

Uso de mosaico de imagens aéreas como ferramenta de auxílio ao diagnóstico de diversas culturas**

André de Souza Tarallo¹, Alan Kazuo Hiraga², German Andres Gaviria Martinez³, Maria Stela Veludo de Paiva⁴, Lúcio André de Castro Jorge⁵, Hermes Senger⁶

¹Pos-graduando, Eng. Elétrica - USP, Av. Trabalhador Sao-carlense, 400, 13566-590, São Carlos - SP

²Pos-graduando, Computação - UFSCar, Rod. Washington Luis, Km 235, caixa postal 676, 13565-905, São Carlos - SP

³Pos-graduando, Eng. Mecânica - USP, Av. Trabalhador Sao-carlense, 400, 13566-590, São Carlos - SP

⁴Professora, Eng. Elétrica - USP, Av. Trabalhador Sao-carlense, 400, 13566-590, São Carlos - SP

⁵Pesquisador, Embrapa Instrumentação (CNPDIA), Rua XV de Novembro, 1452, 13560-970 São Carlos - SP

⁶Professor, Computação - UFSCar, Rod. Washington Luis, Km 235, caixa postal 676, 13565-905, São Carlos - SP

*E-mails: andre.tarallo@gmail.com, alanhiraga@hotmail.com, 4ndres.gaviria@gmail.com, mstela@sc.usp.br, lucio.jorge@embrapa.br, senger.hermes@gmail.com

**Parte da tese de doutorado do primeiro autor

Resumo: Na agricultura, a eficiência no processo de tomada de decisão para controle de pragas, doenças ou queimadas está relacionada com a obtenção mais rápida e precisa de informações. Na construção de mosaicos de imagens de diversas culturas, a precisão cartográfica também é exigida, sendo também um fator a ser considerado. Devido a estas necessidades, este artigo teve por objetivo desenvolver um software para construir automaticamente mosaicos, usando imagens sequenciais aéreas agrícolas de alta resolução (baseado na Transformada *SIFT*), que exige alto custo computacional. Para minimizar este alto custo computacional, foi utilizado processamento paralelo (*OpenMP*). Os mosaicos gerados no software desenvolvido também foram gerados em dois outros softwares de licença gratuita para comparação da distorção/precisão, usando as coordenadas do *Google Earth* como referência de comparação; os testes de distorção evidenciaram que o software deste trabalho possui menor distorção. O uso de processamento paralelo reduziu em 50% o tempo para construir os mosaicos de imagens, comparados com o processamento sequencial. Dessa maneira, é possível concluir que o software desenvolvido pode ser utilizado como uma ferramenta de auxílio ao diagnóstico de diversas culturas.

Palavras-chave: alta resolução, imagens aéreas agrícolas, mosaico automático, *openmp*, transformada *sift*

Using aerial images mosaic as a tool support to the various crops diagnosis

In agriculture, the efficiency in the process of decision making for pest, disease or fire control is related to the obtaining faster and more accurate information. In building mosaics of images of diverse cultures, the cartographic accuracy is also required, and is also a factor to be considered. Due to these requirements, this article aims to develop software to build mosaics automatically, using high resolution agricultural sequential aerial images. (Based on SIFT transform) that requires high computational cost. To minimize this high computational cost, we used parallel processing (OpenMP). The mosaics generated on software developed were also generated in two other software of license free for comparison of distortion/accuracy, using the coordinates of Google Earth as reference for comparison; distortion tests showed that the software of this work has less distortion. The use of parallel processing reduce by 50% the time to build mosaics of images compared to sequential processing. Thus, we conclude that the developed software can be used as a tool to aid the diagnosis of various cultures.

high resolution, agricultural aerial images, automatic mosaic, openmp, sift transform



1. Introdução

Um mosaico de imagens consiste em unir grande quantidade de imagens em uma nova imagem (CHON; KIM; LIN, 2000). Dentre as várias aplicações com mosaicos de imagens, destacam-se os mosaicos que são construídos a partir de imagens aéreas (LALIBERTE et al., 2010). Na agricultura, imagens aéreas de alta resolução são utilizadas para gerar mosaicos de imagens, com o objetivo de controlar extensas áreas de culturas, pastagens e florestas no que diz respeito ao controle de pragas, doenças e queimadas (WULDER et al., 2004).

Os mosaicos aéreos agrícolas permitem direcionar vistorias de campo durante o ciclo do cultivo ou em datas posteriores à colheita, fornecendo um diagnóstico preciso da área de cultivo (LEBOEUF, 2000). A partir daí, podem ser elaborados os mapas de recomendações: descompactação, fertilidade e aplicação de insumos em taxa variável, auxiliando nas tomadas de decisões. A eficiência da tomada de decisão está ligada à obtenção mais rápida e precisa de informações e também auxilia no controle de pragas, doenças e queimadas (WULDER et al., 2004) (LELONG et al., 2008). Na obtenção de imagens aéreas é possível ao usuário a escolha da resolução mais adequada ao terreno, e da geometria de visualização/iluminação, por meio do ajuste da altura e direção do voo em relação ao solo, minimizando o tempo para medições de áreas.

As imagens aéreas, durante o seu processo de aquisição, frequentemente apresentam distorções que são causadas por alterações espaciais (translação, escala e rotação) e também por alterações radiométricas (brilho e cor), devido a variações de altitude e orientação do avião; conseqüentemente há necessidade das imagens serem retificadas (ROY; MEUNIER; COX, 1997) antes do início do processo de construção de mosaicos. As imagens retificadas são então utilizadas para a construção do mosaico, que une essas imagens, gerando uma nova imagem.

A construção de mosaicos de imagens envolve a identificação de pontos característicos em cada uma das imagens e a correspondência dos pontos característicos entre as imagens (*image matching*). Algoritmos que trabalham com descritores de características podem ser utilizados para esse fim. Os trabalhos de (LIANG; DEMENTHON, 2009); (ZHONG; ZENG; XIE, 2012) mostram exemplos de construção de mosaicos de imagens

a partir de descritores de características. Neste artigo foi adotada a Transformada SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*), proposto por (LOWE, 2004). Alguns dos fatores que permitiram que a Transformada SIFT ganhasse popularidade deve-se ao fato da mesma agregar características que a torna invariante a transformações de rotação, translação, escala e alterações inerentes às condições de iluminação do ambiente.

A escolha desta transformada baseou-se nos resultados apresentados no artigo de (JUAN; GWUN, 2009) que a comparam com outras metodologias e concluem que a SIFT é superior na extração de características, embora possa apresentar um tempo de processamento mais lento em relação às demais metodologias.

Muitos dos trabalhos e softwares encontrados na literatura são capazes de gerar mosaicos somente com imagens de baixa resolução, gerando distorções e imprecisão. Por este motivo, neste artigo é descrita uma metodologia para a construção automática de mosaicos de imagens aéreas agrícolas sequenciais de alta resolução, que é baseada em descritores e inclui algoritmos desenvolvidos para minimizar as distorções do processo de construção de mosaicos bem como o tempo de execução para gerar mosaicos de alta resolução, resultando numa ferramenta rápida e de fácil utilização para o usuário.

Os trabalhos de (ZHONG; ZENG; XIE, 2012); (KAYNIG et al., 2010); (LIU et al., 2011) mostram exemplos de construção de mosaicos de imagens utilizando algoritmos que utilizam as metodologias dos descritores de características mencionados anteriormente.

2. Material e Métodos

As imagens que compõem a base de imagens deste artigo contêm áreas de pastagens, lavouras e áreas urbanas, obtidas com o auxílio de um avião tripulado de pequeno porte, contendo uma câmera acoplada a um suporte externo. As imagens possuem 8 megapixels, com dimensão de 2336 x 3504 pixels, requerendo em média um arquivo de 4MB.

A partir das imagens adquiridas foi criada a base de imagens, que contem 100 imagens divididas em 10 grupos de 20 imagens. A partir dessa base foi criada outra base, cujas imagens foram redimensionadas para 533 x 800 pixels para ser utilizada nos testes de distorção. A Figura 1 mostra

um par de imagens sequencial, sendo possível observar a região de sobreposição entre as imagens.

De acordo com a Figura 2, o processo se inicia fazendo retificação geométrica nas imagens de entrada para minimizar possíveis distorções de translação, rotação e escala que podem ocorrer na fase de aquisição das imagens. Após, são extraídas as características do par de imagens pela Transformada SIFT e são criados os respectivos descritores (128 descritores para cada ponto chave). Os descritores são utilizados para fazer a correspondência das características do par de imagens em questão, de acordo com (LOWE, 2004). Em seguida, é aplicado o algoritmo RANSAC que estima a matriz homográfica (ajuste entre as imagens a serem unidas), sendo também responsável por eliminar falsas correspondências (*outliers*). Após cálculo da matriz homográfica, podem surgir riscos pretos na imagem. Devido a isso, é aplicada a interpolação dos ‘quatro vizinhos mais próximos’, somente nos riscos verticais pretos, para a sua eliminação. Com a estimação da matriz homográfica, a região de sobreposição (RS) entre as imagens é calculada e as mesmas podem então ser unidas.

Algumas vezes, na união das imagens, pode surgir um efeito denominado “*Ghost*”, que são sombras geradas na região de sobreposição. Para isto, é aplicado o algoritmo *Blend Feathering* que faz uma mistura de cor dos pixels para minimizar este espectro de corte na RS.

Após estas etapas, um par de imagens foi unido e este processo é repetido até que todas as imagens de um respectivo grupo sejam unidas. A Figura 3 mostra um exemplo de um mosaico contendo 10 imagens.

Para paralelizar o algoritmo descrito anteriormente, foi identificada a etapa mais custosa computacionalmente, utilizando a ferramenta de *Profiling, Gnu Gprof* (GRAHAM; KESSLER; McKUSICK, 2004). Esta etapa foi identificada como sendo a Transformada SIFT, e comprovada de acordo com o trabalho de (FENG; YURONG; ZHANG, 2008).

Utilizando o padrão *OpenMP* de programação paralela, foram paralelizadas as etapas de cálculo do espaço escala e representação do descritor da Transformada SIFT, resultando na paralelização de 75% do código sequencial. Com isso, o tempo de construção dos mosaicos foi reduzido pela metade, comparado com a programação sequencial.

3. Resultados e Discussão

Para validar a metodologia proposta, foram realizados testes comparativos dos tempos de execução (em segundos) do código sequencial ($n=1$) e paralelo para gerar cada um dos mosaicos. Foi utilizado um *notebook Dell Vostro 3560 (i7 3612QM de 3ª geração - 2.1GHz - 8 threads - 6MB de Cache e 8GB de RAM DDR3 1600MHz)* para a geração dos resultados.

A análise do tempo de execução do código paralelo foi realizada utilizando $n=2$, $n=4$ e $n=8$ *threads* (núcleos) e os resultados são apresentados na Tabela 1, sendo possível observar os tempos de execução para cada grupo de imagens da base de imagens. Também é possível observar o tempo médio de execução para cada grupo de imagens.

Os resultados apresentados evidenciam uma alteração significativa no tempo de execução à



Figura 1. Exemplo de um par de imagens sequencial.

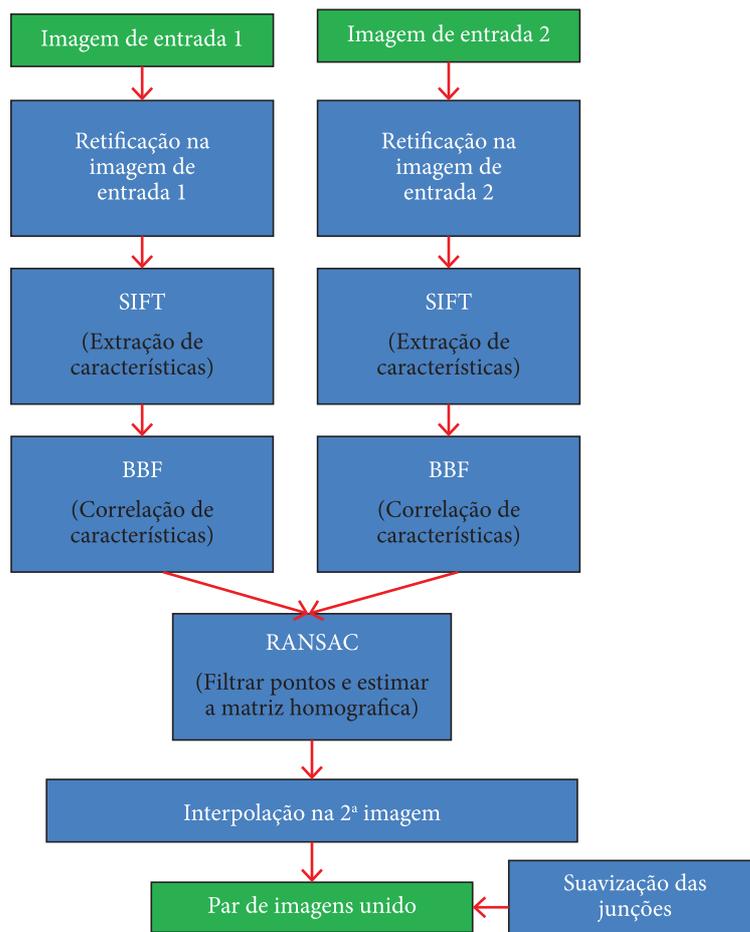


Figura 2. Diagrama da metodologia de construção de mosaicos.

Tabela 1. Tempo de execução da metodologia sequencial e paralela.

	n = 1(s)	n = 2(s)	n = 4(s)	n = 8(s)
grupo1	2891	2068	1405	1200
grupo2	2832	2248	1478	1225
grupo3	2975	2055	1461	1253
grupo4	2811	2022	1444	1275
grupo5	2912	1957	1429	1130
grupo6	2873	1980	1413	1106
grupo7	2848	2048	1410	1107
grupo8	2859	2097	1416	1158
grupo9	2985	1978	1565	1170
grupo10	2975	2159	1415	1246
média	2896,1 (48 min)	2061,2 (34 min)	1443,6 (24 min)	1187 (19 min)

medida que se aumenta a quantidade de *threads*. Comparando-se os resultados da Tabela 1 para $n=1$ e $n=4$, o tempo se reduz quase pela metade. Os resultados obtidos com $n=4$ e $n=8$ apresentam uma diferença mais significativa em relação ao mononúcleo do que $n=2$. No entanto, nota-se que quando se altera a quantidade de *threads* de $n=4$ para $n=8$, a redução do tempo de processamento é pouco significativa.

Como mencionado na Introdução, na construção dos mosaicos ao se unir imagens são geradas distorções. Para avaliar a distorção gerada com a metodologia desenvolvida, cada mosaico foi comparado com a sua respectiva localização no *Google Earth*, utilizado como referência. Para isto, foram feitas 3 marcações (A,B,C) facilmente identificáveis, tanto no mosaico quanto no *Google Earth* (Figura 4).

Tabela 2. Resultados de distorção em comparação com o *Google Earth*.

Grupos de Imagens	EQM		
	Metodologia Desenvolvida	Autostitch	PTGui
Grupo1	0,052	0,153	0,070
Grupo2	0,331	0,369	0,379
Grupo3	0,022	0,069	0,043
Grupo4	0,287	0,272	0,322
Grupo5	0,053	0,132	0,093
Grupo6	0,073	0,294	0,380
Grupo7	0,026	0,052	0,031
Grupo8	0,041	0,054	0,332
Grupo9	0,088	0,066	0,110
Grupo10	0,074	0,048	0,103



Figura 3. Exemplo de mosaico construído a partir de 10 imagens.

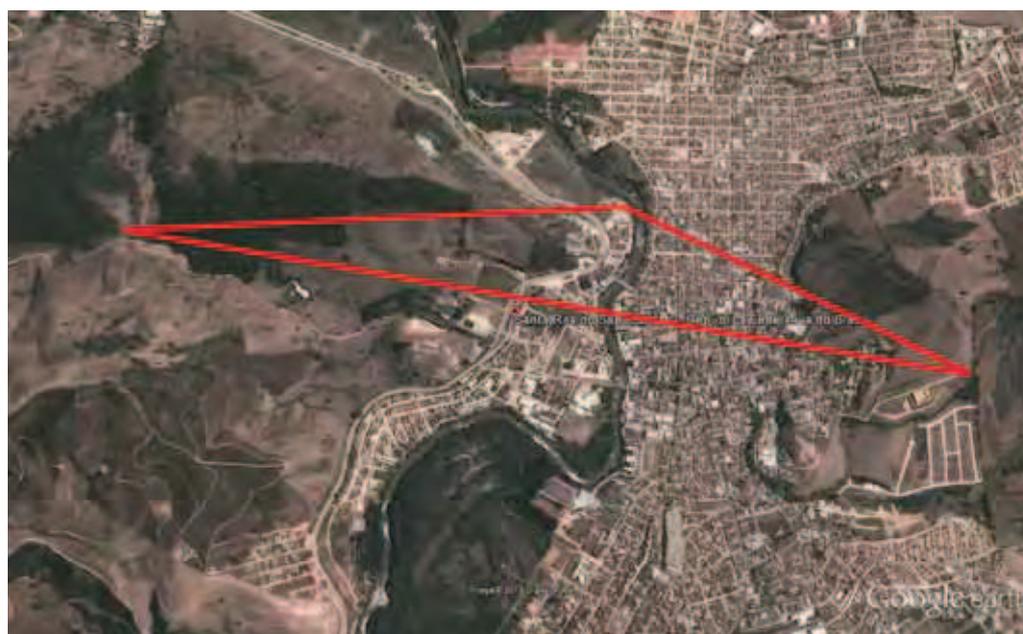


Figura 4. Exemplo de região usada nos experimentos.

A interligação dos pontos $A(x,y)$, $B(x,y)$ e $C(x,y)$ da Figura 4 formam um triângulo (Figura 5), podendo-se calcular os segmentos de reta formados entre os vértices. As distâncias entre os segmentos de reta são calculadas a partir da equação 1.

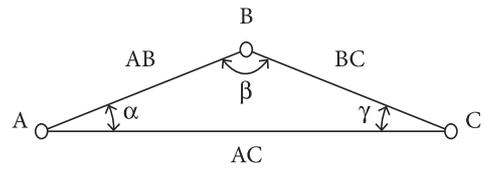


Figura 5. Segmentos de reta AB, BC e AC.

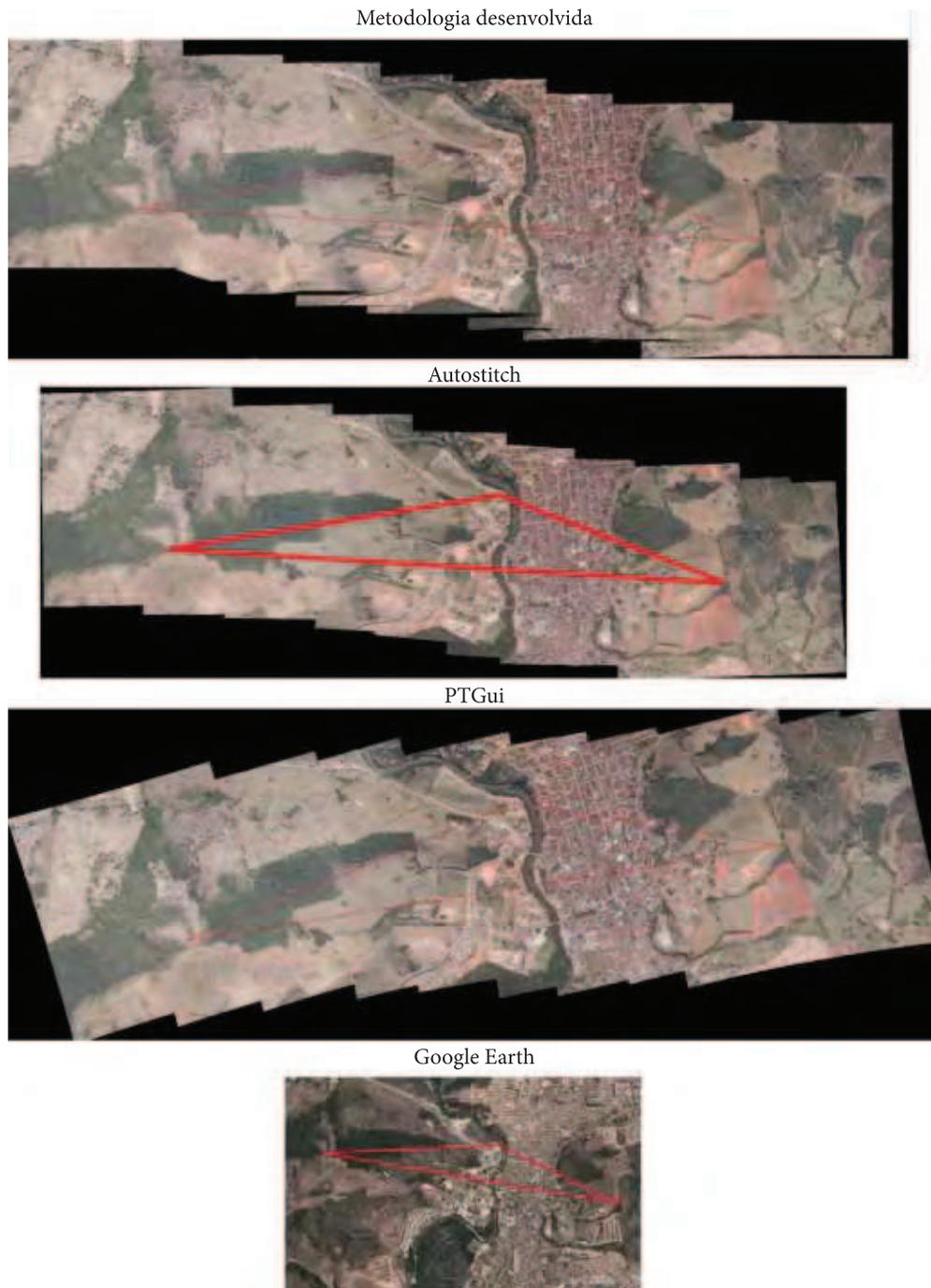


Figura 6. Exemplo de mosaicos gerados e comparação com o *Google Earth*.

$$D = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \quad \text{Eq. 1}$$

Com os valores dos segmentos de reta é possível calcular proporções (AB/BC, BC/AC, AB/AC) e fazer uma comparação em relação aos valores obtidos pelo *Google Earth* e determinar o Erro Quadrático Médio (EQM), utilizado como indicador de distorção.

Os valores das marcações feitas no *Google Earth* são baseadas em coordenadas GPS de latitude e longitude (GPS - *Global Positioning System*). As coordenadas GPS foram convertidas para o padrão UTM (*Universal Transverse Mercator*), para que os cálculos de proporções pudessem ser realizados.

Para avaliar a metodologia desenvolvida em relação a softwares similares já existentes, foram gerados os respectivos mosaicos por dois softwares de licença gratuita (Figura 6): *AutoStitch* (<http://www.cs.bath.ac.uk/brown/autostitch/autostitch.html>) e *PTGui* (<http://www.ptgui.com>). Em seguida foi aplicada a mesma metodologia de avaliação de distorção nos mosaicos gerados por estes softwares. Os valores de EQM foram comparados com os da metodologia desenvolvida e com os do *Google Earth*.

Os valores das marcações (Figura 4) feitas no mosaico da metodologia desenvolvida, no *Autostitch* e no *PTGui* são baseados nas coordenadas da própria imagem (x,y). Os valores de EQM determinados para avaliar a distorção para cada um dos 10 mosaicos gerados utilizando a base de imagens redimensionada são apresentados na Tabela 2. Os valores em negrito na Tabela 2 evidenciam os melhores resultados para a Metodologia Desenvolvida e para o *Autostitch*. Fazendo-se uma avaliação visual da Figura 6 observa-se que o *PTGui* diferencia-se dos mosaicos da metodologia desenvolvida e do *Autostitch* por apresentar uma acentuada distorção, evidenciando que este software não trata o problema da distorção nas junções.

4. Conclusões

De acordo com a Tabela 1, é possível verificar que o tempo para construção dos mosaicos é influenciado pela quantidade de *threads* utilizada. Quando se usa n=4 *threads*, o tempo médio é 50% menor, comparado com o processamento sequencial (n=1); e quando se usa n=8 *threads* o tempo médio é 60% menor, levando-se a

concluir que a diferença do tempo médio para n=4 e n=8 *threads* é de apenas 10%, não havendo, portanto, uma redução de tempo significativa para o uso de n=8 *threads*. Com relação à metodologia apresentada para a redução do tempo de processamento houve a preocupação de se utilizar um padrão de programação paralelo que fosse prático e funcional para o usuário final da área agrícola.

Quanto à avaliação da distorção apresentada na Tabela 2, é possível concluir que dos 10 grupos de imagens, 07 apresentaram menor valor de EQM para a metodologia desenvolvida e 03 para o *Autostitch*. É possível também concluir que o *PTGui* distorce mais as imagens em relação aos dois outros programas, provavelmente não tratando questões de retificação de imagens, podendo-se verificar visualmente no mosaico por ele gerado (Figura 6), que não trata adequadamente as distorções nas junções.

A metodologia desenvolvida para a geração de mosaicos procurou tratar de forma adequada a etapa de retificação de imagens e das distorções nas junções, conduzindo a melhores resultados, conforme apresentado.

Com relação à metodologia apresentada para a redução do tempo de processamento houve a preocupação de se utilizar um padrão de programação paralelo que fosse prático e funcional para o usuário final da área agrícola.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro e institucional cedido pelo projeto MCT/FINEP/CT-AGRO - Agricultura de Precisão 01/2008 - FIPAI/CNPQIA - ISOBUS2.

Referências

CHON, J.; KIM, H.; LIN, C. S. Seam-line determination for image mosaicking: a technique minimizing the maximum local mismatch and the global cost. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 65, n. 1, p. 86-92, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.09.001>

- FENG, H.; YURONG, E. L.; ZHANG, C. Y. Parallelization and characterization of SIFT on multi-core systems. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WORKLOAD CHARACTERIZATION, 2008, Seattle. **Proceedings...**
- GRAHAM, S. L.; KESSLER, P. B.; MCKUSICK, M. K. Gprof: a call graph execution profiler. **ACM SIGPLAN Notices**, v. 39, n. 4, p. 49-57, 2004. <http://dx.doi.org/10.1145/989393.989401>
- JUAN, L.; GWUN, O. A comparison of SIFT, PCA-SIFT and SURF. **International Journal of Image Processing**, v. 3, n. 4, p. 143-152, 2009.
- KAYNIG, V.; FISCHER, B.; MULLER, E.; BUHMANN, J. M. Fully automatic stitching and distortion correction of transmission electron microscope images. **Journal of Structural Biology**, v. 171, n. 2, p. 163-173, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsb.2010.04.012>
- LALIBERTE, A. S.; HERRICK, J. E.; RANGO, A.; WINTERS, C. Acquisition, orthorectification, and object-based classification of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for rangeland monitoring. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 76, n. 6, p. 661-672, 2010.
- LEBOEUF, J. Practical applications of remote sensing technology: an industry perspective. **HortTechnology**, v. 10, n. 3, p. 475-480, 2000.
- LELONG, C. C. D.; BURGER, P.; JUBELIN, G.; ROUX, B.; LABBÉ, S.; BARET, F. Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots. **Sensors**, v. 8, p. 3557-3585, 2008. <http://dx.doi.org/10.3390/s8053557>
- LIANG, J.; DEMENTHON, D. Mosaicing of camera-captured document images. **Computer Vision and Image Understanding**, v. 113, n. 4, p. 572-579, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2008.12.004>
- LIU, H.; LI, Z. Y.; ZHANG, L.; XU, Y. Image retrieval based on micro-structure descriptor. **Pattern Recognition**, v. 44, n. 9, p. 2123-2133, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2011.02.003>
- LOWE, D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. **International Journal of Computer Vision**, v. 60, n. 2, p. 91-110, 2004. <http://dx.doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>
- ROY, S.; MEUNIER, J.; COX, I. Cylindrical rectification to minimize epipolar distortion. In: IEEE COMPUTER SOCIETY CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 1997, San Juan. **Proceedings...** IEEE, 1997. p. 393-399. <http://dx.doi.org/10.1109/CVPR.1997.609355>
- WULDER, M. A.; WHITE, J. C.; NIEMANN, K. O.; NELSON, T. A. comparison of airborne and satellite high spatial resolution data for the identification of individual trees with local maxima filtering. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 11, p. 2225-2232, 2004. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160310001659252>
- ZHONG, M.; ZENG, J.; XIE, X. Panorama stitching based on SIFT algorithm and Levenberg-Marquardt optimization. **Physics Procedia**, v. 33, p. 811-818, 2012.