

## Mapeamento de áreas elegíveis para implementação de projetos de carbono

Marcelo Hiromiti Matsumoto<sup>1</sup>

Leandro Cláudio Baumgarten<sup>1</sup>

Milena Justino Ribeiro<sup>1</sup>

Gilberto Tiepolo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TNC – The Nature Conservancy

Programa de Conservação AFCS

Rua Padre Anchieta, 392 – 80.410-030 – Curitiba – PR, Brasil

{mmatsumoto, lbaumgarten, mribeiro, gtiepolo}@tnc.org

**Abstract:** Areas likely to receive carbon credits must meet internationally agreed protocols, two of these are: Kyoto and VCS. These protocols establish rules to evaluate a possible area that whether is eligible or not to receive carbon credits. Both protocols require a temporal satellite imagery analysis in order to assure that an eligible area was deforested prior to 1990 and still not covered by forest for Kyoto protocol, while VCS protocol establishes that an eligible area was not cleared within 10 past years and currently is not covered by forest. The aim of this study was to develop a standard routine to map eligible area for carbon project based on Landsat 5 satellite imagery. Tasseled Cap transformation was applied to extract two components as a result of this transformation: brightness and wetness, also a NDVI image was created to perform this analysis. Thresholds for each of set of images were defined interactively to distinguish areas which are not covered by forest; only pixels that lie within these thresholds were selected as potential area for carbon project implementation. The result of this mapping indicates that 29,902ha and 26,150ha are eligible for carbon projects within the study area, according to the Kyoto protocols and VCS, respectively. The result showed a high grade of accuracy (Kappa index = 0.88 and 0.81 for Kyoto and VCS protocols respectively) for those areas identified as eligible for carbon project. Based on this analysis model, a tool was developed, called CarbonoGeo to map areas for carbon project implementation.

**Palavras-Chaves:** temporal analysis, Tasseled Cap transformation, análise temporal, transformação Tasseled Cap, CarbonoGeo

### 1.Introdução

Projetos de carbono tem sido adotado como uma das estratégias de mitigação da emissão de carbono, e ao mesmo tempo, a implementação deste tipo de projetos podem contribuir com a preservação e conservação da biodiversidade e dos recursos naturais. Afim de promover a implementação de projetos voltados a fixação de carbono alguns protocolos foram elaborados para definir os critérios de elegibilidade para contabilização desses créditos de carbono.

Dois desses protocolos reconhecidos são: Quioto e VCS (*Voluntary Carbon Standard*) ratificados por diversas entidades e países. Pelo protocolo de Quioto, as áreas elegíveis são consideradas àquelas que foram desmatadas anteriormente a 1990 e que permanecem sem a cobertura florestal atualmente (Griss, 2002), enquanto que o Protocolo VCS considera as áreas potenciais, os locais onde foram desmatadas até no máximo 10 anos antes da realização das análises (VCS, 2010). Nos dois protocolos a análise temporal usando imagens de satélite é essencial para avaliar se o local é passível de implementação de um projeto de carbono.

Uma das possibilidades mais comumente utilizada é por meio da classificação supervisionada/não supervisionada das imagens e posteriormente a sua comparação entre si.

Ainda existem outras técnicas mais sofisticadas que podem ser aplicadas, como a classificação orientada a objetos.

Outra possibilidade é por meio da transformação das imagens espectrais em diferentes componentes que representam determinados aspectos dos alvos no solo. A transformação *Tasseled Cap* é uma dessas técnicas de processamento para extração de componentes em uma imagem de satélite (Crist & Ciconne, 1984). A geração de índices de vegetação igualmente pode ressaltar determinados tipos de formações vegetacionais.

Os índices de vegetação constituem um importante instrumento para tratamento de imagens de satélite, permitindo medições da cobertura verde do dossel que é resultado da composição de várias propriedades relacionados ao potencial fotossintético da vegetação, incluindo clorofila total da folha, área foliar, cobertura e estrutura do dossel (Huete et al., 2006).

Existe uma ampla gama de modelos de índice de vegetação podendo atenuar ou acentuar determinadas características que influenciam o cálculo do índice. Esses índices em geral, representam a razão entre as imagens da faixa infravermelho próximo e o visível do vermelho, caso do NDVI, TVI, enquanto que outros índices procuram atenuar o efeito do solo no cálculo do índice (SAVI, PVI) (Jensen, 2005).

O intuito deste projeto foi estabelecer o método de análise utilizando técnicas de processamento de imagem, e posteriormente o desenvolvimento de uma ferramenta, chamada de CarbonoGeo, para executar levantamentos de forma rápida das áreas consideradas potencialmente elegíveis para implementação de projetos de carbono, segundo os protocolos de Quioto e VCS.

## 2. Materiais e Métodos

Para que uma determinada área seja considerada elegível, é necessário que o pixel na data mais antiga esteja classificada como sem cobertura de vegetação, assim como na imagem mais recente, esta classe precisa prevalecer. Pelo protocolo de Quioto, somente aquelas áreas que se encontravam desmatadas anteriormente a 1990 serão consideradas como elegíveis para implementação de projetos de carbono. Já para atender o protocolo VCS os pixels elegíveis serão aqueles que se apresentarem com a classe desmatada para as imagens de 1999 e 2010.

O método proposto neste estudo utiliza uma série de filtros para reduzir a complexidade das informações de forma a reduzir as bandas das imagens de satélite em componentes. A partir da geração das imagens de Brilho, Umidade e NDVI das imagens de satélite é feito a identificação dessas áreas com a seleção através da aplicação de limiares (Soares-Filho, 2005). Foi feito a sobreposição entre elas, com os limiares determinados, foi gerado a imagem com a área potencial desmatada, o mesmo procedimento foi replicado para a imagem seguinte, de forma a obter duas imagens de áreas desmatadas de diferentes datas. A sobreposição entre esses dois resultados indica os locais elegíveis para implementação de projetos de carbono.

### Área de estudo

A área analisada compreende uma das sub-bacias de contribuição do Sistema Cantareira, na porção Leste do estado de São Paulo, e sul de Minas Gerais. Abrange uma área aproximada de 228.000 ha com a presença de remanescentes florestais distribuídas isoladamente. Esta

região engloba diversas sub-bacias hidrográficas do Sistema Cantareira, uma das responsáveis pelo abastecimento de água da região metropolitana da Grande São Paulo (Figura 1).

A identificação de áreas potenciais para implementação de projetos de carbono pode contribuir para a conservação da qualidade e quantidade dos recursos hídricos para este importante sistema de abastecimento de água para a população urbana, através da proteção e recuperação da cobertura florestal.

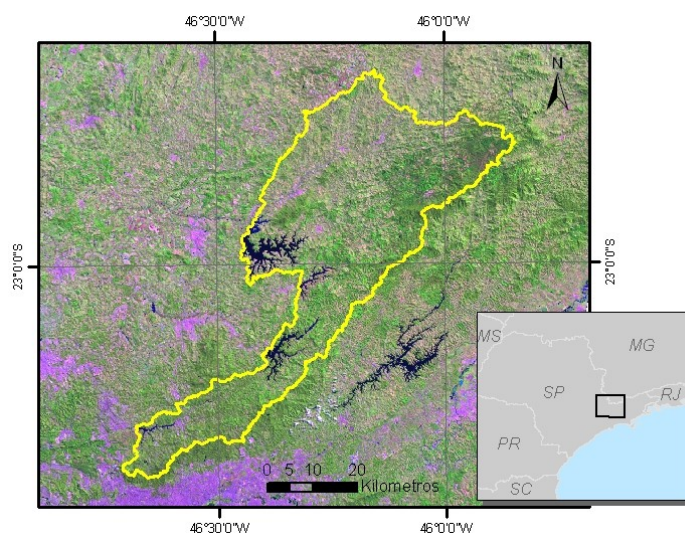


Figura 1 – Localização da área de estudo.

#### Imagens de satélite

As imagens Landsat 5, órbita/ponto 219/076, utilizadas neste trabalho, foram obtidas através da página do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>), sendo processada as seguintes datas desta cena: 09/Ago/1987, 19/Mar/1999 e 18/Abr/2010. Essas imagens foram selecionadas de forma a atender os protocolos de Quioto e VCS quanto a data de passagem do satélite, e aquelas que apresentavam a menor cobertura de nuvens possível.

Essas imagens foram corrigidas geometricamente utilizando o programa Erdas Imagine 2010, obtendo-se RMS inferior a 15m. Posteriormente foi aplicado a função *Autosync* para o ajuste final dos pixels entre a imagem de 1987 em relação à imagem de 2010, e entre a imagem de 1999 com a imagem de 2010. Ao final deste processamento, a função de ajuste de histograma (*Histogram Matching*) foi executada entre as imagens, sendo a imagem de 2010 utilizada como referência.

#### Processamento

As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da imagem Landsat 5 foram importadas individualmente no ArcGIS 9.3 para que fosse aplicada a transformação *Tasseled Cap* e gerada o NDVI para as 3 imagens Landsat. Para automatizar o processamento das imagens na geração do componente Brilho, Umidade e NDVI foi criado um modelo de processamento utilizando o Model Builder do ArcGIS 9.3.

Os coeficientes da transformação *Tasseled Cap* foram obtidos em Gleriani et al. (2003) e Kuntschik & Gleriani (2007) mais apropriados para as condições do Brasil, sendo utilizado os coeficientes determinados nos componentes Brilho (*brightness*) e Umidade (*wetness*).

Como mostrado no estudo de Oliveira et al. (2007), existem vários índices de vegetação propostos, sendo que a maioria estão correlacionados entre si, não apresentando significativa diferença, assim para este trabalho, o NDVI foi escolhido para a geração das análises.

Segundo Lyon et al. (1998), os diversos índices de vegetação propostos podem ser agrupados em base ao tipo de processamento computacional exigido, esses grupos são: Subtração, Divisão e Razão. O NDVI por se um índice normalizado se enquadra nesta última classe. Neste mesmo estudo, esses diferentes índices foram comparados entre si para avaliar o grau de sensibilidade para detecção da mudança do uso do solo. O NDVI foi o que apresentou melhor resultado para a região estudada no México, por detectar as áreas com mudança da cobertura do solo com maior precisão, além de ser menos afetado pelos fatores topográficos em comparação com alguns outros índices (DVI e RVI).

Foram geradas um conjunto de 9 imagens relativas a 3 datas analisadas (1987, 1999 e 2010), sendo 3 para o componente Brilho da transformação *Tasseled Cap*, 3 para o componente Umidade, e 3 imagens de NDVI.

A determinação dos limiares foi feita de modo interativo, com as imagens processadas sobre a imagem de satélite. A imagem de Brilho de cada ano foi visualizada sobre as imagens Landsat na composição colorida R5G4B3, para criar uma máscara dos locais onde o componente solo predomina, este método foi feito para cada uma das imagens, criando assim uma máscara de solo sem cobertura vegetal densa. O mesmo procedimento foi aplicado para a imagem de Umidade, sendo determinada o limiar para selecionar os corpos d'água encontradas na imagem, criando então a máscara para os corpos d'água.

Os limiares para as imagens de NDVI foram igualmente determinadas, de forma que os pixels que apresentassem baixa quantidade de biomassa verde fossem selecionadas, este mesmo procedimento foi aplicado para as 3 imagens NDVI.

Com os limiares estabelecidos foi aplicado o cálculo para a seleção dos pixels que atendessem a seguinte condição: Brilho > Limiar, Umidade > Limiar e NDVI < Limiar. Todas as células que preenchessem esse critério foram selecionadas, sendo consideradas como áreas com baixa ou ausência de cobertura de vegetação. Esta seleção foi aplicada para cada um dos anos, tendo este resultado comparado para cada um dos protocolos, Quioto – entre as imagens para o ano de 1987 e 2010, e para o protocolo VCS – imagens de 1999 e 2010. O resultado desta sobreposição é a área elegível para implementação de projetos de carbono.

A esta imagem resultante foi feito uma generalização para eliminação de áreas muito pequenas, neste caso, áreas inferiores a 1ha.

#### Verificação

Ao final do processamento foi calculado o Índice Kappa para o mapeamento deste estudo, com a geração aleatória de 200 pontos, sendo 100 pontos para as áreas indicadas como elegíveis para implementação de projetos de carbono, e 100 pontos para as áreas consideradas como não elegível. Como existe uma diferença entre as áreas indicadas para implementação de projetos de carbono para os protocolos de Quioto e VCS, foram necessários gerar dois conjuntos distintos. Este pontos foram sobrepostos às imagens Landsat referente a cada um dos anos e verificado o tipo de cobertura do solo existente na imagem para cada uma das datas.

### 3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 mostra os valores de limiares encontrados para seleção dos pixels que potencialmente poderiam ser elegíveis para projetos de carbono. A área relativa encontrada em cada uma das imagens após aplicação dos limiares está mostrada na Tabela 2. A área calculada considera somente aqueles pixels que foram classificadas como elegível em cada uma das imagens. A Figura 2 compara os resultados obtidos após a aplicação dos limiares determinados.

Tabela 1 – Valores de limiares determinadas para a criação das máscaras de Brilho, Umidade e NDVI para o conjunto de dados de 1987, 1999 e 2010.

Ano	Imagem		
	NDVI	Brilho	Umidade
1987	0.593	98.6	5.6
1999	0.600	99.0	6.0
2010	0.581	97.0	5.0

Tabela 2 – Área relativa às imagens de NDVI e Brilho após aplicação dos limiares para os anos de 1987, 1999 e 2010, em ha.

	NDVI			
	1987		1999	
	Sobreposição	Sem sobreposição	Sobreposição	Sem sobreposição
2010	77.968 ha	66.005 ha	71.386 ha	58.506 ha

	Brilho			
	1987		1999	
	Sobreposição	Sem sobreposição	Sobreposição	Sem sobreposição
2010	71.571 ha	46.784 ha	70.816 ha	46.681 ha

Quando comparadas, as máscaras de Brilho e NDVI apresentam grande sobreposição entre si, para o conjunto de dados da mesma data. A seleção do pixel ocorre somente quando a célula apresenta o valor dentro do limiar definido. Dessa maneira, a seleção se torna mais restritiva, sendo escolhidos as células que se encontram dentro dos limiares determinados, diminuindo o erro de inclusão (erro por indicar um pixel que de fato não é elegível).

Uma das vantagens da utilização de índices de vegetação é a sua simplicidade, podendo ser aplicado facilmente em estudos voltados para uma série temporal (Huete et al., 2006). Como em ambos protocolos (Quioto e VCS), a análise temporal da imagem em duas datas é requerida, o índice de vegetação se mostrou como uma das melhores alternativas para a realização deste tipo de estudo.

O resultado da sobreposição das imagens de NDVI para o período 1999-2010 indica uma área elegível disponível menor do que para o período 1987-2010. Essa diferença pode ser consequência da mudança da cobertura do solo, com a substituição de pastagem por reflorestamento de espécies exóticas, juntamente com a sazonalidade da vegetação, uma vez que as imagens são de períodos distintos (agosto/1987 e abril/2010). Como o valor de NDVI



encontrado para as áreas de reflorestamento é relativamente alto, similar a vegetação florestal nativa, essas áreas foram consideradas como não elegíveis.

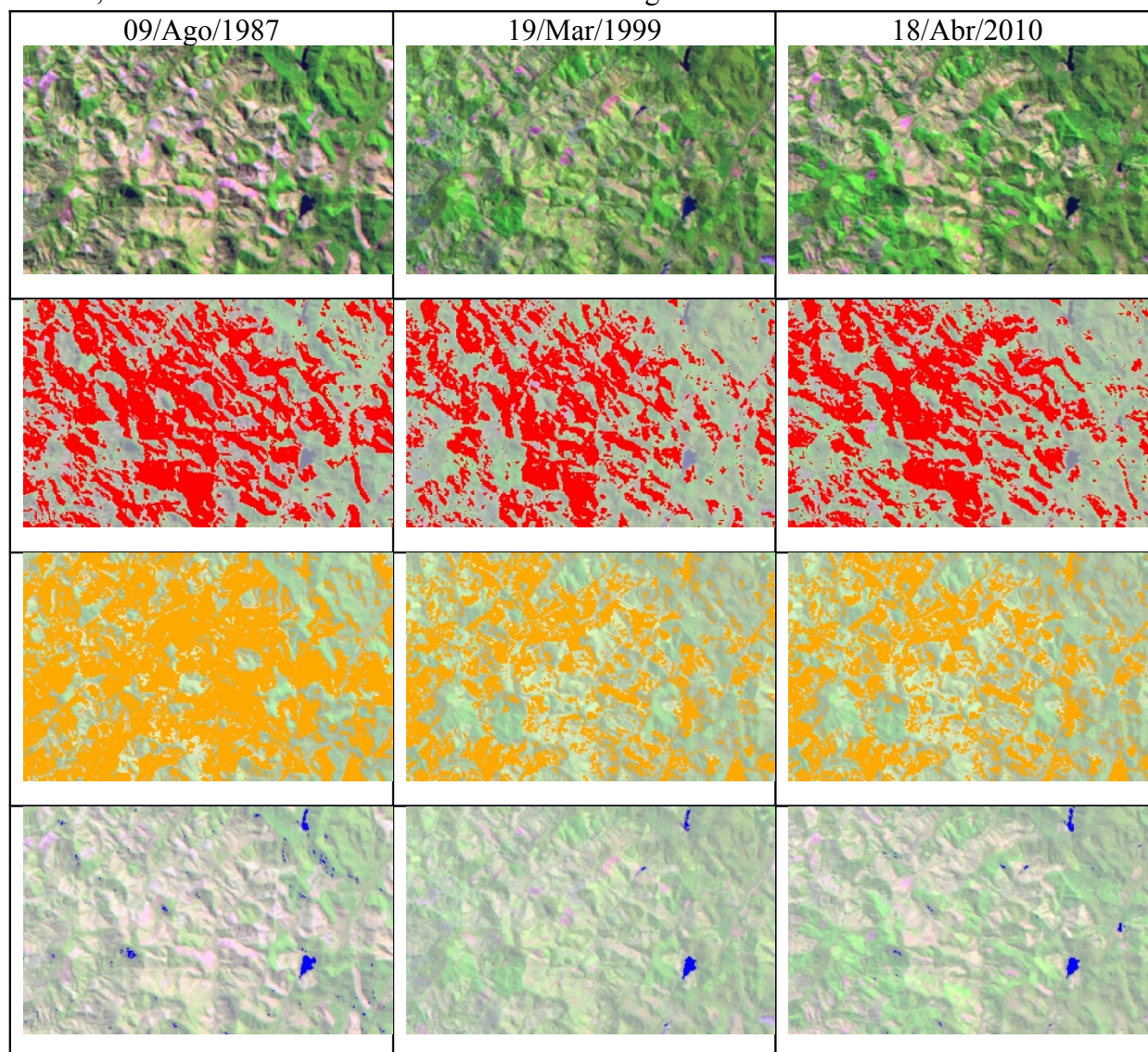


Figura 2 – Imagem obtida após aplicação dos limiares para as 3 datas para Imagem Landsat 5 R5G4B3, Brilho, NDVI e Umidade, respectivamente nas linhas.

Em relação a máscara de brilho, a sobreposição entre as imagens revela que a alteração entre os dois períodos 1987-2010 e 1999-2010 não sofreu mudança significativa. Uma das possibilidades para este fato é que a máscara de brilho é menos influenciada pelo efeito de sazonalidade como foi verificado com as imagens de NDVI.

A área potencial para implementação de projetos de carbono na região seguindo o Protocolo de Quioto é de 29.902 ha, cerca de 13% da área de estudo, enquanto que para o Protocolo VCS a área é 26.150 ha (11%). A Figura 3 mostra a área identificada como elegível para implementação de projetos de carbono de acordo com os protocolos de Quioto e VCS.

O método proposto, através de aplicação de máscaras tem se mostrado bastante eficiente, principalmente por reduzir o grau de incerteza na classificação. Diversos trabalhos de mapeamento tem aplicado esta abordagem em diferentes regiões do Brasil (Soares-Filho,

2005 e Kawakubo, 2010). O método procura aplicar filtros de maneira a excluir os locais que provavelmente não são de interesse do objeto de mapeamento, assim diminuindo o grau de imprecisão das classes mapeadas.

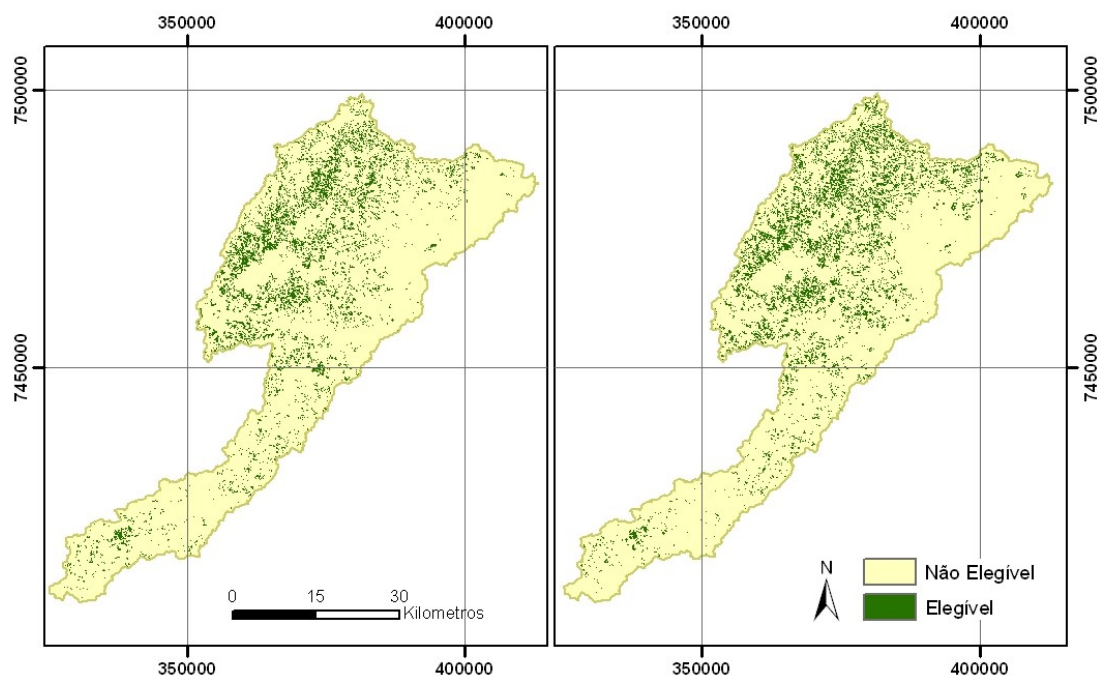


Figura 3 – Resultado do processamento aplicando os limiares para as imagens de NDVI, Brilho e Umidade, segundo os protocolos de Quioto (esquerda) e VCS (direita).

Os pontos classificados e avaliados para calcular o Índice Kappa estão mostrados na Tabela 3. O valor do índice encontrado para este mapeamento (0,88 e 0,81 para os protocolos de Quioto e VCS, respectivamente) mostrou que o mapeamento aplicando este procedimento apresenta um grau de acurácia muito boa, permitindo a identificação de áreas elegíveis para implementação de projetos de carbono.

Tabela 3 – Pontos analisados para cálculo do Índice Kappa.

		Quioto			VCS		
		Observado			Observado		
		Elegível	Não Elegível	Total	Elegível	Não Elegível	Total
Esperado	Elegível	97	3	100	93	7	100
	Não Elegível	9	91	100	12	88	100
	Total	106	94	200	105	95	200

Uma vez que os processamentos de imagens estavam definidos e modelados, foi desenvolvido a ferramenta denominada CarbonoGeo, contendo estes procedimentos avaliados neste estudo. O aplicativo foi programado para ser executado em ambiente de ArcGIS 9.3, com o intuito de gerar análises efetivas para a identificação das áreas potenciais para implementação de projetos de carbono. Embora as funcionalidades desta ferramenta sejam relacionadas a técnicas de processamento de imagens, optou-se por desenvolver o aplicativo em ambiente de ArcGIS 9.3, pelo fato deste programa apresentar funcionalidades básicas de processamento de imagens e por possuir um conjunto de funções passíveis de adaptação e personalização de uma interface de interação com o usuário.

#### 4. Conclusão

Este método apresenta um grau de precisão elevado para as áreas elegíveis (Índice Kappa 0.88), possibilitando realizar um levantamento do potencial de áreas elegíveis para projetos de carbono com rapidez. A utilização da ferramenta CarbonoGeo pode ser bastante útil para um levantamento exploratório de uma região, já que com a integração dos procedimentos, o resultado pode ser obtido mais rapidamente.

#### Referências bibliográficas

- Crist, E.P.; Ciconne, R.C. Applications of the tasseled cap concept to simulated thematic mapper data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.50, p.343-352, 1984.
- Gleriani, J.M.; Antunes, M.A.H.; Epiphanyo, J.C.N. Coeficientes da transformação espectral Tasseled Cap para uma cena com predomínio de latossolo roxo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 101-107. CD-ROM. Disponível em: [http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.23.25.56/doc/01\\_353.pdf](http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.23.25.56/doc/01_353.pdf)
- Griss, P. Final Report of the Pollution Probe Forest Carbon Management Workshop Series. Pollution Probe, 2002. Disponível em: <http://www.pollutionprobe.org/whatwedo/FCM/finalreport.pdf>. Acesso em: 20.nov.2010.
- Huete, A.R.; Huemmrich, K.F.; Miura, T.; Xiao, X.; Didan, K.; Leeuwen, W.; Hall, F.; Tucker, C.J. Vegetation Index greenness global data set – White paper for NASA ESDR/CDR. Disponível em: [http://landportal.gsfc.nasa.gov/Documents/ESDR/VI\\_Huete\\_whitepaper.pdf](http://landportal.gsfc.nasa.gov/Documents/ESDR/VI_Huete_whitepaper.pdf). Acesso em 16.nov.2010.
- Jensen, J.R. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. Upper Saddle River – NJ, Pearson Prentice Hall, 2005. 526p.
- Kawakubo, F.S. Metodologia de classificação de imagens multiespectrais aplicada ao mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal na Amazônia: exemplo de caso na região de São Félix do Xingu, sul do Pará. 2010. 113 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. São Paulo. 2010.
- Kuntschik, G.; Gleriani, J.M. Coeficientes das componentes *greenness*, *brighthness* e *wetness* da transformação Tasseled Cap para chernossolos da província de Buenos Aires, Argentina. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 5995-6002. CD-ROM. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.13.45.58/doc/5847-5853.pdf>
- Lyon, G.L.; Yuan, D.; Lunetta, R.S.; Elvidge, C.D. A change detection experiment using vegetation indices. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 64, n. 2, p. 143-150, 1998.
- Oliveira, L.G.L; Pereira, L.M.; Pereira, G.; Moraes, E.C.; Maeda, E.E. Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens do ETM+/Landsat 7. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 5995-6002. CD-ROM. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2006/11.18.02.36/doc/5995-6002.pdf>
- Soares-Filho, B.S. Análise das mudanças de cobertura do solo no Norte do Mato Grosso, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3357-3364. CD-ROM. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.27.15.15/doc/3357.pdf>
- Voluntary Carbon Standard (VCS). Disponível em: [http://www.v-c-s.org/tool\\_VT0001.html](http://www.v-c-s.org/tool_VT0001.html). Acesso em: 20.nov.2010.