

Fusão entre diferentes sensores para a classificação sucessional em pequenas propriedades rurais

Ricardo Dal'Agnol da Silva¹

Aline Bernarda Debastiani¹

Maurício de Souza¹

Flamarion Dresch Pereira¹

Mosar Faria Botelho¹

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Dois Vizinhos
CEP – 85660-000 – Dois Vizinhos - PR, Brasil
{ricds, aline_ck, dark_mds, flamadresch}@hotmail.com
mosar@utfpr.edu.br

Abstract. This research aims to make the fusion of images by using datas from differents sensors specifically CBERS-2B with SPOT-5. The perform of a image with better special quality keeping the spectral values enables the supervised classification of vegetation in sucessional stages aiming to attend the legislation SISLEG (State Decree 3320/04) requiring, giving less costs to the small landowner. It was used a panchromatic image with 2.5m of HRC spatial resolution, CBERS-2B instrument, and a multispectral image with 5m HRG spatial resolution, SPOT-5 instrument.. It was tested four image fusions techniques: HSV, Gram-Schmidt, Principal Components Analysis (PC) and Brovey. The supervised classification MAXVER was applied in each synthetic image after that five morphological filter were applied searching the homogenization of classes to enable a better compatibility to image verification. The verification image was made by hand trough photo-interpretation of images techniques. The results were compared from kappa index. The fusion of images by PC method showed better results among the fusion of images methods tested, with a Kappa index average of 0,6134 and a global average accuracy of 71,73%. These results can help to get a faster classification of vegetation succession with fewer costs, which could help on small landowners socio-economic situation.

Palavras-chave: HSV, Gram-Schmidt, Principal components analysis, Brovey, fusão de imagens, classificação

1. Introdução

Tomando-se por base a necessidade legal de restauração de áreas de preservação permanente e reserva legal, de acordo com o Código Florestal Brasileiro (Lei 4771/65), Lei Florestal do Paraná (Lei 11054/95) e o Sisleg (Decreto Estadual 3320/04), a necessidade de vegetação natural estaria bem acima de 20%, chegando, na maioria dos casos a cerca de 25% ou mais da área total das propriedades, somando-se as duas áreas protegidas citadas. Isso demonstra que há uma necessidade de se recuperar uma porcentagem significativa de áreas, as quais eram formadas anteriormente principalmente por florestas nativas, e que essa preservação gera grande impacto na renda nos pequenos produtores rurais do sudoeste do Paraná, pois sua área disponível ao plantio é reduzida consideravelmente.

A fim de atender a legislação do Sisleg, é necessária a realização de uma classificação da vegetação em estágios pioneiro, médio ou avançado de sucessão primária ou secundária seguindo os critérios estabelecidos pelo CONAMA (Resolução CONAMA N°2/1994). Essa classificação, por sua vez, é realizada, normalmente, pelos métodos tradicionais de levantamento a campo através de análises florísticas e fitossociológicas, que são dispendiosos de mão-de-obra e tempo. Dessa forma, dispositivos de sensoriamento remoto aparecem como ferramentas que podem vir a auxiliar no levantamento das classes sucessionais.

Uma dessas ferramentas é o uso de imagens orbitais, de média e alta resolução, que através da classificação supervisionada pode classificar a vegetação em estágios sucessionais de acordo com a diferente assinatura espectral refletida pelos alvos (Novo, 2008).

No entanto, há uma grande dificuldade de se adquirir imagens de média e alta resolução devido o alto custo monetário. Dessa forma, a técnica de fusão de imagens surge como uma forma de gerar imagens digitais sintéticas com melhor resolução espacial que as

convencionais gratuitas a partir da integração de dados de diferentes sensores unindo a qualidade de cada um para formar uma imagem híbrida com resolução espacial e espectral mais interessante (Pinho et al., 2005).

Visando a redução de custo para o pequeno proprietário rural, procurou-se avaliar a distribuição das áreas, bem como delimitar os estágios de regeneração da floresta, com base na Resolução nº 2 do CONAMA, de 18 de março de 1994, utilizando do processo de classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança (Maxver) de imagens digitais híbridas geradas por diferentes técnicas de fusão, sendo elas HSV, PC, *Gram-Schmidt* e *Brovey*, e compará-las com a classificação real levantada à campo a fim de se determinar qual é o melhor método de fusão de imagens para diferentes sensores.

2. Técnicas de fusão

A fusão de imagens procura juntar a informação espectral à espacial, de menor píxel, com a menor perda de dados possível (Chaves e Bowel, 1988). A fusão das imagens PAN e MS pode ser realizada por diversos métodos, sendo alguns deles: HSV, PC, *Gram-Schmidt* e *Brovey*.

A técnica HSV (*hue, saturation e value*), de acordo com Schneider et al. (2003), corresponde na transformação de três bandas da imagem MS, inicialmente no espaço RGB de cores, para HSV, onde a componente V (valor) é substituída pela imagem PAN e é realizado a operação inversa para dar origem a imagem fusionada.

Segundo Pinho et al. (2005) a fusão de imagens por Principais Componentes inicia com a transformação das bandas multispectrais em um mesmo número de componentes não correlacionados. É realizado um processo de equalização de média e variância na banda pancromática para deixá-la o mais parecido possível com a primeira componente principal (CPI) a fim de substituí-la na imagem MS. Após a substituição, é realizada a inversão do processo e obtém-se a imagem fusionada.

A fusão *Gram-Schmidt* (GS) trata-se da simulação de uma banda pancromática a partir das bandas MS com baixa resolução espacial, onde é realizado uma transformação de *Gram-Schmidt* no processo e essa banda PAN simulada é trocada pela banda PAN de alta resolução, e, por fim, é realizado a transformação inversa para dar origem a imagem sintética de saída (RSI, 2003).

Segundo Vrabel (1996), a técnica *Brovey*, também chamada de normalização de cores, consiste na combinação aritmética entre uma imagem MS de baixa resolução do espaço RGB de cores e uma imagem PAN de alta resolução, onde é realizado a multiplicação de cada banda MS pela razão da imagem PAN e dividida pela soma das bandas da imagem MS.

3. Avaliação

A avaliação da exatidão de uma classificação deve ser realizada através da comparação da classificação dos dados do sensor com valores de referência em campo, chamada de verdade de campo (Jensen, 1996).

A relação do mapa classificado com a verdade de campo é realizada através de uma matriz de erros ou confusão, a qual identifica o erro global da classificação para cada classe, mostrando também como se deram as confusões entre as categorias e os erros de omissão e comissão, que significam a omissão da classe em campo e a confusão com outra classe, respectivamente (Brites, 1996).

O somatório da diagonal principal da matriz de erros multiplicado por 100 e dividido pelo somatório de todas as linhas da matriz (total de píxeis) resulta na Exatidão Global em percentagem, ou seja, a percentagem de píxeis que coincidiram na classificação. O índice Kappa de Cohen é uma medida que avalia a concordância entre dois avaliadores além do que se é esperado no acaso (COHEN, 1960).

Segundo Congalton (1991) o uso do coeficiente kappa (K), calculado pela Equação 1 demonstrada abaixo, é satisfatório na avaliação da exatidão de uma classificação por utilizar em seu cálculo toda a matriz de confusão, diferente da Exatidão Global que só considera os elementos da diagonal principal da matriz.

$$K = \frac{X \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{X^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \quad (1)$$

em que X = elemento da matriz de erros; R = número de categorias presentes na matriz de erros; X_{ii} = elementos da diagonal principal; X_{i+} = total da linha para uma dada categoria informacional; e X_{+i} = total da coluna para uma dada categoria informacional.

O índice kappa pode variar de 0 a 1, significando uma perfeita concordância se definido como 1, ou um total acaso no resultado caso o índice for igual a 0. De acordo com Landis e Koch (1977), a concordância pode assumir algumas características de acordo com a definição do índice kappa, descritas na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Intervalo de aceitação dos resultados do índice Kappa

Índice Kappa (K)	Características
$K < 0,2$	Ruim
$0,2 < K < 0,4$	Fraca
$0,4 < K < 0,6$	Média
$0,6 < K < 0,8$	Boa
$K > 0,8$	Excelente

4. Material e Métodos

Foi escolhida como área de estudo a vegetação remanescente do campus da UTFPR de Dois Vizinhos-PR de 48 hectares, cortada por pequenos e poucos cursos d'água. Localiza-se nas coordenadas 25°41'30"S e 53°06'04"W com altitude variando de 475m à 510 m, apresentando estágios iniciais e médios da sucessão florestal, predominantemente, e poucos estágios finais. Sua vegetação original, segundo dados do IBGE (2004), é classificada como Floresta Estacional Semidecidual em transição para Floresta Ombrófila Mista.

O levantamento dos estágios sucessionais de forma manual foi realizado através de foto-interpretção partindo do conhecimento prévio de campo, onde, posteriormente, fora gerado uma imagem raster contendo os valores das classes sucessionais.

As imagens digitais foram adquiridas a partir dos sensores orbitais CBERS-2B e SPOT-5. A imagem Pancromática (PAN) foi obtida através do instrumento HRC do sensor CBERS-2B com órbita/ponto 160_B/129_1 e data de passagem em 13 de dezembro de 2008, cedida gratuitamente pelo catálogo do INPE, a qual possui uma resolução espacial de 2,5m. A imagem multiespectral (MS) utilizada originou-se de uma fusão das bandas PAN e da Multiespectral (MS) do instrumento HRG do sensor SPOT-5 de data de passagem próxima à PAN, possuindo originalmente 5 e 10m resolução espacial, cedida gentilmente pela Associação dos Municípios do Sudoeste do Paraná – AMSOP. Será realizado uma reamostragem da imagem MS de 5 para 2,5m a fim de produzir menos sombra nas bordas das classes no momento da fusão. (Figura 1)

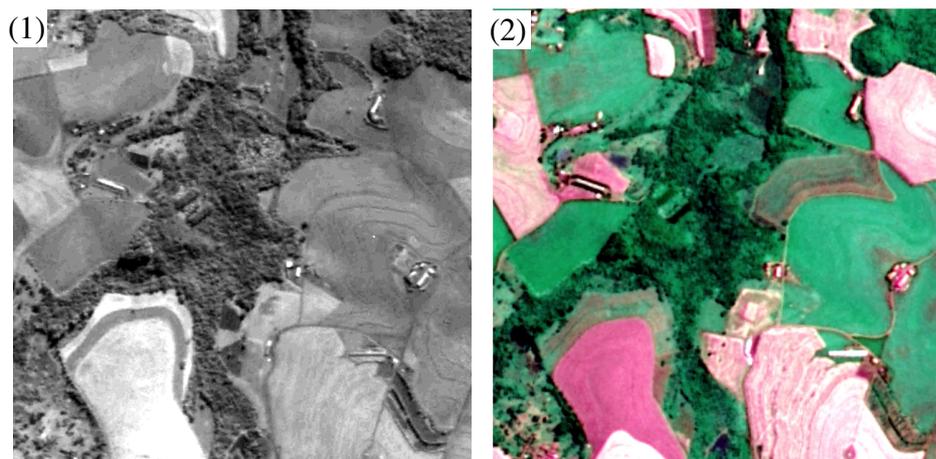


Figura 1. Imagens PAN CBERS-2B/HRC(1) e MS SPOT-5/HRG(2)

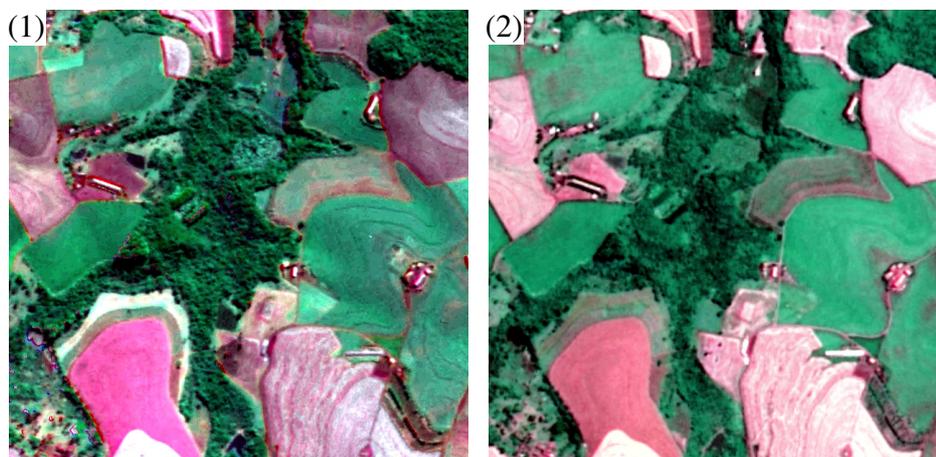
A fusão de imagem será realizada utilizando-se dos métodos HSV, PC, *Gram-Schmidt* e *Brovey*, gerando quatro imagens sintéticas. A partir dessas imagens será realizado a classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança (Maxver) e, após, um pós-processamento com a utilização de filtros morfológicos de abertura nas seguintes intensidades: sem filtro, 3x3, 3x3 (duplo), 5x5, 5x5 (duplo), 3x3 + 5x5.

A análise de dados será feita através da análise qualitativa, pela observação das imagens geradas, e análise quantitativa, utilizando dos índices kappa e exatidão global obtidos a partir da matriz de confusão, qual foi gerada sobre a comparação da imagem testemunha obtida com os dados de campo com as classificações realizada para cada tipo de pós-processamento.

5. Resultados e Discussão

As imagens fusionadas apresentaram uma aparência boa e semelhante à multiespectral original, porém com características espaciais da PAN utilizada. Não se observou muitos efeitos de sombra nas bordas das classes provavelmente devido à reamostragem realizada previamente.

Pode-se observar na Figura 2 que a imagem fusionada HRC apresentou um verde mais intenso que nas outras imagens para a vegetação quando dispostas as mesmas configurações para apresentação. Enquanto a imagem fusionada de *Brovey* apresentou-se com um verde claro para a vegetação e cores bem diferenciadas para cada classe, o que possibilita uma distinção dos alvos/classes de maneira mais fácil. Pode-se notar visualmente que a imagem fusionada *Gram-Schmidt* mesclou algumas classes de cultura com as cores de vegetação.



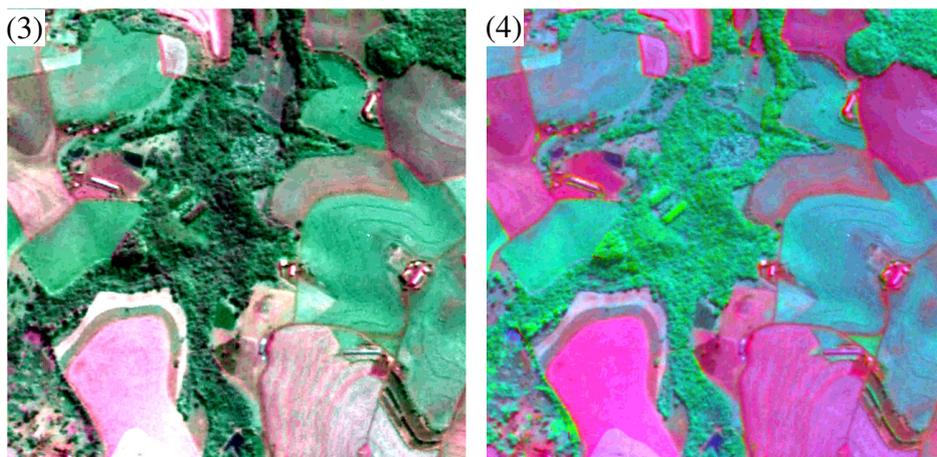


Figura 2. Imagens fusionadas pelas técnicas HSV(1), PC(2), *Gram-Schmidt*(3), *Brovey*(4)

A partir das classificações de cada imagem fusionada confirma-se que a fusão GS e *Brovey* confundiram algumas classes de cultura com vegetação, como pode ser observado na Figura 3. A classificação da fusão PC tem claramente classes mais homogêneas de vegetação, assim como a HSV. A imagem PC também manteve melhor as feições originais da imagem.

Nas imagens classificadas com aplicação de pós-processamento observadas na Figura 4, nota-se que as áreas estão mais homogêneas em PC e GS, respectivamente. Os filtros eliminaram muitos ruídos que haviam nas áreas de vegetação.

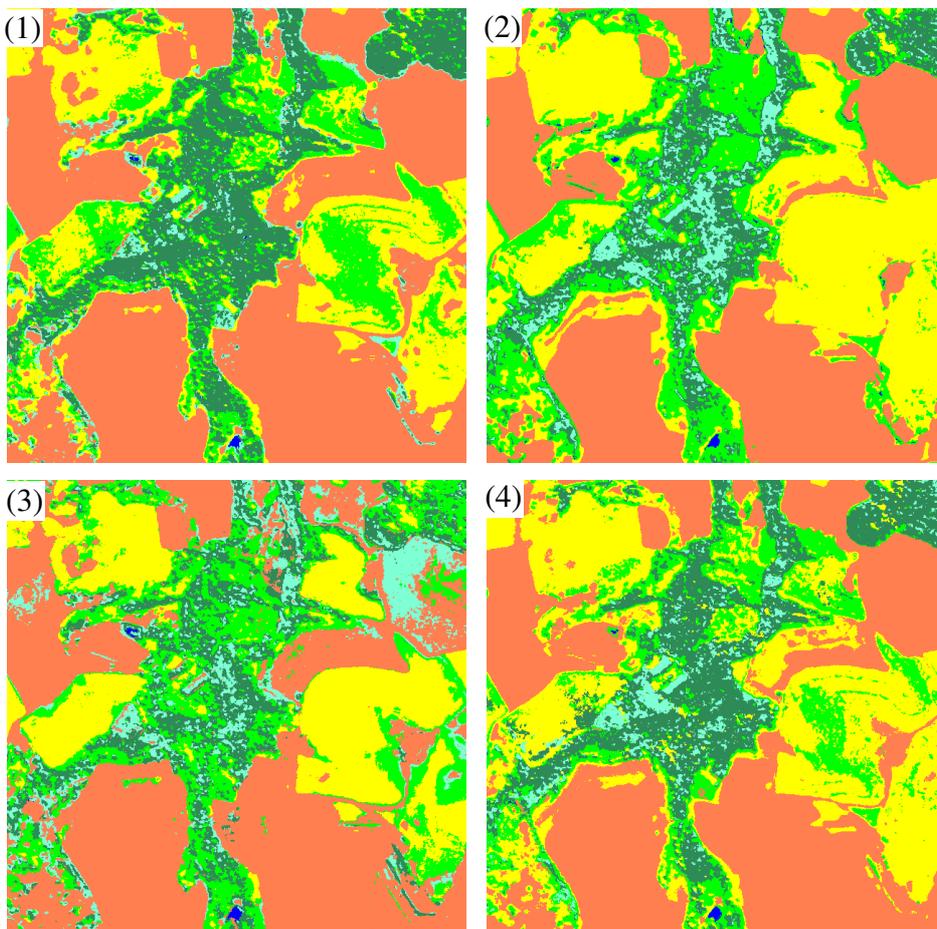


Figura 3. Imagens fusionadas classificadas por Maxver HSV(1), PC(2), *Gram-Schmidt*(3), *Brovey*(4)

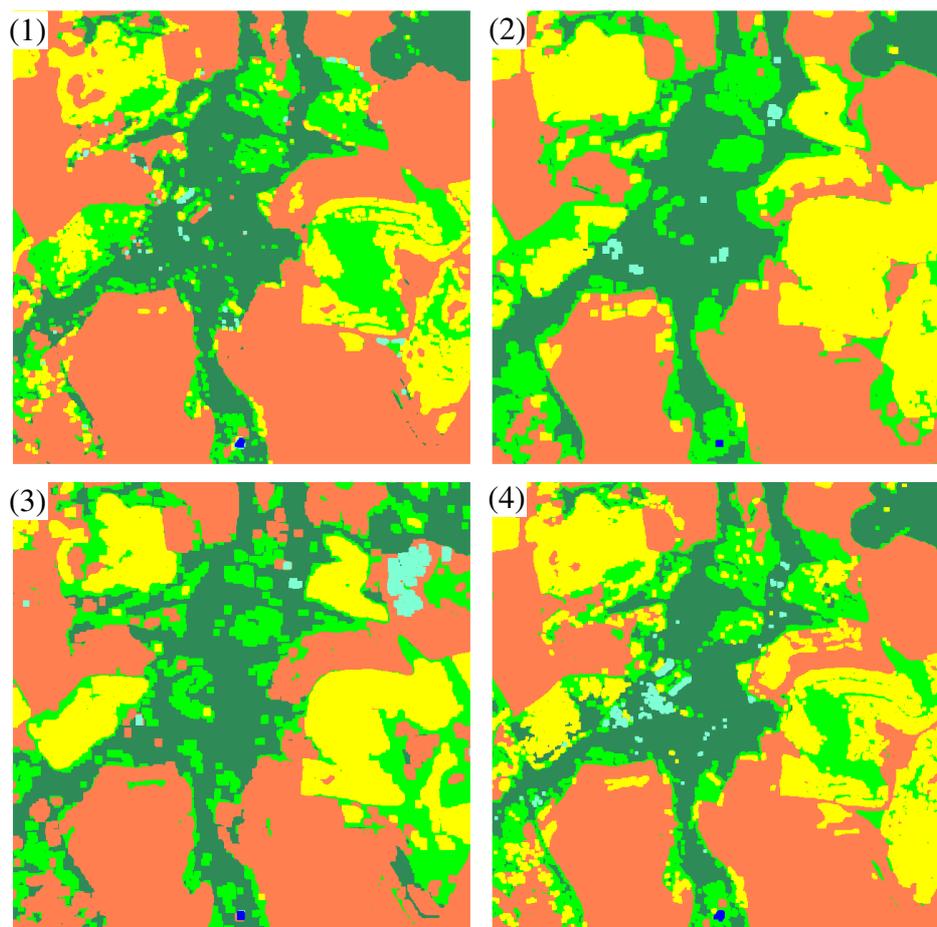


Figura 4. Imagens fusionadas classificadas por Maxver HSV_3x3(dupla)(1), PC_5x5(dupla)(2), Gram-Schmidt_5x5(dupla)(3), Brovey_5x5(4)

A Tabela 2 abaixo demonstra o resultado das comparações entre as classificações e os respectivos índices kappa e exatidão global.

Tabela 2. Índices Kappa e Exatidão Global para cada Técnica de Fusão e Filtro aplicado

Filtro	PC		HSV		GS		Brovey	
	Kappa	Exatidão Global (%)						
sem filtro	0,5897	69,70	0,5187	65,58	0,4568	59,86	0,5358	66,49
3x3	0,6059	71,07	0,5213	66,14	0,4700	61,23	0,5453	67,37
3x3 (duplo)	0,6208	72,36	0,5190	66,23	0,4820	62,43	0,5556	68,31
3x3 + 5x5	0,6208	72,36	0,5190	66,23	0,4820	62,43	0,5556	68,31
5x5	0,6208	72,36	0,5190	66,23	0,4820	62,43	0,5556	68,31
5x5 (duplo)	0,6221	72,57	0,5070	65,56	0,4820	62,96	0,5536	68,32

Os índices kappa para a fusão PC com aplicação de qualquer tipo de filtro representou uma concordância boa seguindo os intervalos de aceitação propostos por Landis e Koch (1977), todas as outras classificações, incluindo PC sem filtro foram classificadas como de média concordância.

Nota-se que a fusão por Principais Componentes (PC) utilizando do filtro morfológico de abertura 5x5 (duplo) obteve o maior índice kappa entre todas as classificações: 0,6221; e uma Exatidão Global de 72,57% dos píxeis, sendo que o kappa para o PC sem filtro era de 0,5897.

Obteve-se um aumento considerável nos índices com a utilização do filtro 5x5 (duplo), homogeneizando melhor as classes, como pode ser observado na Figura 1.

Para a fusão HSV o maior índice kappa foi de 0,5213 e exatidão global de 66,14% dos píxeis, com a utilização de um filtro de 3x3, aumentando pouco sobre o índice original sem filtro de 0,5187. Houve pouco aumento de kappa com a utilização dos filtros.

Para a fusão *Gram-Schmidt* o maior índice kappa foi de 0,4820 com os filtros 5x5 (duplo), 5x5 e 3x3 + 5x5, e a maior exatidão global foi para o filtro 5x5 (duplo). Nesse caso, mais de um filtro chegou a um mesmo resultado.

Para a fusão de *Brovey* o maior índice kappa foi de 0,5556 para os filtros 5x5, 3x3 + 5x5 e 3x3 (duplo), com exatidão global de 68,31% dos píxeis. Nesse caso, mais de um filtro chegou a um mesmo resultado. Houve pouco aumento de kappa com a utilização dos filtros.

6. Conclusões

Pela análise dos índices kappa observa-se que a fusão por Principais Componentes foi a que trouxe maior exatidão para a classificação independente do filtro, pois o índice ficou superior aos demais possuindo um kappa médio de 0,6134 e uma Exatidão Global média de 71,73%.

Diante disso, a utilização da fusão de imagem entre diferentes sensores juntamente da classificação supervisionada tornam-se grandes aliados nos processos de classificação sucessional visando a aplicação da Legislação prevista no Sisleg de forma rápida e com menor custo, pois permite associar diferentes plataformas e sensores, o que pode contribuir na situação sócio-econômica da região.

Agradecimentos

Agradecimentos à Fundação Araucária e ao CNPq que possibilitaram a realização desse projeto.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contagem Populacional. **Vegetações do Paraná**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 de jun.2004.

Brites, R. S. Verificação de exatidão em classificação de imagens digitais orbitais: efeito de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão. 1996. 101 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

Cohen, J. A Coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, [S.l.], v. 20, p. 37-46, 1960.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 02/94 - **Estágios de sucessão florestal no estado do Paraná**. Disponível em: <www.mma.gov.br/conama>. Acesso em: 10 set.2010.

Congalton, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1991.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Câmeras Imageadoras**. Disponível em: <<http://www.cbers.inpe.br/?content=cameras1e2e2b>>. Acesso em: 17 set.2010.

Jensen, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 316 p.

Landis J.R., Koch G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, vol. 33, p. 159-174, 1977.

Novo, Evlyn M. L. de M.. **Sensoriamento Remoto**. 5.ed. São Paulo: Blucher, 2008.

Pinho, C.M.D.; Rennó, C.D.; Kux, H.J.H. Avaliação de Técnicas de Fusão Aplicadas à Imagem QuickBird. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (p. 4225-4232). **Anais**. Goiânia, 2005. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/geu/Congressos_Simposios%20Nacionais/Carolina_XII%20SBSR_Fusao.pdf>. Acesso em: 17 set.2010.

RSI (Research Systems, Inc). **ENVI User's Guide**. ENVI Version 4.0 September, 2003.

Schneider, M.J.; Bellon, O.R.P.; Araki, H. Experimentos em fusão de imagens de alta resolução. **Boletim Ciências Geodésicas**, v. 9, n. 1, p. 75-88, 2003.

Vrabel, J. Multispectral imagery band sharpening study. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 62, n. 9, p. 1075-1083, 1996.