

## APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM NDVI E ACP PARA O MAPEAMENTO DE FLORESTA NATIVA DA APA DO BENFICA NO MUNICÍPIO DE ITAÚNA/MG: UMA ANÁLISE COMPARATIVA

Renata Nogueira Herculano<sup>1</sup>

### Resumo

O sensoriamento remoto tem se mostrado uma ferramenta cada vez mais valiosa no mapeamento e monitoramento de dados espaciais multidisciplinares. Dentre as suas importantes contribuições destacam-se a agilidade de processos e rotinas, a determinação mais assertiva de amostras para cotejamento de campo e, portanto, a diminuição de recursos e custos. O presente trabalho busca comparar a eficiência do mapeamento de vegetação nativa através de rotinas de escritório. Para tanto, foram aplicados os métodos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e de Análise por Componentes Principais (ACP), utilizando um fragmento de cena de imagem Landsat 8. Os resultados, quando comparados ao mapeamento modelo, através da estatística Kappa, foram excelentes, e apresentaram uma proximidade entre a identificação da vegetação a partir da aplicação do NDVI e da ACP. Ressalta-se ainda que tais resultados se devem ao fato da região classificada ser bem distinta naquela área analisada, resultando numa boa classificação para o tema selecionado.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, NDVI, ACP, classificação de imagens, vegetação nativa.

### Abstract

The remotesensing has been shown a tool increasingly valuable in mapping and monitoring of multidisciplinary spatial data. Among its important contributions as we highlight the processes and routines more agile, more assertive samples for validation field and therefore the decrease in resources and cost. This paper aims to compare the efficiency of the native vegetation mapping through office routines. For this purpose, the methods of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Principal Component Analysis (PCA) was applied, using a fragment of Landsat image scene 8. The results, when compared to the mapping model by Kappa statistics, were excellent and showed a closeness between the identification of vegetation from the application of NDVI and the PCA. It is noteworthy that these results are due to the fact of classified by every distinct region that analyzed area, resulting in a good rating for the selected theme.

**Keywords:** remotesensing, NDVI, PCA, classification on image, native vegetation.

---

<sup>1</sup>(UFMG) renataherculano@yahoo.com.br

## 1- INTRODUÇÃO

Com o refinamento das técnicas computacionais na área das geotecnologias, nos últimos anos obteve-se um grande avanço nas pesquisas científicas de diversas áreas do conhecimento. O sensoriamento remoto, neste contexto, tem se mostrado uma ferramenta cada vez mais valiosa no mapeamento e monitoramento de dados espaciais multidisciplinares. Com o desenvolvimento de novas metodologias de interpretação de imagens, rotinas que demandariam muito tempo e uma equipe muito grande, têm sido reestruturadas e têm apresentado resultados mais precisos e em menor tempo (DUARTE et al., 2004, p.5).

De acordo com Jensen (2011, p. XIII), o “sensoriamento remoto é a arte e a ciência de obter informações sobre um objeto sem estar em contato físico direto” com ele, podendo ser “usado para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas na Terra”. No entanto, para explorar os dados de sensoriamento remoto no seu potencial máximo, eles precisam ser interpretados corretamente. Isso requer um “entendimento de como a energia interage com a atmosfera e o terreno, como funciona o sistema de sensoriamento remoto, e como se extrai informação útil a partir dos dados dos sensores remotos” (JENSEN,2011, p. XIV).

Dentre as principais características ambientais analisadas a partir de dados de sensoriamento remoto destaca-se a extração de informações biofísicas da vegetação. Para o mapeamento e o monitoramento dos fenômenos da vegetação os cientistas tem empenhado esforços para desenvolver metodologias, índices e algoritmos que aumentem a eficiência das interpretações remotas.

Desta forma, para obter resultados confiáveis a partir de imagens de satélite, o emprego e a manipulação correta das técnicas de processamento digital de imagens são essenciais.

### 1.1 Objetivos

O presente trabalho busca comparar a eficiência do mapeamento de vegetação nativa através de rotinas de escritório. Para tanto, foram aplicados os métodos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), considerado um método especialista, e da Análise por Componentes Principais (ACP), considerado um método generalista. Foi utilizado um fragmento de cena de imagem Landsat 8 com bandas 5 e 6 (NearInfrared e Short-waveInfrared - SWIR 1) e as bandas 4 e 7 (Red e Short-waveInfrared - SWIR 2) para composição colorida, visando facilitar a interpretação dos resultados.

## 2- ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

O NDVI é um índice de vegetação que trata de medidas radiométricas dimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, fazendo uso da relação inversa entre as refletâncias no vermelho e no infravermelho próximo associada com a vegetação verde sadia (JENSEN, 2011, p. 387).

O índice normaliza a razão simples entre as refletâncias na imagem, resultando em um intervalo entre -1 e 1, que identifica a intensidade da vegetação em dado espaço. O produto resultante do NDVI é uma imagem em escala de cinza onde os “tons mais claros estão relacionados aos valores mais elevados (quanto mais próximo de 1 for o pixel, mais intensa é a vegetação naquele ponto) enquanto os mais escuros, os valores mais baixos (-1 seria a total ausência de vegetação)” (SILVA; PINTO, 2014, p.1679).

De acordo com Júnior (2014, p.4), atualmente o NDVI tem sido amplamente utilizado em áreas como estudos climáticos e culturas agrícolas e florestais. No entanto, por se tratar de um índice baseado em razão, é não linear e pode sofrer influências de ruídos aditivos (JENSEN, 2011, p.388) como, por exemplo, pelas áreas de sombra, gerando uma “falsa interpretação entre florestas primárias e secundárias se a rugosidade da vegetação na primeira causar muitas sombras e neste caso a saturação será maior na segunda” (FERREIRA JÚNIOR, 2014, p.5).

## 3- ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS - ACP

A ACP é a mais simples das verdadeiras análises multivariadas (opera sobre todas as variáveis analisadas de uma amostra) por auto vetores e é mais comumente usada como uma ferramenta de análise exploratória de dados e para fazer modelos preditivos. É considerada uma das funções mais eficazes de processamento de imagens em relação à manipulação de dados multitemporais (CRÓSTA, 1992 apud ROVANI, 2013, p. 8093) e é muito recomendada para a análise de fenômenos ou processos biológicos, geológicos e geográficos (GARCIA, 2015, p.3).

O principal objetivo da ACP é reduzir o número de variáveis que explicam a amostra, retirando os efeitos sobrepostos ou redundantes, neste caso àqueles existentes entre as bandas, e mantendo o poder explicativo. É um procedimento matemático que utiliza uma transformação ortogonal para converter um conjunto de observações de variáveis possivelmente correlacionadas (bandas) a um conjunto de valores de variáveis linearmente descorrelacionadas (novas bandas), chamadas componentes principais. Esta transformação é definida de forma que o primeiro

componente principal tem a maior variância possível (ou seja, é responsável pelo máximo de variabilidade nos dados), e cada componente seguinte, por sua vez, tem a máxima variância sob a restrição de ser ortogonal e não-correlacionado com os componentes anteriores. Portanto, este método elimina a repetição de dados existentes nas diversas bandas e resume as informações importantes, ou mais explicativas, em um conjunto menor, ou seja, em novas bandas.

#### 4- MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes dados:

- imagem com correção geométrica do satélite *Landsat 8* (bandas 4, 5, 6 e 7), sensor OLI, órbita 218, ponto 74, data da passagem 28/06/2015 obtida junto ao catálogo de imagens do U.S. Geological Survey (USGS);
- Camada máscara para corte da cena – limite APA do Benfica;
- Camada contendo o limite de Minas Gerais e de Itaúna; □ Mapa base para realizar a análise comparativa.

A plataforma *Landsat 8* entrou em operação em 2013 e opera com dois instrumentos imageadores: *Operational TerraImager* (OLI) e *ThermalInfrared Sensor* (TIRS). Produtos OLI consistem de nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (bandas de 1 a 7 e 9). O tamanho aproximado da cena *Landsat 8* é de 170 km ao norte-sul por 183 km a leste-oeste, com período de revisita de 16 dias (SANTOS, 2013).

A área de estudo, localizada no município de Itaúna, centro oeste do estado de Minas Gerais, compreende o perímetro da APA (Área de Proteção Ambiental) do Benfica, com área total de aproximadamente 73,7 km<sup>2</sup> (Figura 1). O local foi escolhido pelo fato da autora ter integrado a equipe que desenvolveu o zoneamento preliminar da APA e portanto ter o conhecimento prévio da área.

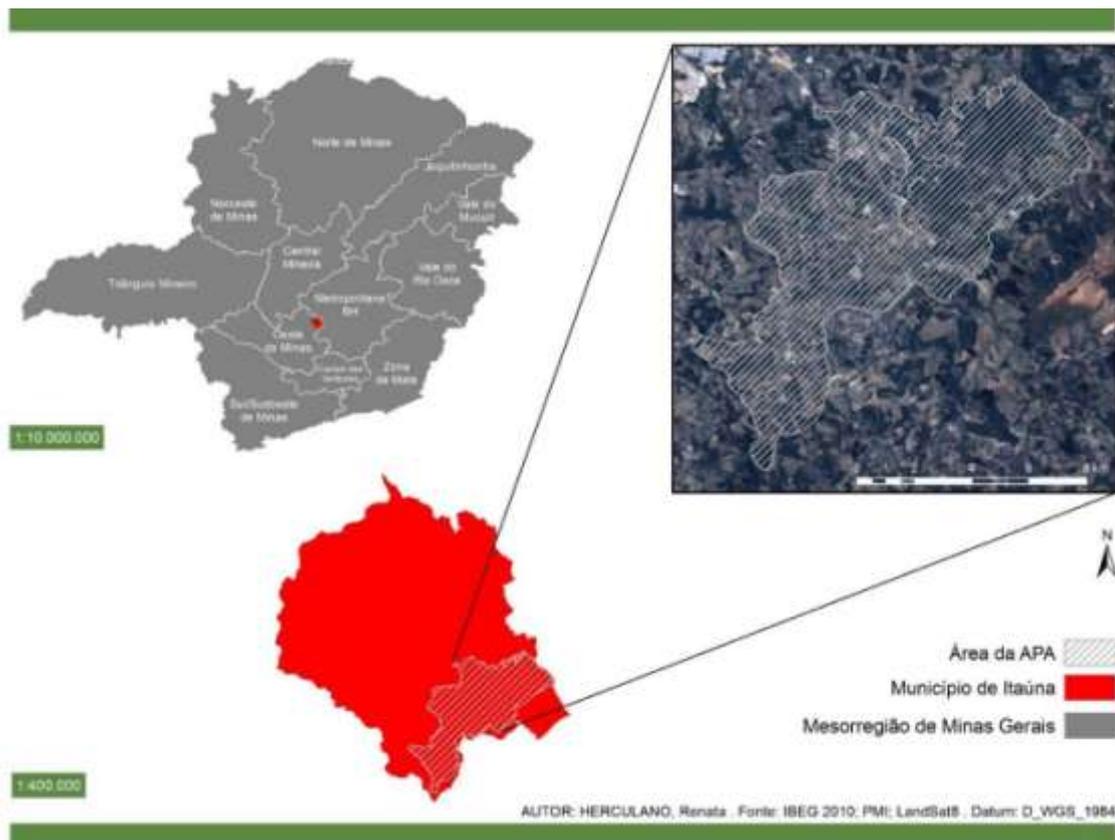


Figura 1. Localização da APA do Benfica no município de Itaúna-MG

Para o desenvolvimento desta pesquisa adotaram-se os seguintes passos (Figura 2).

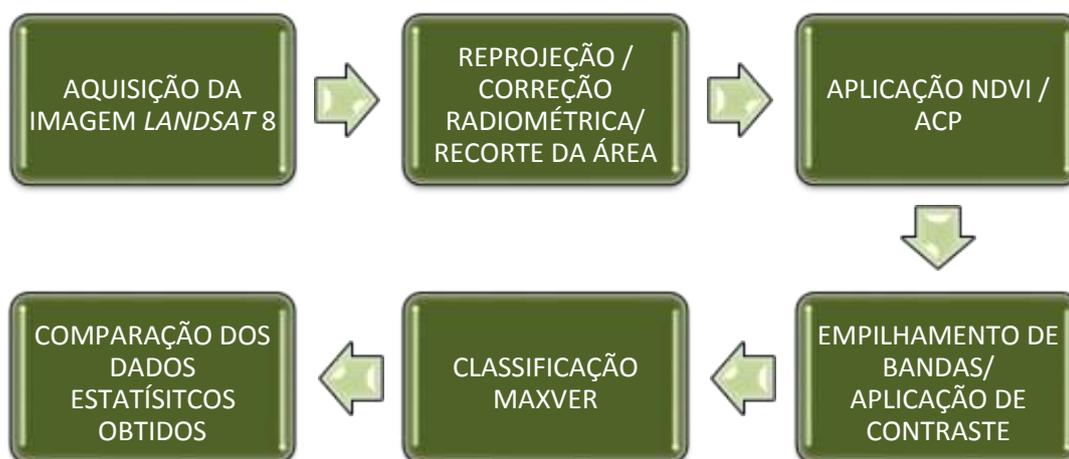


Figura 2. Processo adotado na pesquisa

Num primeiro momento foram aplicadas as técnicas de pré-processamento de imagens utilizando o Arcgis 10.1, que consistiu na reprojeção da imagem para o datum WGS 84 UTM zona 23S, na correção radiométrica para 8 bits e no recorte da área de estudo. Em seguida iniciou-se o processamento da imagem no software SPRING 5.2.7, onde procedeu-se com a geração do NDVI e da ACP, que ocorre de forma automática após a seleção das bandas de interesse (bandas 5 e 6). Em seguida realizou-se o empilhamento das bandas 4, 5, 6 e 7 e aplicação de contraste, fazendo com que a variação dos níveis de cinza da imagem ocupasse toda a faixa de valores possíveis de serem representados, visando assim facilitar a interpretação visual das imagens.

A classificação utilizada baseou-se no treinamento do tipo supervisionado, no qual foi informado o conjunto de classes e amostras para as regiões da imagem a serem mapeadas. Para fins deste mapeamento foram definidas três classes distintas: água, vegetação nativa, outros usos. Utilizou-se o classificador multiespectral "pixel a pixel", em que no mapeamento utilizam apenas a informação espectral de cada pixel para achar regiões homogêneas. Adquiriram-se para a maioria dos temas de 20 a 30 amostras em média. Para todas utilizou-se o classificador MAXVER com um limiar de aceitação de 99,9%, que segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2006) “é o método de classificação que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos”.

Com as amostras selecionadas verificou-se se as mesmas estavam de acordo por meio da análise das amostras. Neste processo, pode-se observar quais amostras de teste estavam sendo confundidas com outras classes e também o percentual de rejeição. Após o ajuste das amostras e a execução da classificação, realizou-se o mapeamento em que as classes foram associadas aos temas previamente definidos. A edição final dos mapas de vegetação nativa foi realizada no Arcgis 10.1.

No entanto, para viabilizar a comparação dos métodos estatísticos aplicados, foi feita uma classificação modelo pelo método supervisionado a partir da seleção de amostras, no intuito de retratar a realidade da vegetação nativa. O resultado desta classificação modelo consta na Figura 3 a seguir.

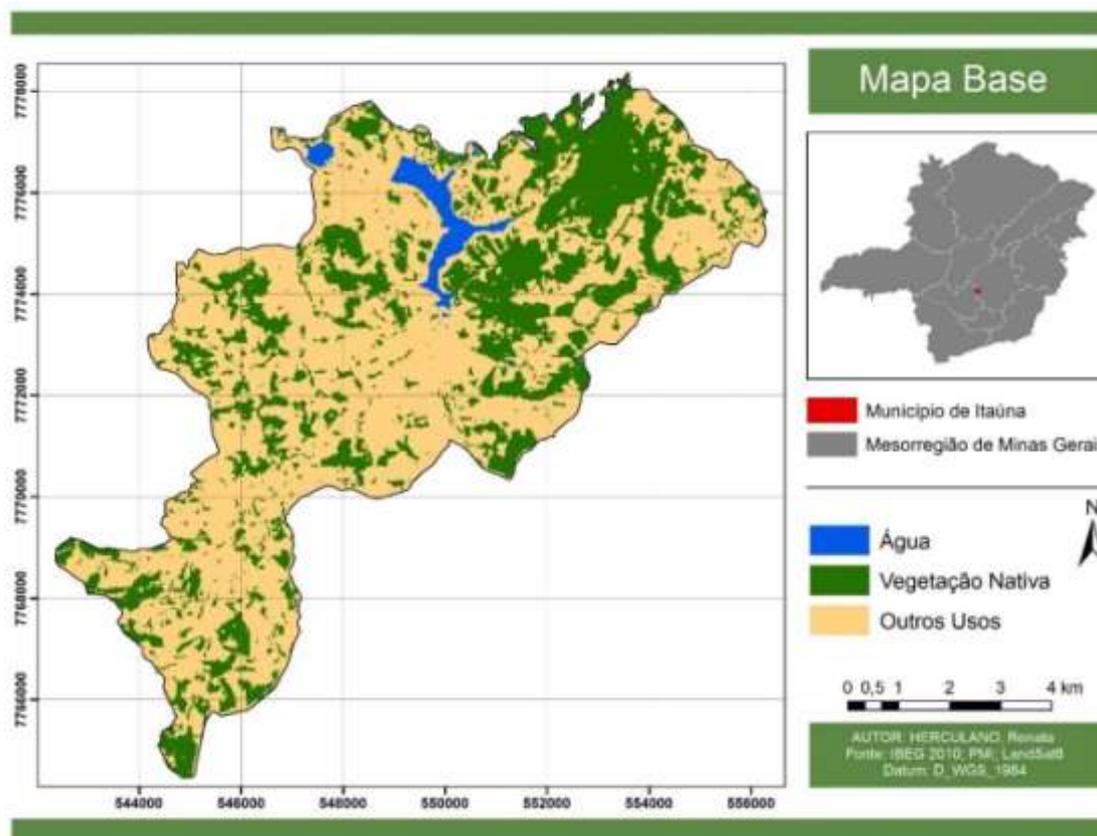


Figura 3. Mapa base – classificação modelo

## 5- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das imagens para a ACP e para o NDVI se apresentaram conforme a Figura 4.

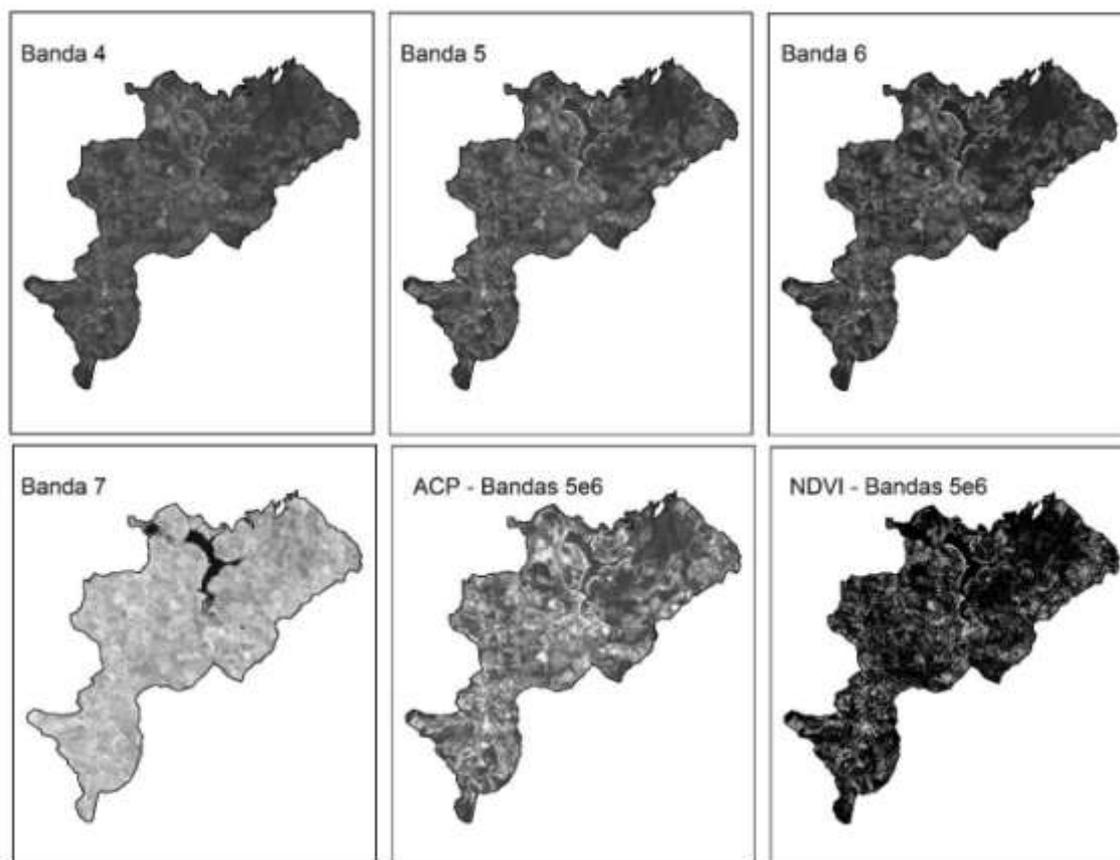


Figura 4. Resultados ACP e NDVI

Para a aplicação da técnica de diferença normalizada foi utilizado o software SPRING, por meio da ferramenta “Operações Aritméticas” do menu “Imagem”. Na classificação foram definidas três classes (água, vegetação nativa e outros usos) com o apoio do algoritmo MAXVER, conforme discutido na seção dos materiais e métodos. Em seguida, no processo de pós-classificação, foram agrupadas as classes que representam outros usos em apenas uma, denominada de “outros usos”, na cor amarela, e vegetação, na cor verde (Figura 5).

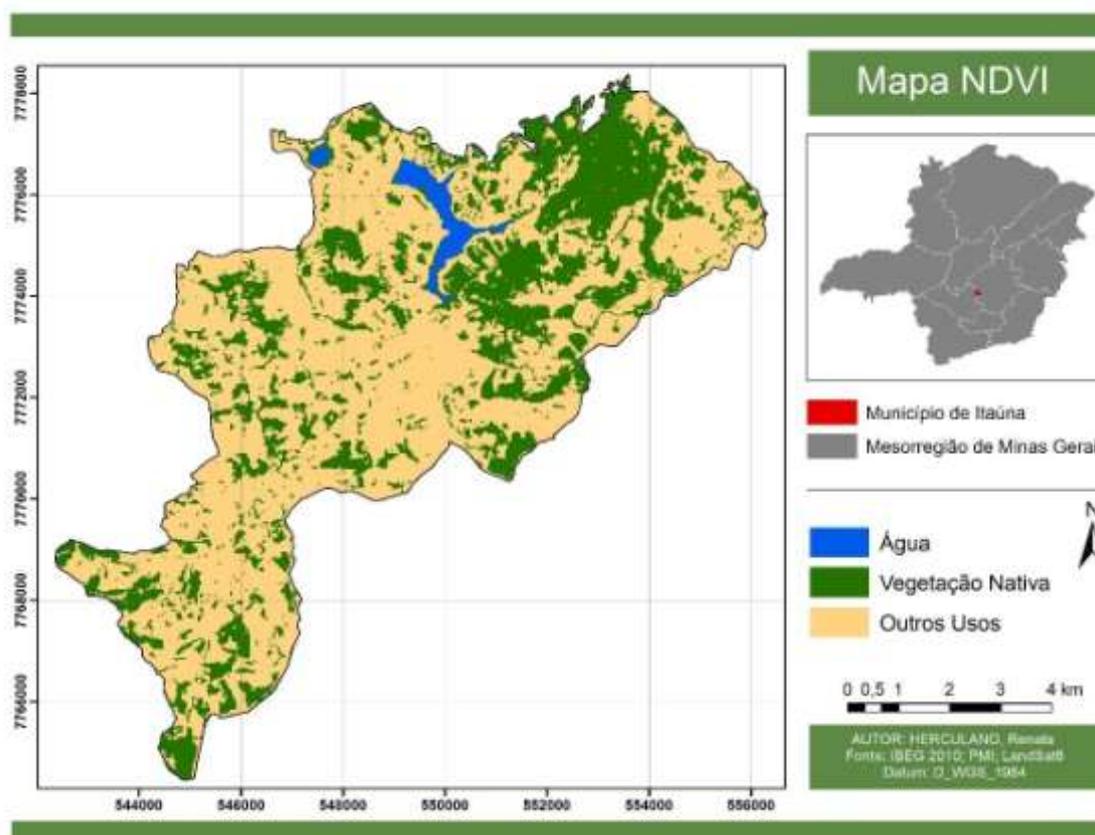


Figura 5. Classificação a partir da imagem NDVI

A Figura 5 demonstra a vegetação nativa identificada a partir da classificação da imagem NDVI. Visualmente percebe-se que ocorreram poucas diferenças se comparada ao mapa base (Figura 6). Pode-se notar que as áreas classificadas apresentam-se mais granuladas e algumas áreas não identificadas no mapa base como vegetação nativa foram classificadas no NDVI como tal, podendo-se inferir a existência de áreas de sombra nestes locais, conforme explicitado no embasamento teórico.

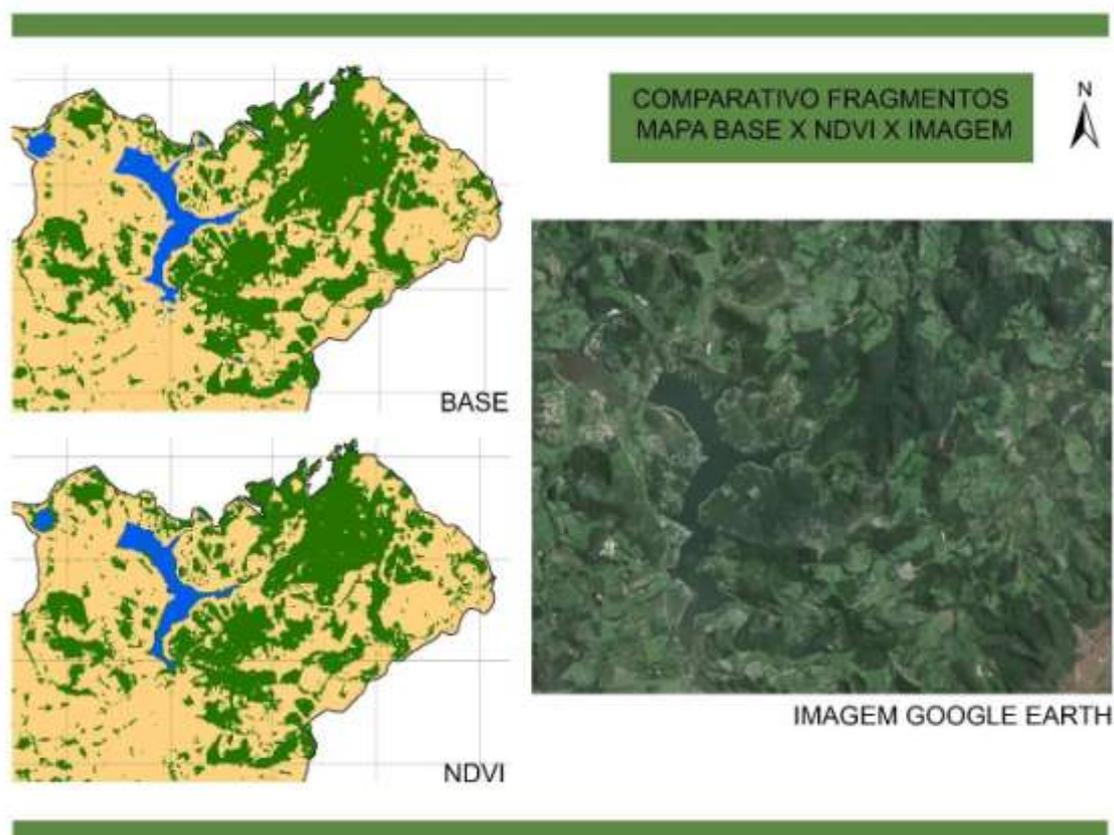


Figura 6. Comparativo de fragmentos do mapa base, NDVI e imagem do Google Earth

Segundo Congalton (1991) apud Suarez e Candeias (2012, p.004) uma das técnicas mais utilizadas na realização de avaliação de acurácia da classificação de dados de sensoriamento remoto é o emprego da matriz de erro, também conhecida como matriz de confusão.

A matriz de confusão pode ser usada como ponto de partida para uma série de técnicas estatísticas descritivas e analíticas. A matriz de confusão é uma matriz quadrada de números definidos em linhas e colunas que expressam o número de unidades da amostra (pixels, grupos de pixels ou polígonos) atribuído a uma categoria particular relativo à categoria atual, conforme foi verificado em campo. Geralmente, as colunas representam os dados de referência, enquanto as linhas representam a classificação gerada a partir dos dados de sensoriamento remoto. (SUAREZ; CANDEIAS, 2012, p.004)

A Tabela 1 apresenta os dados da matriz de confusão NDVI X Mapa Base. Verifica-se que 7 pixels de vegetação foram classificados em outros usos, representando 0,59%.

Tabela 1. Matriz de Confusão – NDVI X Mapa Base

	agua	vegetacao	naoveg	Abstenciao	Soma lin.
agua	190 15.95%	0 0.00%	1 0.08%	0 0.00%	191
vegetacao	0 0.00%	649 54.49%	7 0.59%	0 0.00%	656
naoveg	0 0.00%	0 0.00%	344 28.88%	0 0.00%	344
soma col.	190	649	352	0	1191

A Tabela 2 demonstra a acurácia do produtor (comissão) e do usuário (omissão). Em relação ao produtor, trata-se de uma medida de erro de omissão, uma vez que o produtor da classificação está interessado em quão exata uma determinada área pode ser classificada. Assim, indica-se a probabilidade de um pixel de referência ser corretamente classificado. Já em relação ao usuário, trata-se de uma medida de erro de comissão, indicando a probabilidade que um pixel classificado no mapa/imagem realmente representa essa categoria no campo (CONGALTON; GREEN, 2009, 171).

A acurácia global deste mapeamento foi de 99,33% de exatidão. Este valor é conseguido somando o número de pixels na diagonal da matriz de confusão pelo número total de pixels. Analisando a acurácia do produtor e do usuário (Tabela 2), percebe-se que a acurácia de comissão de vegetação foi de 100% e comissão de 98,93%, portanto, 100% das vezes uma área de vegetação nativa foi identificada como tal, e um usuário deste mesmo mapa vai 98,93% das vezes, que ele visitar a área onde o mapa diz que é vegetação nativa, ela realmente será (CONGALTON, 1991 apud SUAREZ; CANDEIAS, 2012, p.008). Em relação aos outros usos (não vegetação), embora a comissão seja de 97,73%, a omissão é de 100%.

Tabela 2. Acurácia do Produtor e do Usuário – NDVI X Mapa Base

	Exatidao do produtor	Exatidao do usuario
agua	100.00%	99.48%
vegetacao	100.00%	98.93%
naoveg	97.73%	100.00%

Para a aplicação da técnica por componentes principais também foi utilizado o software SPRING, através da ferramenta “Operações Aritméticas” do menu “Imagem”. O resultado apresentou duas componentes (CP1 e CP2), sendo que a primeira continha as informações

comuns a todas as bandas utilizadas, ou seja, é a componente que detinha o maior poder de explicação. Após a seleção da CP1, a classificação seguiu os mesmos passos da realizada para o NDVI e apresentou o seguinte resultado conforme a figura 7.

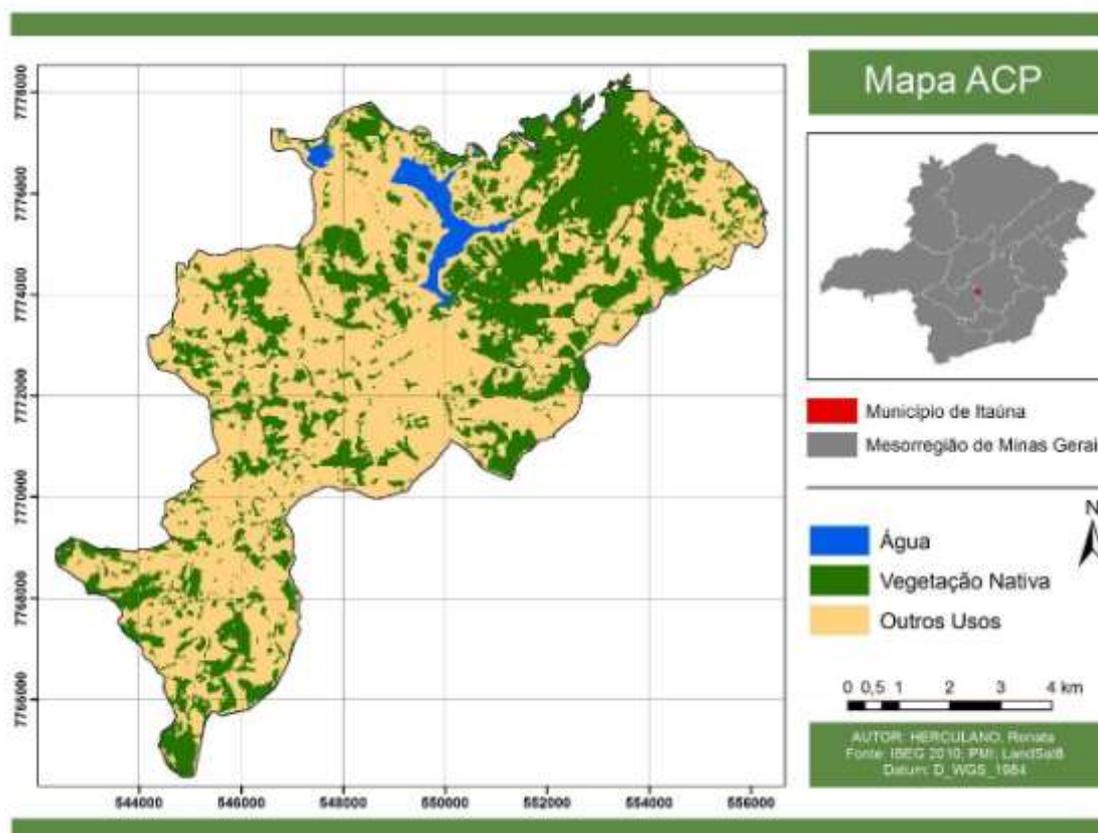


Figura 7. Classificação a partir da imagem CP1

A Figura 7 demonstra o resultado da vegetação identificada pela classificação da imagem por componentes principais considerando a PC1 em relação ao mapa base. Esta classificação apresentou similaridade em relação ao Mapa Base (Figura 8) e agrupamentos menos granulados em relação ao NDVI.

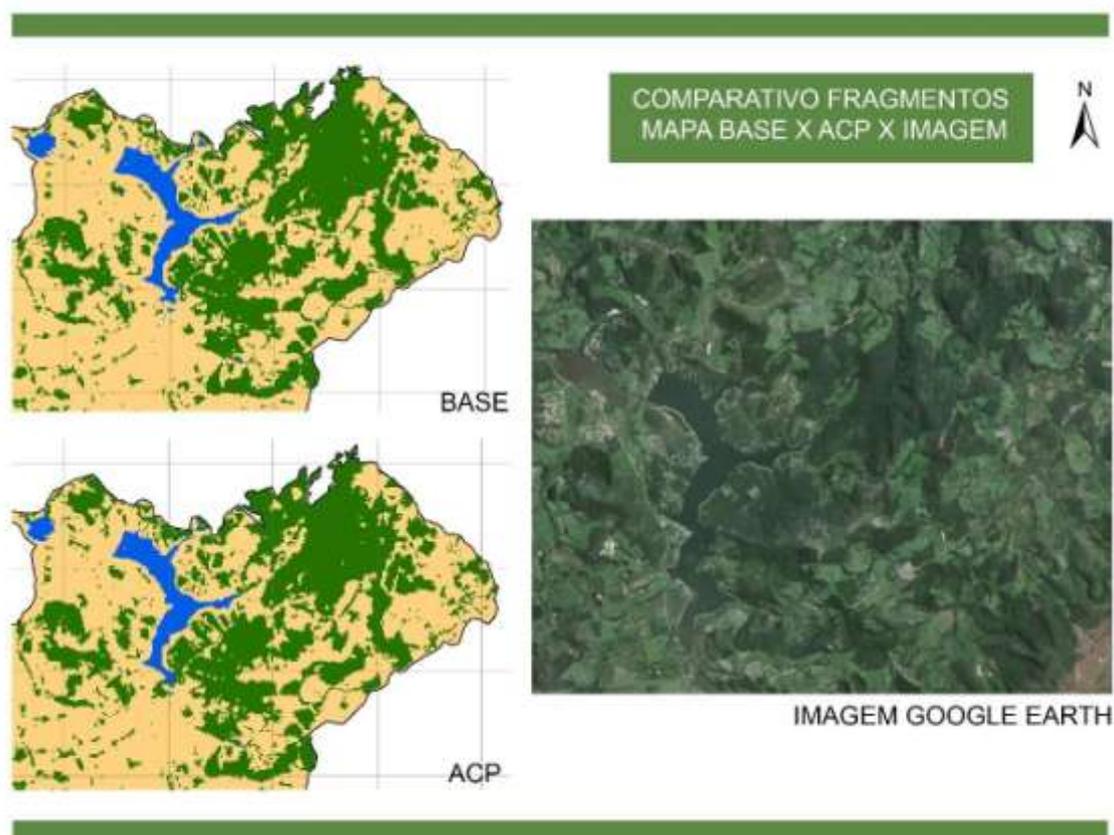


Figura 8. Comparativo de fragmentos do mapa base, CP1 e imagem do Google Earth

Visualmente é difícil afirmar qual a maior precisão entre a imagem PC1 e NDVI. A seguir estão as tabelas 3 e 4, referentes a matriz de confusão e acurácia da PC1 X Mapa Base.

Tabela 3. Matriz de Confusão – PC1 X Mapa Base

	agua	vegetacao	naoveg	Abstencao	Soma lin.
agua	190 15.95%	1 0.08%	0 0.00%	0 0.00%	191
vegetacao	0 0.00%	648 54.41%	8 0.67%	0 0.00%	656
naoveg	0 0.00%	0 0.00%	344 28.88%	0 0.00%	344
soma col.	190	649	352	0	1191

De acordo com a Tabela 4, a acurácia de comissão de vegetação foi de 99,85% e comissão de 98,78%, apresentando maiores erros em relação ao NDVI. Tratando-se dos outros usos (não vegetação) a acurácia de comissão foi igual aos valores apresentados no NDVI. A acurácia global deste mapeamento foi de 99,24%, apresentando apenas 0,09% de diferença para a acurácia global da classificação da imagem NDVI.

Tabela 4. Acurácia do Produtor e do Usuário – PC1 X Mapa Base

	Exatidão do produtor	Exatidão do usuário
agua	100.00%	99.48%
vegetacao	99.85%	98.78%
naoveg	97.73%	100.00%

Para realizar a comparação entre as técnicas e descrever se há ou não concordância entre os dois métodos de classificação, utilizou-se a estimativa Kappa, que trata-se de outro teste estatístico aplicado aos resultados da classificação. Este teste considera toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, que representam as discordâncias na classificação (SUAREZ; CANDEIAS, 2012, p.009). Esta medida de concordância assume valor máximo igual a 1, que representa total concordância ou ainda pode assumir valores próximos e até abaixo de 0, os quais indicam nenhuma concordância.

De acordo com a escala sugerida por Landis e Koch (1977) apud Congalton e Green (2009, p.108), as classificações das imagens geradas em sensoriamento remoto são identificadas em determinados intervalos de valores, conforme níveis de aceitação. A seguir na Tabela 5.

Tabela 5. Intervalo de aceitação dos resultados do índice de Kappa

Índice Kappa (K)	Característica
$K \leq 0,4$	Pobre
$0,4 < k \leq 0,8$	Razoável
$K \geq 0,8$	Excelente

O resultado do índice de Kappa para a classificação NDVI em relação ao mapa base foi de 0,9886 e de 0,9872 para PC1, ambos considerados excelentes conforme a escala.

Tendo como base todos os testes estatísticos aplicados para análise dos resultados é possível afirmar que a classificação através da imagem NDVI e PC1 são similares enquanto precisão e eficiência no mapeamento da vegetação nativa.

## 6- CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sensoriamento remoto de fato se apresenta como uma ferramenta valiosa no mapeamento e monitoramento de dados espaciais. A combinação de técnicas estatísticas

ampliama capacidade de interpretação dos dados de uma imagem, facilitando as rotinas de processamento remoto e contribuindo para a verificação da qualidade dos produtos gerados.

Tratando-se do mapeamento da vegetação nativa é essencial analisar com cautela os resultados de uma classificação, uma vez que ruídos externos podem comprometer a identificação das feições.

Neste trabalho observou-se que o método de classificação pelas imagens NDVI e PC1 apresentaram resultados similares para o mapeamento da vegetação no fragmento de cena utilizado. Todavia, esta conclusão foi baseada em testes estatísticos de comparação que também devem ser analisados para não se obter conclusões equivocadas.

Outro ponto a ser destacado é que o NDVI, sendo um método especialista e a principal técnica utilizada atualmente, confirmou-se como um método confiável para a detecção de vegetação. No entanto, embora ele tenha apresentado melhores resultados na detecção de áreas de vegetação nativa, a ACP, que é um método generalista, apresentou significativo potencial e demonstrou baixa variação estatística quando comparada com o NDVI. Sendo assim, considera-se que a ACP pode ser um método promissor na detecção de outras feições.

Por fim, destaca-se que os métodos aplicados são complementares no processo de mapeamento de vegetação nativa, não excluindo a necessidade de levantamentos de campo, sendo estes insubstituíveis. Contudo, dependendo da finalidade do mapeamento e, portanto, do limiar de precisão aceitável, estas rotinas mais rápidas e que envolvem menos recursos são ótimas alternativas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Catálogo de Imagens USGS, 2015. Disponível em: < <http://landsat.usgs.gov/>>. Acesso em: 04 de nov. 2015.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. New York: Lewis Publishers, 2009. 210 p.

DUARTE, V.; SHIMABUKURO, Y.E.; RUDORFF, B.F.T.; MOREIRA, M.A.; SBRUZZI, R.S. Mapeamento da vegetação do estado de São Paulo, por meio do uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento. São José dos Campos: INPE, 2004. 13 p. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/jeferson/2004/05.28.15.12?languagebutton=pt-BR>>. Acesso em: 02 nov. 2015

FERREIRA JÚNIOR, J.I. Análise comparativa dos métodos de classificação da vegetação NDVI e análise por componentes principais em uma imagem Rapideye. In: III Mostra de trabalhos

sobre métodos quantitativos aplicados à análise de sistemas ambientais, Belo Horizonte, 2014. 19 p.

GARCIA, R.A. Análise de componentes principais (ACP). 13 may. 2015. 10 p. Notas de Aula.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Traduzido por: José Carlos Neves Epiphanyo et. al. São José dos Campos: Parêntese, 2011. 598 p.

Manuais – Classificação de Imagens, 2006. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 04 de nov. 2015.

ROVANI, F.F.M.; DAMBROS, G.; CASSOL, R. Aplicação da análise por componentes principais para o mapeamento do uso e ocupação da terra no município de Barão de Cotegipe – RS. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, 13-18 Abril 2013. 8091-8097. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0198.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2015

SANTOS, J. Landsat-8: Novas Combinações de Bandas e Informações Técnicas, 2013. Disponível em:<<http://www.processamentodigital.com.br/2013/06/02/landsat-8-novascombinacoes-de-bandas/>>. Acesso em: 02 de nov. 2015.

SILVA, F.S.; PINTO, J.L.C. Comparativo estatístico multitemporal entre ACP e NDVI na detecção de supressão da vegetação em imagens landsat 5 tm. In: I Simpósio Mineiro de Geografia, 2014, Alfenas, 26-30 Maio 2014. 1676-1686. Disponível em: <<http://www.unifalmg.edu.br/simgeo/system/files/anexos/Fabr%C3%ADcio%20Sousa%20da%20Silva.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2015

SUAREZ, A. F.; CANDEIAS, A. L. B. Avaliação de acurácia de dados de sensoriamento remoto para o município de Maragogipe. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, Recife, 06-09 Maio 2012. 1-10. Disponível em: <[https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/SReFOTO/172\\_4.pdf](https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/SReFOTO/172_4.pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2015