 2008.
- [2] Asla Sá, Paulo C. P. Carvalho, and **Luiz C. P. Velho**. *High Dynamic Range Image Reconstruction*, volume 1. Morgan & Claypool, 2008.
- [3] **Luiz C. P. Velho**, Alejandro Frery, and Jonas Gomes. *Image Processing for Computer Graphics and Vision*. Springer, 2008.

5.1.2 Artigos em periódicos internacionais

- [4] **Ricardo S. Torres**, **Alexandre X. Falcão**, Marcos A. Gonçalves, João P. Papa, Baoping Zhang, Weiguo Fan, and Edward A. Fox. A genetic programming framework for content-based image retrieval. *Pattern Recognition*, 42(2):217–312, February 2009.
- [5] Konradin Metze, Rita C. Ferreira, Randall L. Adam, **Neucimar J. Leite**, Laura S. Ward, and Patrícia S. de Matos. Chromatin texture is size dependent in follicular adenomas but not in hyperplastic nodules of the thyroid. *World Journal of Surgery*, 32(12):2744–6, December 2008.
- [6] Marcelo Siqueira, Dianna Xu, Jean Gallier, Luís G. Nonato, Dimas M. Morera, and **Luiz C. P. Velho**. A new construction of smooth surfaces from triangle meshes using parametric pseudo-manifolds. *Computers & Graphics*, 33:331–340, 2009.
- [7] Lenaldo B. Rocha, Randall L. Adam, **Neucimar J. Leite**, Konradin Metze, and Marcos A. Rossi. Shannon’s entropy and fractal dimension provide an objective account of bone tissue organization during calvarial bone regeneration. *Microscopy Research and Technique*, 71(8):619–25, August 2008.
- [8] Javier A. Montoya-Zegarra, João P. Papa, **Neucimar J. Leite**, **Ricardo S. Torres**, and **Alexandre X. Falcão**. Learning how to extract rotation-invariant and scale-invariant features from texture images. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2008:1–15, 2009. Article ID 691924.
- [9] Margarete O. Domingues, **Sônia M. Gomes**, Olivier Roussel, and Kai Schneider. An adaptive multiresolution scheme with local time stepping for evolutionary PDEs. *Journal of Computational Physics*, 227(8):3758–3780, April 2008.
- [10] Margarete O. Domingues, **Sônia M. Gomes**, Olivier Roussel, and Kai Schneider. Space-time adaptive multiresolution methods for hyperbolic conservation laws: Applications to compressible Euler equations. *Applied Numerical Mathematics*, 2009. In press.

- [11] Fernando F. de Góes, **Siome K. Goldenstein**, and **Luiz C. P. Velho**. A hierarchical segmentation of articulated bodies. *Computers Graphics Forum*, 27(5):1349–1356, 2008. Proc. SGP '08 - Eurographics Symposium on Geometry Processing.
- [12] Fernando F. de Góes, **Siome K. Goldenstein**, and **Luiz C. P. Velho**. A hierarchical segmentation of articulated bodies. *Computer Graphics Forum*, 27:10–18, 2008.
- [13] Randall L. Adam, **Neucimar J. Leite**, and Konradin Metze. Image preprocessing improves Fourier-based texture analysis of nuclear chromatin. *Analytical and Quantitative Cytology and Histology*, 30(3):175–184, June 2008.
- [14] Dimas M. Morera, Paulo C. P. Carvalho, and **Luiz C. P. Velho**. Modeling on triangulations with geodesic curves. *The Visual Computer*, 24:1025–1037, 2008.
- [15] Fernando F. de Góes, **Siome K. Goldenstein**, and **Luiz C. P. Velho**. A simple and flexible framework to adapt dynamic meshes. *Computers & Graphics*, 32(2):141–148, April 2008.
- [16] Fernando F. de Góes, **Siome K. Goldenstein**, and **Luiz C. P. Velho**. A simple and flexible framework to adapt dynamic meshes. *Computers & Graphics*, 32:1–9, 2008.
- [17] Moacyr A. Silva, Ralph Teixeira, and **Luiz C. P. Velho**. Affine skeletons and Monge-Ampère equation. *SIAM Journal on Imaging Sciences*, 2:890–903, 2009.
- [18] Leonardo M. Rocha, Fabio A. M. Cappabianco, and **Alexandre X. Falcão**. Data clustering as an optimum-path forest problem with applications in image analysis. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 2009. To appear.
- [19] João P. Papa, **Alexandre X. Falcão**, and Celso T. N. Suzuki. Supervised pattern classification based on optimum-path forest. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 2009. To appear.
- [20] Javier A. Montoya-Zegarra, **Neucimar J. Leite**, and **Ricardo S. Torres**. Wavelet-based fingerprint image retrieval. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 227(2):294–307, 2009. Special Issue on Emergent Applications of Fractals and Wavelets in Biology and Biomedicine.
- [21] Christian Vogler and **Siome K. Goldenstein**. Facial movement analysis in ASL. *Universal Access in the Information Society*, 6(4):363–374, February 2008.
- [22] Marcelo A. S. Oliveira and **Neucimar J. Leite**. A multiscale directional operator and morphological tools for reconnecting broken ridges in fingerprint images. *Pattern Recognition*, 41(1):367–377, 2008.
- [23] Christian Vogler and **Siome K. Goldenstein**. Toward computational understanding of sign language. *Technology and Disability*, 20(2):109–119, 2008.

5.1.3 Capítulos de livros internacionais

- [24] Henning Bockhorn, Jordan A. Denev, Margarete O. Domingues, Carlos Falconi, Marie Farge, Jochen Fröhlich, **Sônia M. Gomes**, Benjamin Kadoch, Igor Molina, Olivier Roussel, and Kai Schneider. Numerical simulation of turbulent flows in complex geometries using the coherent vortex simulation approach based on orthonormal wavelet decomposition. In C. D. Munz, editor, *Notes on Numerical Fluid Mechanics Multidisciplinary Design (NNFM)*. Springer, 2008. Submitted.

5.1.4 Artigos e resumos em conferências internacionais

- [25] Pedro R. T. Pinho, Margarete O. Domingues, Paulo J. S. Ferreira, **Sônia M. Gomes**, **Anamaria Gomide**, and José R. Pereira. Adaptive finite difference schemes based on interpolating wavelets for solving 2d maxwell's equations. In *Proc. IEEE AP-S International Symposium on Antennas and Propagation*, 2007.
- [26] João P. Papa, **Alexandre X. Falcão**, Alexandre L. M. Levada, Débora C. Corrêa, Denis H. P. Salvadeo, and Nelson D. A. Mascarenhas. Fast and accurate holistic face recognition using optimum-path forest. In *Proc. 16th Intl. Conf. on Digital Signal Processing*. IEEE, July 2009.
- [27] Javier A. Montoya-Zegarra, Jan C. Beeck-Pepper, **Neucimar J. Leite**, **Ricardo S. Torres**, and **Alexandre X. Falcão**. Combining global with local texture information for image retrieval applications. In *Proc. 10th IEEE International Symposium on Multimedia*, pages 148–153. IEEE Computer Society, December 2008.
- [28] Anderson R. Rocha, Jurandy Almeida, Mario A. Nascimento, **Ricardo S. Torres**, and **Siome K. Goldenstein**. Efficient and flexible cluster-and-search for CBIR. In *Proc. ACIVS'08 - Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*, volume 5259 of *Lecture Notes In Computer Science*, 2008.
- [29] Javier A. Montoya-Zegarra, João P. Papa, **Neucimar J. Leite**, **Ricardo S. Torres**, and **Alexandre X. Falcão**. Novel approaches for exclusive and continuous fingerprint classification. In *Advances in Image and Video Technology: Proc. 3rd Pacific Rim Symposium on Image and Video Technology*, volume 5414 of *Lecture Notes In Computer Science*, pages 386–397. Springer, January 2009.
- [30] Jurandy Almeida, Anderson R. Rocha, **Ricardo S. Torres**, and **Siome K. Goldenstein**. Making colors worth more than a thousand words. In *Proc. ACM-SAC'08 - 23rd Annual ACM Symposium on Applied Computing*, pages 1180–1186, 2008.
- [31] João P. Papa, André A. Spadotto, **Alexandre X. Falcão**, and José C. Pereira. Optimum path forest classifier applied to laryngeal pathology detection. In *Proc. 15th Intl. Conf. on Systems, Signals, and Image Processing*, pages 249–252. IEEE, June 2008.
- [32] Thiago V. Spina, Javier A. Montoya-Zegarra, **Alexandre X. Falcão**, and Paulo A. V. Miranda. Fast interactive segmentation of natural images using the Image Foresting Transform. In *Proc. 16th Intl. Conf. on Digital Signal Processing - Special Session*

on Graphs and Complex Networks for Representation, Characterization and Modeling of Geometric Complex Systems. IEEE, 2009. To appear.

- [33] Douglas A. Castro, **Sônia M. Gomes**, **Anamaria Gomide**, and **Jorge Stolfi**. Multi-resolution analysis on multidimensional dyadic grids. In *Proc. SAMPTA 09 - Sampling Theory and Applications*, pages –, 2009.
- [34] Paulo A. V. Miranda, **Alexandre X. Falcão**, and Jayaram K. Udupa. *CLOUDS*: A model for synergistic image segmentation. In *Proc. 5th IEEE Intl. Symp. on Biomedical Imaging: From Nano to Macro*, pages 209–212, May 2008.
- [35] Adriana Schulz, Eduardo A. B. Silva, and **Luiz C. P. Velho**. On the empirical rate-distortion performance of compressive sensing. In *Proc. ICIP 2009 - International Congress of Image Processing*, 2009.
- [36] Leyza E. B. Dorini and **Neucimar J. Leite**. Multiscale morphological image simplification. In *Proc. 13th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition: Progress in Pattern Recognition, Image Analysis and Applications*, volume 5197 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 413–420. Springer-Verlag, 2008.
- [37] João P. Papa and **Alexandre X. Falcão**. A new optimum-path forest approach for supervised classification. In *Advances in Visual Computing: Proc. 4th Intl. Symp. on Visual Computing*, volume 5358 (Part I) of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 935–944. Springer, December 2008.
- [38] Rafael H. C. de Souza and **Neucimar J. Leite**. A tracking framework for laboratory experiments. In *Proc. 16th European Signal Processing Conference*, 2008.
- [39] Nielsen C. Simões and **Neucimar J. Leite**. Automatic key-frame extraction from broadcast soccer videos. In *Proc. VISIGRAPP 2009 - International Joint Conference on Computer Vision and Computer Graphics Theory and Applications*, pages 216–223, 2009.
- [40] João P. Papa and **Alexandre X. Falcão**. A learning algorithm for the optimum-path forest classifier. In *Proc. 7th IAPR-TC-15 Workshop on Graph-based Representations in Pattern Recognition*, May 2009. to appear.
- [41] Leyza E. B. Dorini and **Neucimar J. Leite**. A multiscale operator for document image binarization. In *Proc. VISIGRAPP 2009 - International Joint Conference on Computer Vision and Computer Graphics Theory and Applications*, pages 34–39, 2009.
- [42] **Sônia M. Gomes** and Elizabeth Larsson. Multiscale radial basis approximations for the numerical solution of PDEs. In *Abstracts of ENUMATH 2009 - 8th European Conference on Numerical Mathematics and Advanced Applications*, June 2009.

5.1.5 Livros nacionais

- [43] Adriana Schulz, Eduardo A. B. Silva, and **Luiz C. P. Velho**. *Compressive Sensing*. 27^o Colóquio Brasileiro de Matemática. Sociedade Brasileira de Matemática, 2009.

5.1.6 Capítulos de livros nacionais

- [44] Konradin Metze, Randall L. Adam, W. de S. Filho, Irene Lorand-Metze, and **Neucimar J. Leite**. *Modelos Matemáticos nas Ciências Não-Exatas*, chapter Aplicação de Ferramentas Matemáticas em Análises de Imagens Histológicas e Citológicas, pages 65–82. Blucher, São Paulo, 2008.
- [45] **Ricardo S. Torres** and **Alexandre X. Falcão**. *Técnicas e Ferramentas de Processamento de Imagens Digitais e Aplicações em Realidade Virtual e Misturada*, chapter Recuperação de Imagens baseada em Conteúdo, pages 109–128. Editora Canal 6, November 2008.

5.1.7 Artigos em conferências nacionais e regionais

- [46] R. Deiterding, Margarete O. Domingues, **Sônia M. Gomes**, Olivier Roussel, and Kai Schneider. Comparison between adaptive multiresolution (MR) and adaptive mesh refinement (AMR) methods for the 2D reactive Euler equations. In *Proc. 2009 Conference on Numerical Approximations of Hyperbolic Systems with Source Terms and Applications*, September 2009. Resumo.
- [47] Rodrigo J. Pisani, João P. Papa, Célia R. L. Zimback, **Alexandre X. Falcão**, and Ana P. Barbosa. Land use classification using optimum-path forest. In *Proc. XIV Brazilian Remote Sensing Symposium*, April 2009. to appear.
- [48] R. Deiterding, Margarete O. Domingues, **Sônia M. Gomes**, Olivier Roussel, and Kai Schneider. Multiresolution and adaptive mesh refinement schemes: A comparative study. In *Resumos do DINCON'09 - 8º Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicação*, May 2009.
- [49] Anderson R. Rocha, Daniel C. Hauagge, Jacques Wainer, and **Siome K. Goldenshtein**. Automatic produce classification from images using color, texture and appearance cues. In *Proc. SIBGRAPI'08 - Brazilian Symposium of Computer Graphics and Image Processing*, 2008.
- [50] Fernanda O. Favretto, Felipe P. G. Bergo, and **Alexandre X. Falcão**. A fast and automatic method for 3D rigid registration of MR images of the human brain. In *Proc. SIBGRAPI'08 - XXI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, pages 121–128, October 2008.
- [51] Rodrigo Minetto, **Neucimar J. Leite**, and **Jorge Stolfi**. Integrating Tsai's camera calibration algorithm with KLT feature tracking. In *Anais do IV Workshop de Visão Computacional*, pages 1–6, 2008.
- [52] **Helena C. G. Leitão**, Rafael F. V. Saracchini, and **Jorge Stolfi**. Matching photometric observation vectors with shadows and variable albedo. In *Proc. 21th Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing (SIBGRAPI 2008)*, pages 179–186. IEEE Computer Society Press, October 2008.

- [53] Fernanda Andaló, **Ricardo S. Torres**, and **Alexandre X. Falcão**. Shape descriptors based on tensor scale. In *Proc. Workshop of Theses and Dissertations, SIBGRAPI'08 - XXI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, pages 136–144, October 2008. Best Dissertation award.
- [54] Ives Macedo Jr., João P. Góis, and **Luiz C. P. Velho**. Hermite interpolation of implicit surfaces with radial basis functions. In *Proc. SIBGRAPI 2009 - XX Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*. IEEE Press, 2009.
- [55] Rafael F. V. Saracchini, **Jorge Stolfi**, and **Helena C. G. Leitão**. Shape reconstruction using a gauge-based photometric stereo method. In *Proc. CLEI 2009 - XXXV Conferencia Latinoamericana de Informática*, September 2009.
- [56] Adriana Schulz, Eduardo A. B. Silva, and **Luiz C. P. Velho**. Uma investigação empírica do desempenho da amostragem compressiva em codificação de imagens. In *Anais do SBrT 2009 - XXVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, 2009.
- [57] Leyza E. B. Dorini and **Neucimar J. Leite**. A general self-dual adaptative filtering toggle operator. In *Proc. SIBGRAPI 2008 - XXI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, pages 189–195. IEEE Computer Society, 2008.
- [58] Leyza E. B. Dorini and **Neucimar J. Leite**. Multiscale image representation using scale-space theory. In *Anais do CNMAC 2008 - XXXI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, pages 1–8, 2008.
- [59] **Sônia M. Gomes** and Elizabeth Larsson. Multiscale radial basis approximations for the Black-Sholes problem. In *Resumos do II ENAMA - Encontro Nacional de Análise Matemática e Aplicações*, November 2008.
- [60] Douglas A. Castro, A. S. Oliveira, **Sônia M. Gomes**, **Anamaria Gomide**, and **Jorge Stolfi**. Análise de multirresolução em malhas diádicas. In *Anais do CNMAC 2008 - XXXI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, 2008. Resumo.
- [61] Aldo R. Zang and **Luiz C. P. Velho**. Esquema híbrido para amostragem de mapas de iluminação em renderizações foto-realistas. In *Proceeding of WTD 2009 - Workshop of Theses and Dissertations*, 2009.

5.1.8 Teses de doutorado defendidas

- [62] Leyza E. B. Dorini. *Transformações de Imagens baseadas em Morfologia Matemática*. PhD thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, February 2009. Advisor: **Neucimar J. Leite**.
- [63] João P. Papa. *Classificação Supervisionada de Padrões por Florestas de Caminhos Ótimos*. PhD thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil,, November 2008.

- [64] Leonardo M. Rocha. *Clustering por Florestas de Caminhos Ótimos com Aplicações em Análise de Imagens*. PhD thesis, School of Electrical and Computer Engineering, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil,, December 2008. Advisor: **Alexandre X. Falcão**; co-advisor: Luís G. P. Meloni.
- [65] Jancarlo F. Gomes. *Processamento de Amostras Fecais e Desenvolvimento da Técnica de Análise de Imagens por Computador para o Diagnóstico de Enteroparasitoses*. PhD thesis, Institute of Biology, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil,, August 2008. Advisor: **Alexandre X. Falcão**; de-facto co-advisor: Luiz C. S. Dias.
- [66] Anderson R. Rocha. *Classificadores e Aprendizado em Processamento de Imagens e Visão Computacional*. PhD thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, March 2009. Advisor: **Siome K. Goldenstein**.

5.1.9 Dissertações de mestrado defendidas

- [67] Fernanda O. Favretto. Registro de imagens 3d do cérebro humano. Master's thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, March 2009. Advisor: **Alexandre X. Falcão**.
- [68] Danilo R. Pereira. Representação e cálculo eficiente da iluminação global na síntese de imagem. Master's thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, March 2009. Advisor: **Anamaria Gomide**; co-advisor: **Jorge Stolfi**.
- [69] Rafael H. C. de Souzaa. Rastreamento de animais por imagens de vídeo em experimentos de laboratório. Master's thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, 2008. Advisor: **Neucimar J. Leite**.
- [70] Fabio A. S. Dias. Generalização do ritmo visual e problemas de rastreamento de imagens desportivas. Master's thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, 2009. Advisor: **Neucimar J. Leite**.

5.1.10 Outros tipos de publicações

- [71] Glicélia R. Souza and **Sônia M. Gomes**. Interpolação de dados usando bases radiais. Unpublished manuscript, IMECC-UNICAMP, 2009.
- [72] Lucas B. Freitas and **Jorge Stolfi**. Conversion formulas for simplicial Bernstein polynomials. Technical Report IC-08-12, Institute of Computing, University of Campinas, May 2008.
- [73] Ana Paula R. Malheiro and **Jorge Stolfi**. Finding minimal bases in arbitrary spline spaces. Technical Report IC-09-21, Institute of Computing, UNICAMP, June 2009.
- [74] Elizabeth Larsson and **Sônia M. Gomes**. A least squares multi-level RBF method with applications in finance. Unpublished manuscript, IMECC-UNICAMP, 2008.

- [75] Lucas B. Freitas and **Jorge Stolfi**. Differential formulas for simplicial Bernstein polynomials. Technical Report IC-08-18, Institute of Computing, University of Campinas, August 2008.
- [76] Randall L. Adam, **Neucimar J. Leite**, and Konradin Metze. FourierDetect. Software em fase de registro no INPI, Protocolo 018080046390, 2008.
- [77] **Anamaria Gomide**, Danillo R. Pereira, , and **Jorge Stolfi**. Comparison of finite element bases for global illumination in image synthesis. Technical Report IC-09-29, Institute of Computing, UNICAMP, September 2009.
- [78] Margarete O. Domingues, Paulo J. S. Ferreira, **Sônia M. Gomes**, **Anamaria Gomide**, A. S. Oliveira, José R. Pereira, and Pedro R. T. Pinho. Implementation of absorbing boundary conditions in an adaptive wavelet code for electromagnetic wave propagation in inhomogeneous media. Unpublished manuscript, IMECC-UNICAMP, 2008.
- [79] Douglas A. Castro, A. S. Oliveira, **Sônia M. Gomes**, **Anamaria Gomide**, and **Jorge Stolfi**. Análise de multirresolução em malhas diádicas. Unpublished manuscript, IMECC-UNICAMP, 2008.
- [80] Margarete O. Domingues, Paulo J. S. Ferreira, **Sônia M. Gomes**, **Anamaria Gomide**, A. S. Oliveira, José R. Pereira, and Pedro R. T. Pinho. Runge-Kutta methods with time step control and adaptive grid refinement for Maxwell's equations. Unpublished manuscript, IMECC-UNICAMP, 2008.
- [81] Margarete O. Domingues, Paulo J. S. Ferreira, **Sônia M. Gomes**, **Anamaria Gomide**, José R. Pereira, and Pedro R. T. Pinho. Grid structure impact in sparse point representation of derivatives. Unpublished manuscript, IMECC-UNICAMP, 2008.
- [82] Rodrigo Minetto, João P. Papa, Thiago V. Spina, **Alexandre X. Falcão**, **Neucimar J. Leite**, and **Jorge Stolfi**. Fast and robust object tracking using Image Foresting Transform. Unpublished manuscript, submitted to 16th Intl. Conf. on Systems, Signals and Image Processing, Chalkida, Greece, June, 2009.

5.2 Outras publicações de membros do projeto no período

5.2.1 Artigos em periódicos internacionais

- [83] Fabiano S. Romeiro, **Luiz C. P. Velho**, and **Luiz H. de Figueiredo**. Scalable GPU rendering of CSG models. *Computers & Graphics*, 32:526–539, 2008.
- [84] César Camacho and **Luiz H. de Figueiredo**. On the limit of families of algebraic subvarieties with unbounded volume. *Astérisque*, 323:41–59, 2009.
- [85] Jesús Mena-Chalco, Ives Macedo Jr., **Luiz C. P. Velho**, and Roberto M. César Jr.. 3D Face computational photography using PCA spaces. *The Visual Computer*, 25:880–888, 2009.

- [86] Thales Vieira, Alex Bordignon, Adailson Peixoto, Geovan Tavares, Hélio Lopes, **Luiz C. P. Velho**, and Thomas Lewiner. Learning good views through intelligent galleries. *Computer Graphics Forum*, 28:717–726, 2009.

5.2.2 Capítulos de livros internacionais

- [87] Paula R. Lucena, Asla Sá, and **Luiz C. P. Velho**. Virtual emotion to expression: A comprehensive dynamic emotion model to facial expression generation using the MPEG-4 standard. In Jaron S Wright and Lloyd M Hughes, editors, *Computer Animation*, chapter 6, page ??? Nova Science, November 2009.
- [88] **Luiz H. de Figueiredo** and Roberto Ierusalimsky. Lua. In Federico Biancuzzi and Shane Warden, editors, *Masterminds of Programming: Conversations with the Creators of Major Programming Languages*, pages 161–176. O’Reilly, 2009.

5.2.3 Artigos e resumos em conferências internacionais

- [89] Luís G. Nonato, M. A. Batista, **Luiz C. P. Velho**, and C. Barcelos. Shallow-water simulation in digital images. In *Proc. AMS/SBM 2008 Joint International Meeting on Mathematical Methods in Image Processing*, 2008. Resumo.
- [90] Thiago Pereira, Renato P. Leme, **Luiz C. P. Velho**, and Thomas Lewiner. Symmetry-based completion. In *Proc. GRAPP 2009 - International Conference on Computer Graphics Theory and Applications*, 2009.
- [91] **Luiz C. P. Velho**, Júlio Martins, Alice Bodanzky, Ilana Paterman, and Analívia Cordeiro. Expressive trajectories. In *Proc. CAE 2008 - International Symposium on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging*, 2008.
- [92] Evilson Vieira and **Luiz C. P. Velho**. Computational applications in complex dynamics. In *Poster Abstracts of 2008 Conference on Global and Local Aspects of Holomorphic Foliations*, 2008. Resumo.
- [93] Sérgio Krakowski, François Pachet, and **Luiz C. P. Velho**. Pandeiro funk: Experiments on rhythm-based interaction. In *Proc. SIGGRAPH 2009 - Conference Abstract and Applications*, 2009. Resumo expandido.
- [94] Maria Paula S. Reis, André Máximo, and **Luiz C. P. Velho**. collecTable: A natural interface for music collections. In *Proc. SIGGRAPH 2009 - Conference Abstract and Applications*, 2009. Resumo expandido.
- [95] Marcelo Cicconet, Ilana Paterman, Paulo C. P. Carvalho, and **Luiz C. P. Velho**. The blues machine. In *Proc. SIGGRAPH 2009 - Conference Abstract and Applications*, 2009. Resumo expandido.

5.2.4 Livros nacionais

- [96] **Luiz H. de Figueiredo** (org), Waldemar Celes Fo. (org), and Roberto Ierusalimsky (org). *Lua Programming Gems*, volume 1. Lua.org, Rio de Janeiro, 2008.
- [97] Paulo C. P. Carvalho, **Luiz C. P. Velho**, Sérgio Krakowski, and Marcelo Cicconet. *Métodos Matemáticos e Computacionais em Música*. Livros do XXXII CNMAC - Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional. SBMAC, 2009.

5.2.5 Artigos e resumos em conferências nacionais

- [98] Renatha O. Capua, **Helena C. G. Leitão**, and **Jorge Stolfi**. Bayesian detection of coding regions in DNA/RNA sequences through event factoring. In *Progress in Pattern Recognition, Image Analysis and Applications – Proc. 12th IberoAmerican Congress on Pattern Recognition (CIARP 2007)*, number 4756 in Lecture Notes in Computer Science, pages 624–634, November 2007.
- [99] Tiago L. Forti, Philippe R. B. Devloo, and **Sônia M. Gomes**. Emprego de funções de base singulares em malhas de Galerkin descontínuo. In *Anais do XXIX CILAMCE*, 2008.
- [100] Agnaldo M. Farias, Philippe R. B. Devloo, and **Sônia M. Gomes**. Estimativa a posteriori do erro em termos de quantidades de interesse. In *Anais do XXIX CILAMCE*, 2008.
- [101] Thales Vieira, Alex Bordignon, Thomas Lewiner, and **Luiz C. P. Velho**. Geometry super-resolution by example. In *Proc. SIBGRAPI 2009 - XX Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*. IEEE Press, 2009.
- [102] Jônatas Medeiros, Carla M. D. S. Freitas, Mário Sousa, and **Luiz C. P. Velho**. Perspective contouring in illustrative visualization. In *Proc. SIBGRAPI 2009 - XX Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*. IEEE Press, 2009.
- [103] João L. Gonçalves, Philippe R. B. Devloo, **Sônia M. Gomes**, and Igor Mozolevski. Estimativas de erro em quantidades de interesse para soluções obtidas pelo método de Galerkin descontínuo. In *Anais do CNMAC 2008 - XXXI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, 2008. Resumo.
- [104] **Luiz C. P. Velho**, Alice Bodanzky, Analívia Cordeiro, Júlio Lúcio, Ilana Paterman, and Sílvia Steinberg. Choreographisms. In *Proc. SIGGRAPH 2008 - Conference Abstract and Applications*, 2008.
- [105] Thiago Pereira and **Luiz C. P. Velho**. RGBN image editing. In *Proc. SIBGRAPI 2009 - XX Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*. IEEE Press, 2009.
- [106] Roberto M. César Jr. and **Luiz C. P. Velho**. A computer-assisted colorization approach based on efficient belief propagation and graph matching. In *Proc. CIARP 2009 - 14th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition*. Springer, 2009.

- [107] **Luiz C. P. Velho**. Interactive media and natural interfaces. In *Proc. FILE 2009 - Festival Internacional de Linguagem Eletronica*, 2009. Resumo expandido.
- [108] André Máximo, Maria Paula S. Reis, and **Luiz C. P. Velho**. collecTable: Uma interface natural para coleções de música. In *Proc. 4^a CIDI and 3^a Infodesign*, 2009.
- [109] Alexandre Noma, **Luiz C. P. Velho**, and Roberto M. César Jr.. A computer-assisted colorization approach based on efficient belief propagation and graph matching. In *Proc. CIARP 2009 - 14th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition*. Springer, 2009.
- [110] Leandro Cruz, Luiz A. R. Escriba, and **Luiz C. P. Velho**. Multitouch sketch based modeling. In *Proc. WUW 2009 - Workshop of Undergraduate Works*, 2009.

5.3 Outras citações bibliográficas

- [111] Anderson R. Rocha and **Siome K. Goldenstein**. Steganography and steganalysis in digital multimedia: Hype or hallelujah? *Revista de Informatica Teórica e Aplicada*, 15(1):83–110, 2008.
- [112] Luciano A. Digiampietri, Norton T. Roman, Luis A. A. Meira, Jorge Jambeiro Fo., Cristiano D. Ferreira, Andréia A. Kondo, Rodrigo C. Rezende, Everton R. Constantino, Bruno C. Brandão, Helder S. Ribeiro, Pietro K. Carolino, Antonella Lanna, Jacques Wainer, and **Siome K. Goldenstein**. Uses of artificial intelligence in the brazilian customs fraud detection system. In *Proc. 9th Annual International Conference on Digital Government Research*, 2008.
- [113] Norton T. Roman, Cristiano D. Ferreira, Luis A. A. Meira, Rodrigo C. Rezende, Luciano A. Digiampietri, Jorge Jambeiro Fo., Andréia A. Kondo, Bruno C. Brandão, Everton R. Constantino, Helder S. Ribeiro, Jacques Wainer, and **Siome K. Goldenstein**. Attribute-value specification in customs fraud detection: A human-aided approach. In *Proc. 10th Annual International Conference on Digital Government Research*, 2009. To appear.
- [114] Anderson R. Rocha, Walter Scheirer, **Siome K. Goldenstein**, and Terrance Boult. The Unseen Challenge data sets. In *Proc. WVU'08 - IEEE Workitorial of Vision of the Unseen*, 2008. In conjunction with CVPR'08.
- [115] Tiago Sak, Jacques Wainer, and **Siome K. Goldenstein**. Probabilistic multiagent patrolling. In *Anais do SBIA'08 - Simposio Brasileiro de Inteligencia Artificial*, volume 5249 of *Lecture Notes In Artificial Intelligence*, 2008.
- [116] Cláudio G. S. Cardoso, M. 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.

- [117] Renato O. Stehling, Mario A. Nascimento, and **Alexandre X. Falcão**. An adaptive and efficient clustering-based approach for content-based image retrieval in image databases. In *Proc. IEEE International Database Engineering and Applications Symposium*, pages 356–365, July 2001.
- [118] **Ricardo S. Torres**, **Alexandre X. Falcão**, and Luciano F. Costa. A graph-based approach for multiscale shape analysis. *Pattern Recognition*, 37(6):1163–1174, June 2004.
- [119] **Alexandre X. Falcão**, **Jorge Stolfi**, and Roberto A. Lotufo. The Image Foresting Transform: Theory, algorithms, and applications. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(1):19–29, January 2004.
- [120] **Luiz C. P. Velho**, Asla Sá, and Paulo C. P. Carvalho. Simulating film response curves with HDR images. In *Posters of SCPV 2005 - Symposium on Computational Photography and Video*, 2005. Resumo expandido.
- [121] **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.
- [122] **Helena C. G. Leitão** and **Jorge Stolfi**. Digital reconstruction of fragmented artifacts. In Xavier Perrot, editor, *Proc. 8th International Cultural Heritage Informatics Meeting (ICHIM 2004)*, volume CD-ROM, paper number 2345, pages 1–16, September 2004.
- [123] James T. Kajiya. The rendering equation. In *Proc. SIGGRAPH 1986*, pages 143–150, 1986.
- [124] **Helena C. G. Leitão**. *Reconstrução Automática de Objetos Fragmentados*. PhD thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, November 1999. Advisor: **Jorge Stolfi**.
- [125] Rodrigo Minetto. Detecção robusta de movimento de câmera em vídeos por análise de fluxo Ótico ponderado. Master’s thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, August 2007. Advisor: **Neucimar J. Leite**; co-advisor: **Jorge Stolfi**.
- [126] Cristiano D. Ferreira. Recuperação de imagens com realimentação de relevância baseada em programação genética. Master’s thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, July 2007. Advisor: **Ricardo S. Torres**.
- [127] **Helena C. G. Leitão**, Rafael F. V. Saracchini, and **Jorge Stolfi**. A bucket grid structure to speed up table lookup in gauge-based photometric stereo. In *Proc. 20th Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing (SIBGRAPI 2007)*, pages 221–227. IEEE Computer Society Press, October 2007.