

## Classificação digital de imagens de satélite de alta resolução espacial para o mapeamento de uso e cobertura da terra na área do complexo petroquímico do Rio de Janeiro

Bernadete da Conceição Carvalho Gomes Pedreira<sup>1</sup>

Elaine Cristina Cardoso Fidalgo<sup>1</sup>

Rachel Bardy Prado<sup>1</sup>

Rodrigo de Sá Araújo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA SOLOS  
Rua Jardim Botânico, 1024 - 22460-000 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
{bernadete, efidalgo, rachel}@cnps.embrapa.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro – IG /UFRJ  
Av. Brigadeiro Trompovisk, s.n. - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
rodrigoaraujo.ufrj@gmail.com

**Abstract.** The mapping of the land use and cover in the area of the Petrochemical Complex of Rio de Janeiro (COMPERJ) is needed for identification and monitoring of environmental changes that are expected with its implementation. Then, this work aimed to select the best options of automatic classification to perform this mapping. The methodology involved the following steps: organization of the digital cartographic database, selection of better Quickbird satellite image to cover study area, digital image processing in software ENVI 4.5 and ArcGIS 9.3.1 from ESRI, verification of spectral patterns of mapped classes in field and preparation of the final map in scale 1: 15,000. Nine land use and cover classes were obtained and the results showed that the methodology adopted, supervised classification image using automatic classifiers pixel by pixel, was efficient for the separation of the main targets of interest, avoiding large scan job. However, it was found that the classification pixel by pixel, applied in high-resolution images, creates many isolated pixels and jagged edges due to the level of detail of these images. One solution to this problem would be to use programs that make image classification by regions and object-oriented. However, the cost of these programs is high. The verification work was essential to terrestrial confirmation of the mapped classes, which are often confused in the visual image as well as by the classifier used.

**Palavras-chave:** imagem *Quickbird*, classificador pixel a pixel, *ENVI*, *Quickbird* image, pixel by pixel classifier, *ENVI*.

### 1. Introdução

O monitoramento do uso e cobertura da terra na área do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) se faz necessário para permitir o acompanhamento das alterações ambientais que se espera que ocorram com a implantação desse empreendimento e com a revegetação que ocorrerá no âmbito do projeto Corredor Ecológico Comperj, desenvolvido pela Embrapa. Dessa forma, o presente estudo foi realizado visando estabelecer o marco inicial do monitoramento dessas alterações e que será feito durante 7 anos, principalmente nos locais destinados à revegetação.

A realização do mapeamento de uso e cobertura da terra na área ocupada pelo COMPERJ irá possibilitar o seu monitoramento futuro, e assim, identificar prováveis alterações ambientais que ocorram no período entre 2007 e 2014, bem como subsidiar a orientação de ações progressivas de recomposição ambiental nessa área.

Como apontado por Rosa (2003), os sistemas de informação geográfica e o uso de geotecnologias aplicadas aos dados de sensoriamento remoto gerados por diferentes sensores são ferramentas de grande relevância para o levantamento, mapeamento e monitoramento e gestão dos recursos naturais existentes em uma determinada área de estudo, como por exemplo, no contexto de bacias hidrográficas. Também neste estudo essas ferramentas foram utilizadas, optando-se por realizar o mapeamento sobre imagens de alta resolução do satélite

*Quickbird*, dada a pequena extensão da área de estudo e a necessidade de detalhamento, esperando-se, assim, resultados de cálculos de área mais precisos em relação às classes de uso e cobertura.

Cabe ressaltar que estudos envolvendo tal tipo de imagem ainda são pouco expressivos na literatura contemporânea. Nesse sentido, este estudo traz a sua contribuição, mostrando os resultados obtidos pela aplicação de classificação supervisionada em associação com a aplicação de filtros e interpretação visual, para a área onde se insere o COMPERJ, utilizando imagens do satélite de alta resolução espacial *Quickbird*.

O refinamento do mapa foi obtido pela interpretação conjunta dos dados orbitais com fotografias aéreas ortorretificadas, manipulados em SIG e integrando os dados coletados em levantamentos de campo.

Conforme citado em IBGE (2006), a nomenclatura do uso e cobertura da terra precisa estar adequada para mapear a diversidade do território considerado e deve ser compatível com a escala, com o tamanho da menor área a ser mapeada, com a fonte básica de dados e com as necessidades dos virtuais usuários. Outro aspecto importante é considerar a nomenclatura proposta e a terminologia corrente adotada em diferentes pesquisas nacionais e internacionais, visando a sua compatibilização com os produtos disponíveis. Desta forma, para compor a legenda do mapa produzido foi utilizada como referência uma nomenclatura e categorização de classes já adotadas para mapeamentos na região (FUNDAÇÃO CIDE, 2003; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2002; BRASIL, 1983), conforme Pedreira et al. (2007) e Pedreira et al. (2009). Entretanto, foram acrescentadas novas classes que puderam ser mapeadas em função do maior nível de detalhe possibilitado pela imagem de alta resolução espacial *Quickbird*, e também pela possibilidade de verificação das categorias de uso e cobertura em fotos aéreas e na própria área de estudo, por meio dos trabalhos de campo. Pois, ainda segundo IBGE (2006) para mapeamentos em escalas maiores, podem ser incluídas novas classes com maior nível de detalhes, porém, ressaltando-se que, quanto maior o nível de detalhamento pretendido, maior a exigência de informação suplementar.

## 2. Material e Métodos

Este estudo foi desenvolvido numa área de 45.000 km<sup>2</sup>, onde está sendo implantado o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro, situado no município de Itaboraí, na porção leste da Baía de Guanabara, no Estado do Rio de Janeiro, na porção limítrofe das bacias hidrográficas dos rios Guapi-Macacu e Caceribu, conforme ilustra a Figura 1.



Figura 1. Localização da área de estudo no contexto do Estado do Rio de Janeiro.  
 Fonte: FIRJAN, 2008 – Elaboração FGV

O mapeamento do uso e cobertura da terra na área do COMPERJ envolveu as seguintes etapas:

1. Organização da base cartográfica em formato digital e de todo o material de apoio em uma base de dados georreferenciados utilizando o *software ArcGIS 9.3.1* da ESRI.

Para dirimir eventuais dúvidas quanto à interpretação da imagem utilizada, optou-se por consultar também fotografias aéreas ortorretificadas da área de estudo em escala aproximada de 1: 10.000, cedidas pela Petrobras.

2. Seleção da imagem de alta resolução a ser utilizada.

3. Processamento digital da imagem *Quickbird* selecionada, aplicado nas suas bandas espectrais do azul, verde, vermelho e infra-vermelho, utilizando o *software ENVI 3.5*, envolvendo os seguintes itens:

a) Georreferenciamento da imagem com base nas coordenadas geográficas de feições pontuais do mosaico de fotografias aéreas (ortofotos) da área e considerando os limites aceitáveis do erro médio quadrático para a escala do mapeamento a ser realizado (Congalton e Green, 1999).

b) Após obtenção de pontos distribuídos por toda a área, a transformação da imagem foi realizada selecionando as opções: polinômio de primeiro grau e interpolação “*Maximum Likelihood*”. A projeção utilizada foi a *Universal Transversa de Mercator (UTM)*, datum South America 1969 (*SAD69*), fuso 23 Sul.

c) Aplicação de filtros de textura de medidas de ocorrência nas quatro bandas multiespectrais da imagem *Quickbird*. Esses filtros analisam a textura com base no número de ocorrências de cada nível de cinza observado na janela de processamento, visando identificar áreas com mesmo padrão textural.

d) Classificação pixel a pixel da imagem considerando cada alvo separadamente para, posteriormente, reunir, os resultados obtidos para cada classe no mapa final. Este procedimento foi adotado, pois, não foi possível a aplicação de um único classificador que obtivesse bom desempenho para todas as classes pretendidas.

Os métodos de obtenção de cada classe de legenda e a obtenção da classificação final são apresentados, a seguir:

*Vegetação em estágio inicial e médio de regeneração:* para estas classes foi utilizado o classificador *Spectral Angle Mapper (SAM)* nas bandas multiespectrais juntamente com as quatro imagens resultantes da aplicação dos filtros de textura. Além da seleção de amostras de vegetação em estágios inicial e médio de regeneração, para melhor discriminar a vegetação, foram selecionadas também amostras de pasto sujo, as quais foram incluídas no processo de classificação. Para a aplicação do *SAM* selecionou-se, para essas três classes, o ângulo máximo igual a 0,05 radianos. A imagem classificada foi reclassificada reunindo as duas classes de vegetação, e eliminaram-se as áreas de pasto sujo, as quais foram delimitadas apenas para não confundir com as áreas de vegetação. Sobre a imagem reclassificada aplicou-se um processamento de pós-classificação para o agrupamento de pixels isolados (*Clump classes*), adjacentes às áreas classificadas. O processamento foi realizado em uma janela de tamanho 3 x 3 pixels. Em seguida foi feita a edição para correção dos limites da vegetação com base em interpretação visual sobre composição colorida das bandas multiespectrais. Neste caso, a composição utilizada foi das bandas do infravermelho, verde e azul em *RGB*. A identificação dos dois estágios de sucessão da vegetação foi realizada através da interpretação visual. Sobre a imagem reclassificada aplicou-se um processamento de pós-classificação para o agrupamento de pixels isolados (*Clump classes*), adjacentes a áreas classificadas. O processamento foi realizado em uma janela de tamanho 3 x 3 pixels. Em seguida foi feita a edição para correção dos limites da vegetação com base em interpretação visual sobre composição colorida das bandas multiespectrais. Neste caso, a composição utilizada foi das

bandas do infravermelho, verde e azul em *RGB*. A identificação dos dois estágios de sucessão da vegetação foi realizada através da interpretação visual.

*Área agrícola:* Para essa classe optou-se pela interpretação visual sobre composição colorida das bandas multiespectrais e delimitação manual utilizando o *ArcGIS* 9.3.1, gerando-se um *shapefile* para esta classe. Neste caso, a composição utilizada foi das bandas do infravermelho, verde e azul em *RGB*. Também utilizou-se o mosaico de fotografias aéreas mais antigas, para certificação de que as áreas agrícolas visualizadas, de forma discreta na imagem *Quickbird*, pertenciam mesmo à classe área agrícola.

*Quintal:* Esta classe refere-se a locais onde ainda persistem alguns resquícios de residências e demais construções correspondentes às sedes de chácaras, sítios e fazendas desapropriadas, com a presença de árvores frutíferas e/ou arbustos esparsos, áreas de cercas vivas ou similares. Os limites dos quintais foram traçados com base em interpretação visual sobre composição colorida das bandas multiespectrais (infravermelho, verde e azul em *RGB*). Também utilizou-se o mosaico de fotografias aéreas para reconhecimento dos padrões de quintais.

*Pastagem:* Para esta classe foi aplicado o classificador *Spectral Angle Mapper (SAM)* com ângulo de 0,15 radianos, nas quatro bandas multiespectrais juntamente com as quatro imagens resultantes da aplicação de filtros de textura. Por ser uma classe que apresentou diferenciados padrões de resposta espectral na imagem *Quickbird*, esse procedimento exigiu a coleta de variadas amostras digitais.

*Pasto sujo:* Para o mapeamento do pasto sujo foi realizado primeiramente, uma sobreposição em ordem de prioridade de outras classes de uso já mapeadas, utilizando o software *ArcGIS* 9.3.1. Nos interstícios entre as mesmas restaram áreas não mapeadas, em sua maioria constituídas por pastagem, solo exposto e pasto sujo, sendo este último, a partir daí, delimitado por interpretação visual utilizando o *ENVI* 4.5.

*Solo exposto:* Para esta classe foram realizados diversos testes de classificação supervisionada sem a obtenção de um resultado satisfatório. Por essa razão, a sua delimitação foi realizada com base em interpretação visual sobre composição colorida das bandas do infravermelho, verde e azul em *RGB*.

*Corpo hídrico:* Para esta classe foi realizada a classificação supervisionada após aplicação de filtro de textura às bandas da imagem *Quickbird*, aplicando o classificador “*Maximum Likelihood*” (*MAXVER*).

*Sombra:* Para mapear as áreas de sombra também foi utilizado o classificador “*Maximum Likelihood*” (*MAXVER*). Após concluída a etapa de classificação para todas as classes de legenda, os arquivos obtidos em formato vetor “*evf*”, foram transformados em *shapefile* e exportados para o *ArcGIS* 9.3.1, seguindo uma ordem de prioridade.

5. Levantamento em campo para verificação de padrões espectrais das classes mapeadas. Os trabalhos de campo foram realizados visando conhecer a realidade local, reconhecer os padrões espectrais das diferentes classes de uso e cobertura da terra na área de estudo, sanar dúvidas para a interpretação visual das imagens e gerar informações atualizadas. Para tanto, coletaram-se pontos amostrais, de referência, para todas as classes mapeadas.

6. Elaboração do mapa final em escala de 1: 15.000. Após a finalização da edição das classes separadamente, as mesmas foram unidas no *ArcGIS* 9.3.1, de acordo com a seguinte prioridade: corpo hídrico, área agrícola, quintal, vegetação em estágio inicial e médio de regeneração, solo exposto, pasto sujo e sombra. Em seguida, foi necessário fazer a edição de pequenos polígonos restantes. Para compor o mapa de uso e cobertura da terra do COMPERJ, foram desconsideradas áreas isoladas com dimensões menores que 256 m<sup>2</sup>. Finalmente, foi realizado o cálculo de áreas para as diferentes classes obtidas também no *ArcGIS* 9.3.1.

### 3. Resultados e Discussão

O georreferenciamento da imagem de alta resolução *Quickbird* utilizada foi realizado, obtendo-se um erro quadrático máximo de 0,724154 pixels.

A imagem selecionada abrange a área do COMPERJ e corresponde à data de 30 de junho de 2009, com ângulo de visada *off nadir*: 28° e *target azimuth*: 249°, sem cobertura de nuvens, nível de correção LV2A, formato GeoTIFF, Projeção UTM, fuso 23 Sul, datum SAD 69, distâncias em metros. Para o mapeamento do uso e cobertura da terra foram utilizadas as bandas espectrais azul, verde, vermelho e infravermelho com resolução espacial: 2,40m.

A imagem *Quickbird* recortada seguindo os limites do Complexo Petroquímico é apresentada na Figura 2.

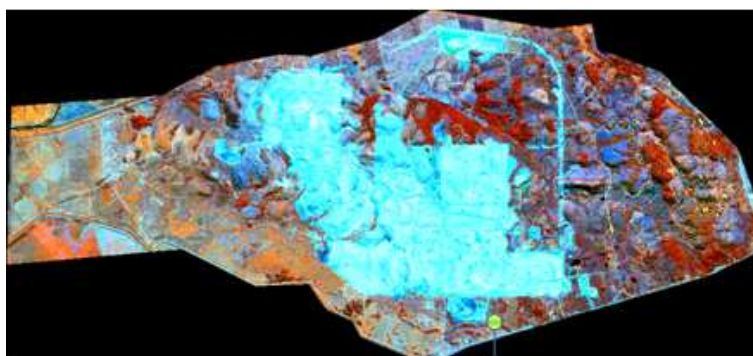


Figura 2. Recorte da área de estudo sobre a imagem *Quickbird* (2009) em composição  $R(NIR) G(G) B(B)$  com aplicação de contraste.

Este estudo mostrou que o filtro de textura de média, em janela de 3 por 3 *pixels* foi o que apresentou melhores resultados para a identificação dos padrões texturais observado na imagem de alta resolução, possibilitando a redução da ocorrência de pixels classificados isoladamente. A seguir, são apresentados os resultados dos testes de classificação supervisionada para cada categoria de legenda:

*Vegetação em estágio inicial e médio de regeneração*: Para a classificação da vegetação, verificou-se a dificuldade em separar, por processamento automático, os dois estágios de sucessão. Desta forma, decidiu-se classificar preliminarmente a vegetação sem discriminar seu estágio de regeneração. Em vários testes de classificação realizados, observou-se um elevado nível de confusão entre as classes de vegetação e a classe pasto sujo. Verificou-se que o classificador *Spectral Angle Mapper* (SAM) nas bandas multiespectrais juntamente com as quatro imagens resultantes da aplicação dos filtros de *textura*, embora tenha se mostrado mais eficiente que os demais, não distinguiu os dois estágios de regeneração da vegetação (inicial e médio).

*Área agrícola*: Apesar das áreas agrícolas serem visualizadas na imagem *Quickbird*, devido ao seu padrão contínuo e em talhões, o resultado da classificação pixel a pixel pelo ENVI não permitiu a identificação de áreas agrícolas devido ao fato das mesmas estarem abandonadas e com padrão não uniforme. Desta forma, não foi possível a aplicação de classificação automática.

*Quintal*: Para esta classe não foi possível a utilização da classificação automática pela dificuldade de selecionar amostras espectrais bem definidas na imagem.

*Pastagem*: Para mapear esta classe a melhor opção foi o classificador *Spectral Angle Mapper* (SAM) com ângulo de 0,15 radianos.

*Pasto sujo*: Para esta classe não foi utilizado nenhum classificador, pois, optou-se por mapeá-la por último, em ordem de prioridade na composição final do mapa de uso e cobertura. Desta forma, o seu mapeamento foi realizado por meio de interpretação visual.

*Solo exposto:* Para esta classe foram realizados diversos testes de classificação supervisionada sem a obtenção de um resultado totalmente satisfatório. Isso foi devido à diversidade de padrões espectrais da classe solo exposto e à confusão ocorrida entre essa classe e a pastagem. Entretanto, entre os classificadores testados o que apresentou melhor resultado foi o *Spectral Angle Mapper*.

*Corpo hídrico:* As classes corpo hídrico e sombra possuem respostas espectrais muito próximas e o classificador “*Maximum Likelihood*” (*MAXVER*) foi o que melhor separou estas classes. Entretanto, ainda assim, foi necessário fazer edição do mapeamento no ArcGIS 9.3.1, pois ocorreu um pouco de confusão entre as classes corpo hídrico e sombra, bem como algumas bordas de lagos não ficaram bem definidas pela classificação, pois como os mesmos encontram-se abandonados, sofreram processo de assoreamento e eutrofização, fatores que alteram a resposta espectral, gerando confusão.

*Sombra:* Para mapear as áreas de sombra o classificador “*Maximum Likelihood*” (*MAXVER*) também foi o que se mostrou mais eficiente. Destaca-se, entretanto, que essa classificação, apesar de separar bem as classes corpo hídrico e sombra, subestimou as áreas de sombra, pois em muitos casos as bordas da sombra foram incorporadas às classes vizinhas. Este fato não prejudicou o mapeamento final, pois o percentual de recobrimento da área por sombra era pequeno, mas implicou em um trabalho maior de edição. A Figura 3 mostra exemplos de resultados obtidos com testes de classificação para os alvos sombra e água na área amostral utilizando o classificador “*Maximum Likelihood*” (*MAXVER*) com filtro de média e, também o resultado da classificação de pastagem para toda a área de estudo utilizando o classificador *Spectral Angle Mapper* (*SAM*).

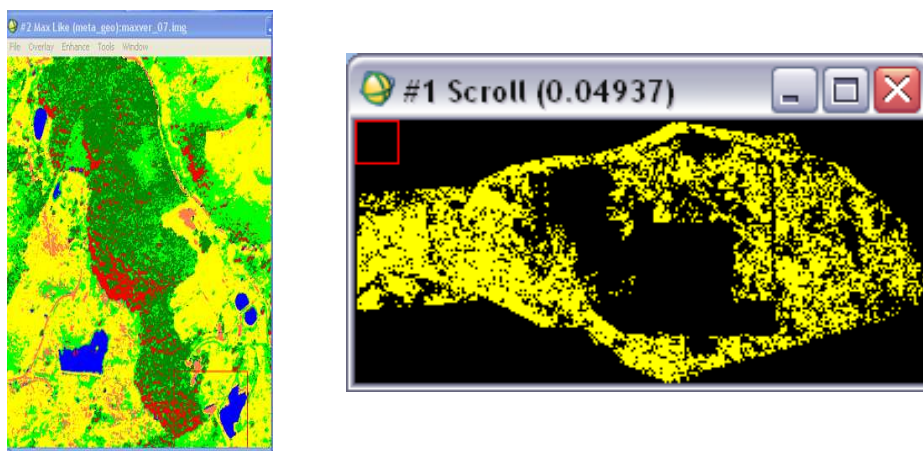


Figura 3. À esquerda, resultado de classificação para água e sombra (*MAXVER*), à direita, classificação de pastagem (*SAM*).

Os levantamentos de campo foram realizados nos dias 06 e 07 de maio de 2010. No total foram visitados 43 pontos distribuídos de forma a representar as diferentes classes de uso e cobertura da terra da área de estudo. Esses pontos serviram de referência para aferir padrões espectrais de alvos nas imagens, tirar dúvidas de interpretação e conhecer a realidade local. Todos esses locais foram georreferenciados com o auxílio de *GPS* (*Global Position System*) e fotografados. Algumas áreas não foram visitadas devido às dificuldades de acesso, porém, algumas delas foram observadas de ângulos mais distantes. O mapeamento de uso e cobertura resultante é apresentado na Figura 4.

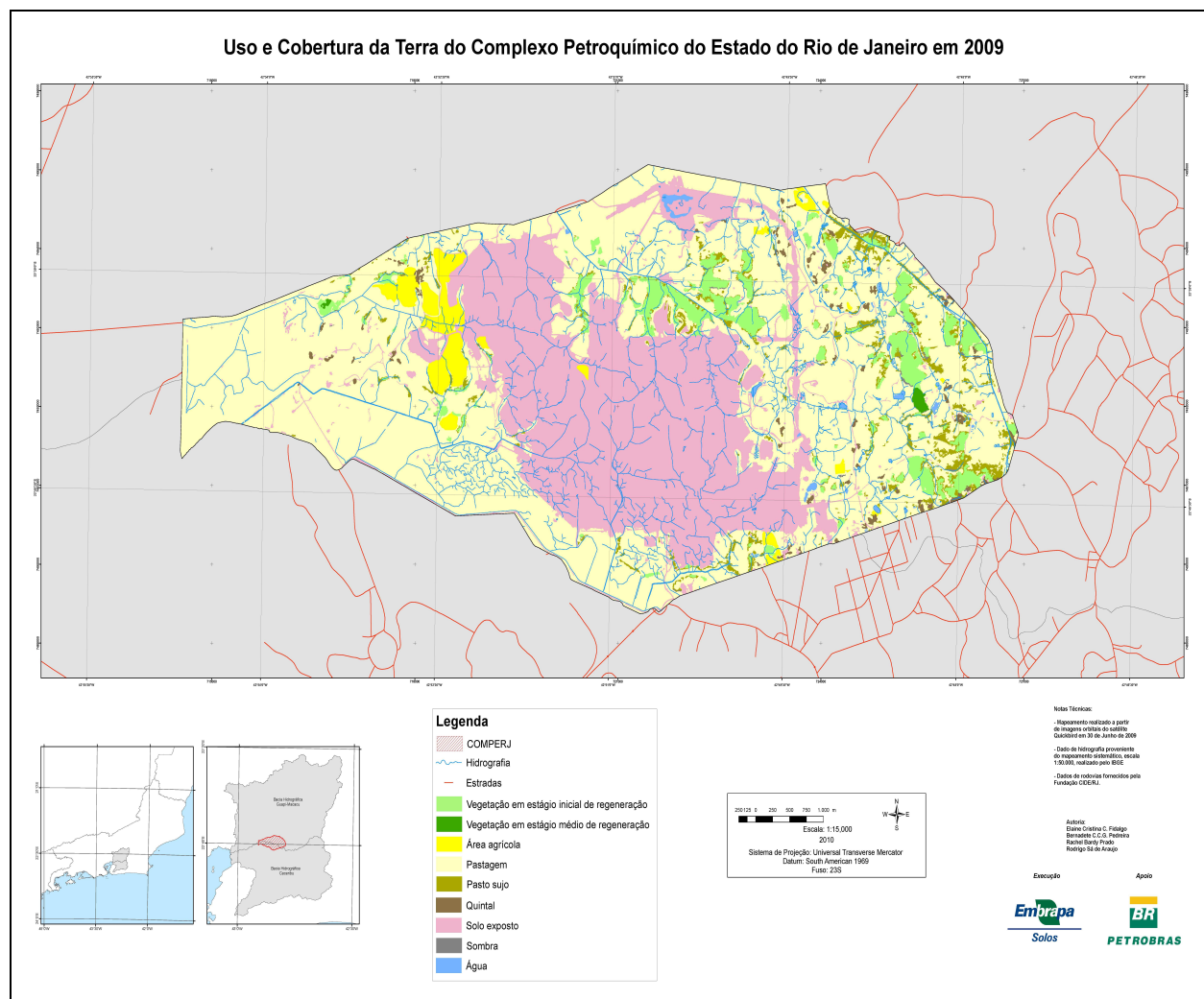


Figura 4. Mapa de uso e cobertura da terra (2009) do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro, elaborado originalmente em escala aproximada de 1:15000.

Com relação ao percentual de área ocupada pelas classes de uso e cobertura mapeadas observou-se o predomínio de pastagens (58,90%) e, também, de solo exposto (29,91%), em função das obras de terraplanagem iniciadas no empreendimento. As demais classes de uso se mostraram pouco expressivas em relação à área total: área agrícola (2,51%), fragmentos florestais (4,68%), pasto sujo (2,67%) e outras somadas (1,33%).

#### 4. Conclusões

A metodologia empregada, classificação supervisionada de imagem de alta resolução utilizando classificadores automáticos *pixel a pixel*, no programa ENVI 4.5, foi eficiente para a separação dos principais alvos de interesse, evitando-se grande trabalho de digitalização, uma vez que as classes são distribuídas ao longo da área mapeada, muitas vezes em pequenos e numerosos polígonos. Por outro lado, a classificação *pixel a pixel*, aplicada em imagens de alta resolução, gera muitos *pixels* isolados e bordas rugosas devido ao nível de detalhamento destas imagens, fatores que são indesejáveis em um mapeamento desta natureza.

O trabalho de verificação terrestre foi fundamental para a confirmação das classes mapeadas, que muitas vezes são confundidas visualmente na imagem, assim como pelo classificador utilizado.

## **Agradecimentos**

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) por possibilitar a aquisição em 2008, de uma licença do *software ENVI* versão 4.5, utilizada neste estudo e à Petrobras por fornecer a base cartográfica e fotos aéreas da área de estudo.

## **Referências Bibliográficas**

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais:** folhas SF.23/24. Rio de Janeiro/Vitória: geologia: geomorfologia: pedologia: vegetação: uso potencial da terra. Rio de Janeiro, DNPM, 1983. v. 32. Inclui 6 mapas.

Congalton, R. G.; Green, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles e practices.** New York: Lewis publishers, 1999. 133p.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO/ FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **“COMPERJ – Potencial de Desenvolvimento Produtivo”.** Estudos para o desenvolvimento do Estado do Rio de Janeiro. nº.1 – maio, 2008.

FUNDAÇÃO CIDE. **Mapa de uso e cobertura do solo:** Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003. Escala 1:50.000.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra.** Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 95 p. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 7, 2ª ed.).

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica:** período 1995-2000. São Paulo, 2002. 47 p. Edição conjunta com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Pedreira, B. C. C. G.; Fidalgo, E. C. C.; Abreu, M. B. **Proposta de legenda para o mapeamento do Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Macacu.** Dados eletrônicos. Série Documentos n. 91. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007.

Pedreira, B. C. C. G.; Fidalgo, E. C. C.; Prado, R.B.; Fadul, M. J.; Bastos, E.C.; Silva, S.A.; Zainer, N.G.; Peluzo, J. **Dinâmica de uso e cobertura da terra nas bacias hidrográficas do Guapi-Macacu e Caceribu - RJ.** Boletim de Pesquisa. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 66p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 136).

Rosa, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto.** 5ª ed., Uberlândia. Ed. Universidade Federal de Uberlândia, 2003.