



Revista Portuguesa de Estudos  
Regionais

E-ISSN: 1645-586X

rper.geral@gmail.com

Associação Portuguesa para o  
Desenvolvimento Regional  
Portugal

Cabral, Ana Isabel

Cartografia de coberto do solo para o território angolano utilizando imagens de satélite  
modis

Revista Portuguesa de Estudos Regionais, núm. 15, 2007, pp. 65-78

Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Regional

Angra do Heroísmo, Portugal

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=514351903004>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

---

# CARTOGRAFIA DE COBERTO DO SOLO PARA O TERRITÓRIO ANGOLANO UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITE MODIS

---

Ana Isabel Cabral - Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT) - E-mail: anaicabral70@gmail.com

## RESUMO:

Este trabalho tem como objectivo obter um mapa de coberto do solo para Angola, utilizando imagens diárias, de quatro meses de 2003, provenientes do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). Como aquelas imagens estão sujeitas a contaminação atmosférica e à existência de nuvens no momento de registo, é necessário recorrer a um critério de composição multitemporal para tentar eliminar estes efeitos. A aplicação deste critério gera imagens síntese mensais que são usadas num algoritmo de classificação em árvore. Para construir o classificador, e validar o resultado obtido, recolheram-se amostras dos vários tipos de coberto do solo nos mapas de coberto do solo existentes a diferentes escalas, na bibliografia sobre vegetação em Angola e em imagens de satélite *Landsat*. A avaliação dos resultados foi baseada no método de validação cruzada, que utiliza o mesmo conjunto de dados na validação e na classificação, e no método que recorre a um conjunto de dados independentes ao classificador.

Como resultado obtém-se um mapa actualizado e uniforme para 2003, por um método expedito que permitirá ser usado para fazer a cartografia de diferentes anos de modo a detectar as alterações ocorridas ao longo do tempo.

## ABSTRACT:

The objective of this work is to obtain a land cover map of Angola, using daily images of four months of 2003, from the *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) sensor.

Since those images are subject to atmospheric contamination and to the existence of clouds, it is necessary to apply a multitemporal composite criterion to remove these effects. The application of this criterion produces monthly composite images that are used in a classification algorithm tree. The selection of image data for training the classifier and for accuracy assessment was supported by maps at different scales, vegetation books, expert knowledge, and *Landsat Thematic Mapper* imagery.

The classification accuracy was based on cross-validation method, which uses the same dataset in the validation and in the classification and in a method based on an independent dataset. The result is an up-to-date and uniform map for 2003, with a method which allow to be used to produce maps of different years in order to detect land cover changes.





## 1. INTRODUÇÃO

A constante alteração da superfície terrestre pelo homem tem vindo a exigir informação cada vez mais detalhada e contínua, para uma boa gestão da sustentabilidade dos ecossistemas. Angola, como o restante continente Africano, tem sentido estas alterações que podem afectar os recursos naturais, como a água potável, a qualidade do ar e a estabilidade do clima, com reflexos nas condições de vida humana. Os estudos sobre o coberto do solo são uma fonte importante na monitorização destas alterações e têm sido cada vez mais utilizados pelos próprios governos que utilizam esta informação na gestão do seu território e em estudos ambientais. A cartografia de coberto do solo em África foi inicialmente baseada em medições de terreno e mais tarde em dados de detecção remota, como fotografias aéreas e imagens de satélite. Estas últimas permitiram uma melhoria significativa pela representação contínua e uniforme da superfície terrestre.

Vários trabalhos têm sido feitos para África no âmbito da cartografia de coberto do solo. É o caso de um mapa para todo o continente produzido com imagens do sensor *AVHRR* (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) (Tucker et al., 1985), de uma classificação global da superfície com imagens do sensor *MODIS* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) (Strahler et al., 1999) e da cartografia dos ecossistemas terrestres (Olson et al., 2001).

Para Angola, vários projectos têm sido desenvolvidos a nível local, contudo, a maior parte do território apresenta ainda uma grande deficiência de informação o que dificulta a sua aplicação a todo o espaço do país. Este trabalho tem como objectivo obter informação sobre o coberto do solo em Angola,

utilizando imagens de satélite do sensor *MODIS* relativas a quatro meses do ano de 2003 (Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro). O mapa de coberto do solo obtido visa contribuir para a tomada de decisões de ordenamento e gestão do território, a nível nacional e provincial, e contribuir para a detecção de alterações dos padrões territoriais.

## 2. ÁREA DE ESTUDO E DADOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

A República de Angola fica situada na costa ocidental do continente africano, entre os paralelos 4°22' e 18°02' sul e os meridianos 11°41' e 24°05' leste (DEPPI, s/d). É limitada a norte e a leste pela República Democrática do Congo, a leste pela Zâmbia, a sul pela Namíbia e a oeste pelo Oceano Atlântico. Ocupa uma área de cerca de 1.246.700 km<sup>2</sup>, tem uma linha de costa de 1.650 km e uma fronteira terrestre cerca de três vezes maior. A província de Cabinda situa-se a norte, separada de Angola pelo estuário do rio Congo e por território pertencente ao Zaire e faz fronteira a norte com o Congo. O relevo é caracterizado por uma faixa costeira baixa que se estende desde a Namíbia até Luanda, e por planaltos interiores que inclinam para leste e sudeste, alguns deles com altitudes superiores a 1500 m. A vegetação é muito diversificada, com floresta tropical, para norte, savanas que interpenetram com as florestas e se estendem por áreas e coberturas descontínuas de arbustos e ervas, para sul e sueste, que se encontram limitadas pelas grandes extensões desérticas do Namibe, para o litoral sudeste.

Vários rios importantes se podem destacar no território angolano, como o Zaire, o Cuanza e o Cunene, que mais para o interior têm vales profundos

e irregulares que se alargam nas proximidades do oceano. O clima é diversificado, tropical no norte e subtropical e desértico no sul, sendo temperado no interior de maior altitude. Esta diversidade deve-se à conjugação da altitude com o factor continentalidade, a diferenças latitudinais e a efeitos da corrente oceânica fria. Existem duas estações distintas definidas pela precipitação, uma quente e húmida e outra fresca e seca, sendo as temperaturas térmicas anuais baixas.

## 2.2 DADOS UTILIZADOS

### 2.2.1 IMAGENS MODIS E LANDSAT

O sensor *MODIS* é um dos principais instrumentos instalados a bordo do satélite *TERRA*, um dos sistemas de observação da superfície terrestre desenvolvidos pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Este satélite tem uma órbita circular, quase polar, hélio-sincrónica, a 705 km de altura e a hora solar de passagem pelo nó descendente é às 10:30 da manhã (URL1). O *MODIS* visualiza a mesma superfície terrestre a cada 1-2 dias e abrange uma faixa de observação de cerca de 2330 km de largura. Este sensor regista os dados em 36 bandas espectrais, entre 0.4 e 14.4 micrómetros, e que se distribuem em diferentes grupos de resolução espacial, variando dos 250 aos 1000 metros.

O *MODIS* é adequado para a monitorização de mudanças da biosfera em larga escala, nomeadamente a nível do coberto do solo. Pode ser de grande utilidade no ciclo global do carbono, uma vez que permite estimar a quantidade utilizada e absorvida na produção e na actividade fotossintética das plantas terrestres e marinhas.

Neste trabalho utilizam-se apenas as sete primeiras bandas espectrais que representam a reflectância espectral dos diferentes tipo de coberto do solo, representados na gama do espectro electromagnético (Tabela 1).

As imagens *MODIS* são disponibilizadas pela NASA através do site *Earth Observing System Gateway* (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>). Foram utilizadas imagens diárias do ano 2003 correspondentes a Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro. Estes meses foram escolhidos de forma a contemplar a variabilidade sazonal da vegetação e a permitir uma maior distinção dos diferentes tipos de coberto vegetal.

Os satélites *Landsat* têm órbitas repetitivas, circulares e heliosíncronas (passam à mesma hora solar em qualquer ponto terrestre observado) e estão a uma altitude de 705 km. A órbita completa-se em aproximadamente 99 minutos, permitindo ao satélite

TABELA 1  
Características do sensor *MODIS*

<i>MODIS</i>							
<b>Bandas</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Região</b>							
<b>Espectral (<math>\mu m</math>)</b>	0.620-0.670	0.841-0.876	0.459-0.479	0.545-0.565	1.230-1.250	1.628-1.652	2.105-2.155
<b>Resolução (m)</b>	250	250	500	500	500	500	500

dar 14 voltas à terra por dia e uma cobertura total do planeta em 16 dias. Cruza a linha do equador entra as 10:00 e as 10:15 (hora local) numa órbita descendente, ou seja, de norte para sul, e caracteriza-se por uma faixa de varrimento de 185 km (URL2).

As principais diferenças espectrais entre os sensores *TM* do satélite *Landsat 5* e *ETM+* do satélite *Landsat 7* são a adição de uma banda pancromática com resolução de 15 m, a passagem das bandas do infravermelho térmico a uma resolução espacial de 60 m e uma melhoria na calibração do sensor *ETM+* (Tabela 2).

Neste trabalho obteve-se uma cobertura completa de imagens *Landsat TM* e *ETM+* referentes aos anos de 2000 e 2001 disponíveis por Internet no *Global Land Cover Facility*, um centro da Universidade do *Maryland*. Estas imagens são usadas para, em conjunto com os dados auxiliares, permitir uma melhor identificação dos diferentes tipos de coberto do solo.

#### 2.2.2 DADOS AUXILIARES

É ainda utilizada a Carta Fitogeográfica de Angola (Figura 1) à escala 1:2 500 000 (*Barbosa, 1970b*), a memória descritiva da vegetação de Angola (*Barbosa,*

1970a) e adicionalmente, as descrições de vegetação feitas por Castanheira (2006). A utilização conjunta destes diferentes tipos de informação permite uma melhoria significativa na identificação dos diferentes tipos de coberto do solo.

### 3. METODOLOGIA

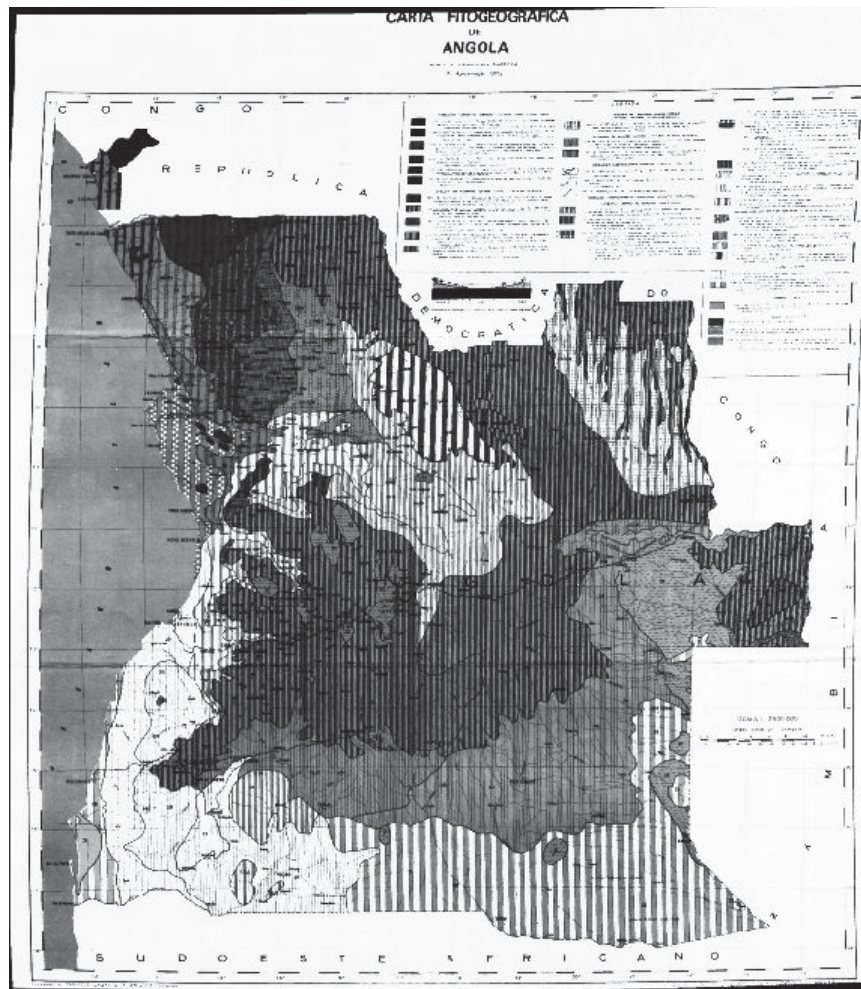
#### 3.1 COMPOSIÇÃO MULTITEMPORAL

As imagens de satélite recolhidas pelos sensores estão sujeitas às condições atmosféricas existentes no momento em que são registadas (nuvens, sombras de nuvens, etc.), o que pode dificultar a identificação dos tipos de coberto do solo e consequentemente a precisão dos mapas obtidos. Estes efeitos podem ser minimizados ou eliminados recorrendo a procedimentos de correcção atmosférica ou a métodos de composição multitemporal de imagens. Os trabalhos de *Holben et al. (1986)*, *Qi e Kerr (1994, 1997)*, *Cihlar et al. (1994)* e *Sousa et al. (2003)* são exemplos da aplicação de critérios multitemporais às imagens de satélite. A composição multitemporal consiste em gerar uma imagem composta, resultante da síntese formada por *pixels* seleccionados de um conjunto de imagens de uma mesma área,

TABELA 2  
Características do sensor *TM* e *ETM+*

Thematic Mapper-TM								
Bandas	1	2	3	4	5	6	7	
Região espectral (μm)	0.45-0.52	0.52-0.60	0.63-0.69	0.76-0.90	1.55-1.75	10.42-12.50	2.08-2.35	
Resolução (m)	30	30	30	30	30	120	30	
Enhanced Thematic Mapper-ETM+								
Bandas	1	2	3	4	5	6	7	8
Região espectral (μm)	0.45-0.52	0.52-0.60	0.63-0.69	0.76-0.90	1.55-1.75	10.42-12.50	2.08-2.35	0.52-0.90
Resolução (m)	30	30	30	30	30	60	30	15

FIGURA 1  
Carta Fitogeográfica de Angola



correspondente a um período curto de tempo. Estas imagens têm de estar georreferenciadas espacialmente de forma a assegurar que o *pixel* com a mesma localização geográfica é igual em todas as datas. Este *pixel* é avaliado segundo um determinado critério e o que melhor o satisfizer é seleccionado para formar a imagem síntese, composta por *pixels* de diferentes datas. Este processo é repetido para as várias bandas que constituem a imagem. Neste trabalho utilizou-se um critério de composição multitemporal, baseado no terceiro valor mais baixo do albedo, definido como a média aritmética entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo (Cabral *et al.*, 2003). Teoricamente, o albedo é definido como uma medida de reflectividade de um corpo ou de

uma superfície. Este critério consiste em gerar uma imagem dos valores do albedo e em seleccionar a data correspondente ao terceiro valor mais baixo. Esta imagem das datas é usada para gerar as bandas síntese mensais de Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro.

### 3.2 DEFINIÇÃO DA LEGENDA

A legenda dos diferentes tipos de coberto do solo adoptada baseou-se no esquema de classificação da *Food and Agriculture Organization* (FAO), que estabelece classes em função das características estruturais e funcionais da vegetação (Di Gregório e Jensen, 2000), visando harmonizar as classificações



de coberto do solo feitas por diferentes equipas para facilitar as comparações entre resultados (tabela 3).

### 3.3 DADOS DE REFERÊNCIA

O conjunto de amostras representativas de cada tipo de coberto do solo é obtido recorrendo à Carta Fitogeográfica de Angola, ao conhecimento de campo de especialistas em botânica, à interpretação visual de imagens *Landsat* e à bibliografia existente sobre vegetação. Estas amostras são recolhidas de modo a assegurar a máxima homogeneidade e precisão possíveis. O seu número não é proporcional à extensão de cada classe na área de estudo, dada a limitação imposta pela informação auxiliar e o conhecimento no terreno. A grande dificuldade que surge na recolha de amostras incide principalmente na “confusão” existente entre alguns tipos de coberto do solo, o que se reflecte no número de *pixels* recolhidos para cada classe. As classes menos representativas são a “Agricultura”, “Água” e “Áreas

*ardidas*”. A primeira devido à sua semelhança com a de “Mosaico Agricultura-vegetação arbórea”.

É feita uma análise à separabilidade espectral entre as classes de coberto do solo representadas pelos *pixels* correspondentes às áreas definidas no conjunto de referência, através da distância de *Jeffries-Matusita* (J-M) (*Richards et al.*, 1999). Esta medida permite melhorar a definição das áreas amostradas para cada classe, redefinindo o número de classes amostradas, agregando as semelhantes e separando as distintas. A distância de *Jeffries-Matusita* tem um limite máximo de 2 para classes que espectralmente se separam completamente e de 0 para as espectralmente idênticas. Após a correcção das áreas de referência extraem-se os valores espectrais correspondentes a cada *pixel* nas 28 bandas, sendo a amostra total constituída por 38479 *pixels*.

TABELA 3  
Classes de coberto do solo e número de amostras usadas para treino do classificador

ID-Tipo de Coberto do solo	Número de pixels
1-Floresta fechada de folha persistente	374
2-Bosque caducifólio fechado (40-65% de coberto de árvores)	6109
3-Bosque caducifólio aberto (15-40% de coberto de árvores)	1027
4-Floresta Mista	1442
5-Mosaico Floresta - Vegetação natural	2079
6-Mangal	313
7-Arbustos de folha caduca	1191
8-Arbustos caducifólios com árvores esparsas	1266
9-Savana herbácea	3978
10-Savana herbácea com árvores esparsas	1294
11-Savana herbácea com arbustos esparsos	794
12-Mato inundado e savana herbácea	310
13-Agricultura	59
14-Mosaico Agricultura – vegetação arbórea	300
15-Solo nu	3224
16-Água	114
17-Áreas ardidas	196



### 3.4 FILTRAGEM DO CONJUNTO DE REFERÊNCIA

A recolha das amostras de referência pode estar sujeita a erros de identificação, devido a alterações do tipo de coberto do solo entre a data em que as imagens foram adquiridas e a informação que é usada como referência. A utilização do método desenvolvido por *Brodley and Friedl* (1999) permite identificar e eliminar observações com uma probabilidade errada de legenda e melhorar significativamente a qualidade dos dados, através da análise do conjunto de dados de referência (*pixel a pixel*), relativamente ao tipo de coberto do solo atribuído a cada *pixel* pela aplicação de um algoritmo de classificação. Este processo, apesar de reduzir o número de observações, torna o conjunto de amostras mais coerente, fiável e homogêneo o que melhora significativamente os dados resultantes do classificador. Para o efeito constrói-se uma árvore de classificação usando um algoritmo de árvores de classificação e regressão desenvolvido por *Breiman et al.* (1984), através do software CART (*Steinberg e Colla*, 1997). Nela são definidos vários parâmetros, incluindo a selecção de um critério que avalia o grau de impureza do nó, a especificação das probabilidades *a priori* e os custos dos erros de classificação para cada classe de variável dependente. São também considerados, a selecção do número mínimo de observações para os nós terminais, a especificação do valor de um parâmetro de complexidade que penaliza árvores grandes e determina o tamanho óptimo da árvore e a selecção de um procedimento de avaliação da precisão. A árvore construída usa o critério *twoing* (*Breiman et al.*, 1984) para a separação de nós, o mais adequado quando se têm muitas classes. Consideraram-se iguais probabilidades *a priori*, iguais erros de custo da classificação e um número mínimo de observações nos nós terminais de 30. Além disso, é usado o método de validação cruzada 10 vezes para estimação do erro de classificação.

Como resultado, a cada observação são associados dois atributos, um na fase de recolha da informação dos dados de referência e outro pela árvore de classificação. Todos os *pixels* cujos atributos não coincidem são considerados erradamente identificados e removidos do conjunto de dados de referência, que após esta filtragem dispõe de 32622 amostras. Este conjunto é dividido em dois: 75% das observações disponíveis para cada classe é usado para treinar o classificador e os restantes 25% são usados no processo de validação. Estabeleceram-se 17 classes de coberto do solo com um número de amostras variável para treinar o classificador (tabela 3), em função da área ocupada por cada classe no território Angolano.

### 3.5 ÁRVORES DE CLASSIFICAÇÃO

De acordo com pesquisas efectuadas, a aplicação de famílias ou conjuntos de árvores de classificação são mais eficientes e permitem uma melhor precisão do mapa de coberto do solo (*Breiman*, 1996, *Bauer e Kohavi*, 1999) do que a utilização de classificadores em árvore simples. Neste trabalho, recorreu-se ao software CART, que constrói árvores de classificação binárias.

O método de classificação de família de árvores, também designado por *bagging*, consiste em gerar dez conjuntos de amostras a partir do conjunto original escolhido para treinar o classificador, por amostragem com reposição. Cada um destes conjuntos é usado para gerar dez mapas de coberto do solo que são comparados entre si, quanto à classe seleccionada. Para cada *pixel*, a classe mais frequente, ou seja a que tem mais votos, é a seleccionada para atribuir ao *pixel*, obtendo-se assim o mapa de coberto do solo final.

Cada uma destas dez árvores é construída segundo os mesmos parâmetros: critério *twoing* para separação de nós, probabilidades iguais à priori para cada classe, custo de classificação iguais para cada classe e nós terminais com pelo menos 30 observações. Utiliza-se ainda o modelo de combinações lineares de variáveis, que permite uma melhor separação dos padrões espaciais e, conseqüentemente, uma melhor definição das classes espectralmente semelhantes. A precisão dos classificadores é avaliada com base no método de validação cruzada 10 vezes, para estimativa do erro de classificação.

### 3.6 AVALIAÇÃO DA FIABILIDADE DO CLASSIFICADOR

A avaliação da precisão do mapa de coberto do solo final é feita comparando a informação obtida nesse mapa e o conjunto de dados de validação, através de uma matriz de confusão (Foody, 2002). Trata-se de uma matriz quadrada, onde as linhas representam as classes reais dadas pelos dados de validação e as colunas as classes resultantes do processo de classificação. A diagonal principal representa os *pixels* correctamente classificados, ou seja, os que apresentam concordância entre o tipo de coberto do solo atribuído pelo classificador e o que existe no terreno. Os *pixels* fora da diagonal principal correspondem aos incorrectamente classificados e portanto a erros de omissão (por exclusão) e a erros de comissão (por inclusão) (Foody, 2002).

Pode medir-se, também, o coeficiente *kappa* que expressa a diferença entre a concordância observada entre os dois mapas e a que seria obtida se a classificação fosse realizada ao acaso, com valores entre 0 e 1.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 COMPOSIÇÃO MULTITEMPORAL

A imagem composta para o mês de Maio resulta da aplicação do critério de composição multitemporal e constitui uma síntese construída a partir das imagens diárias existentes para aquele mês (Figura 2).

Por observação visual verifica-se que é uma imagem homogênea, com poucas nuvens e sombras de nuvens e com uma certa coerência espectral. A remoção de nuvens de determinadas áreas, como é o caso do enclave de Cabinda, torna-se difícil quando ocupam o mesmo local em todas as imagens diárias.

### 4.2 ÁREAS DE REFERÊNCIA

A distribuição das áreas de referência para a região de estudo é obtida por observação visual dos vários tipos de informação existentes (Figura 3).

Os valores de separabilidade espectral, calculados com base nas áreas de referência (Figura 3) e obtidos pela distância de *Jeffries-Matusita*, estão acima dos 1.7 para todas as combinações emparelhadas, o que significa uma boa separabilidade espectral entre as classes.

FIGURA 2

Imagem em tons de cinzento da banda do infravermelho próximo, da imagem *MODIS* do mês de Maio, gerada pelo critério de composição multitemporal do terceiro valor mais baixo do albedo

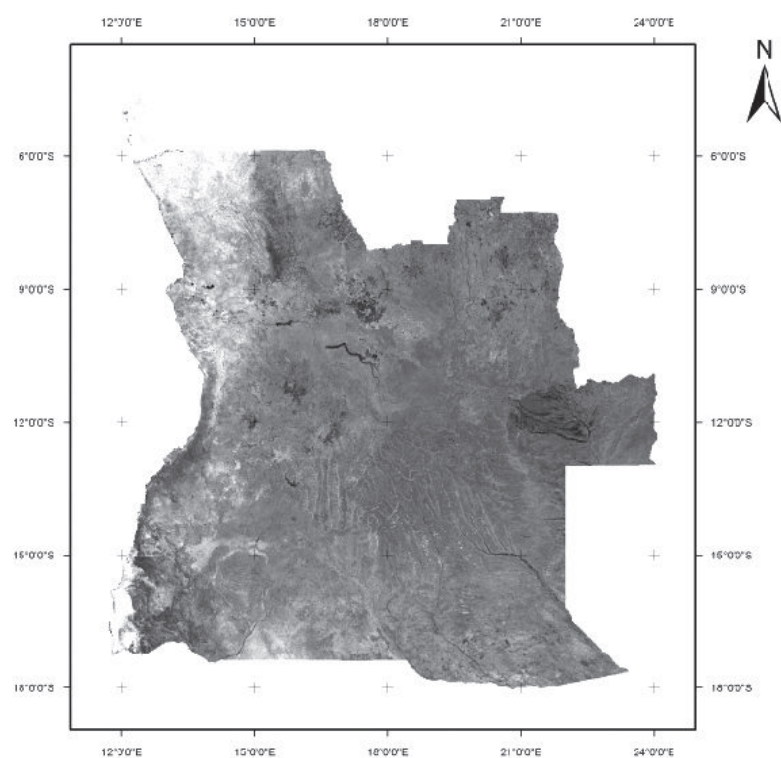
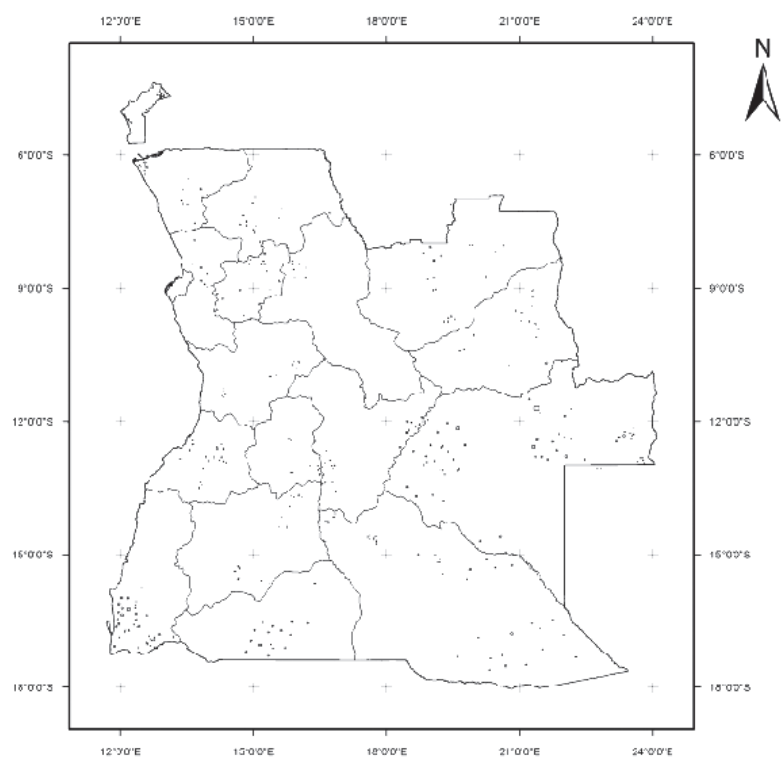


FIGURA 3

Distribuição das áreas de referência

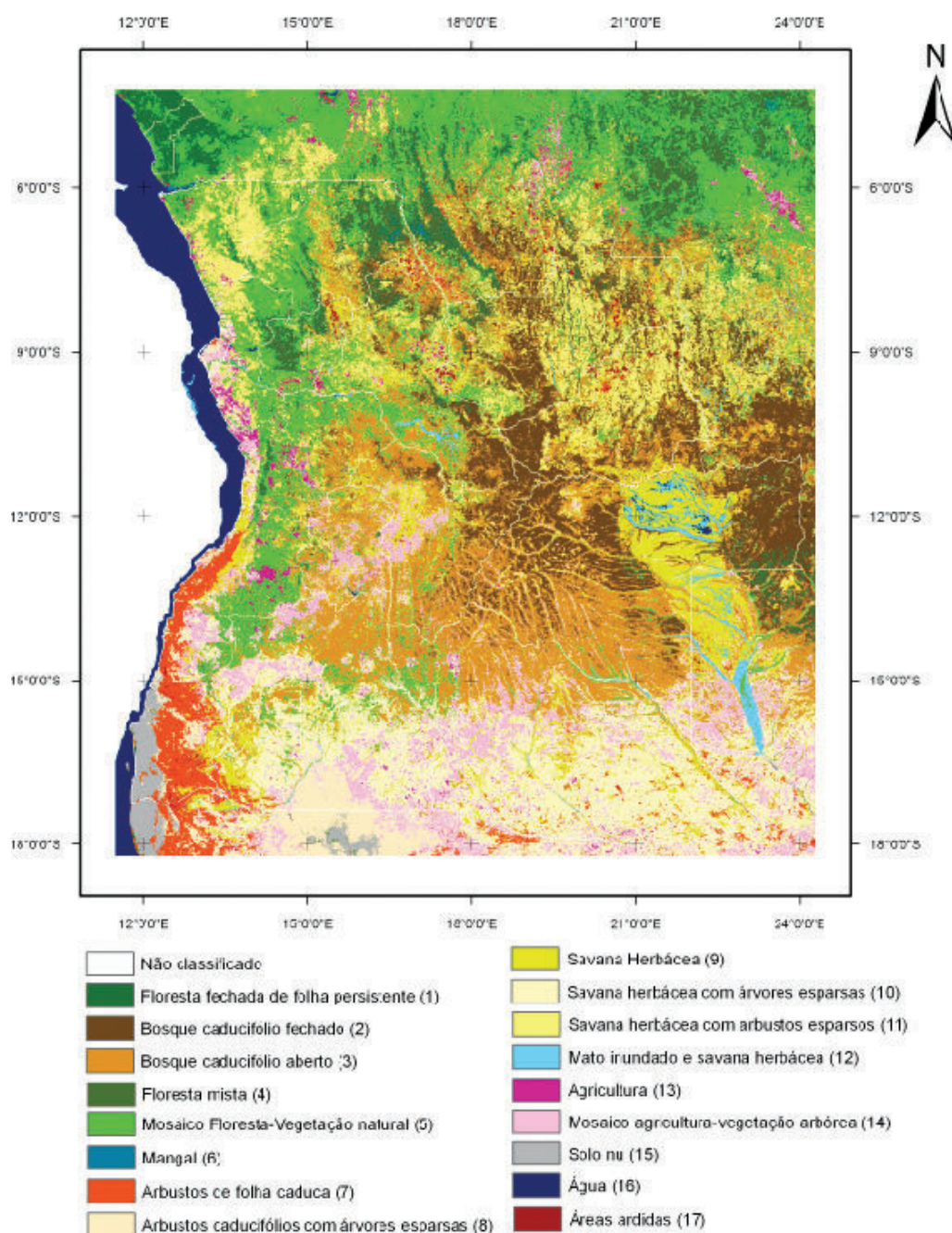


### 4.3 ÁRVORE DE CLASSIFICAÇÃO

No mapa de coberto do solo para Angola (Figura 4), a percentagem de concordância é obtida através do método de validação cruzada, interno ao classificador, que utiliza o mesmo conjunto de dados quer para treinar o classificador quer para validação.

As percentagens de concordância globais obtidas pela aplicação do método de validação cruzada 10 vezes, para o conjunto das 10 árvores, têm um valor médio de 95.5% de *pixels* correctamente classificados para cada árvore.

**FIGURA 4**  
**Mapa de coberto do solo para Angola**





A validação do mapa de coberto do solo, feita com dados independentes dos usados para construir os classificadores, mostra uma precisão aceitável ( $kappa=0.77$ ) e erros de omissão e comissão ligeiramente altos, de 20.3% e 22.1%. Estes valores podem ser melhorados redefinindo as amostras de cada tipo de coberto do solo, recorrendo a outros tipos de informação e comparando-os com os já existentes. A definição das amostras é o passo crucial para a obtenção de um mapa de coberto do solo preciso.

No mapa de coberto do solo final o *Bosque caducifólio fechado*, *Bosque caducifólio aberto*, *Mosaico Floresta-Vegetação natural* e *Savana herbácea com arbustos esparsos* ocupam maior área (Figura 5). As de *Mangal*, *Floresta de folha persistente*, *Agricultura*, *solo nu* e *Água* por seu lado são as de menor extensão. Estas duas últimas classes são difíceis de cartografar devido à limitação na recolha de amostras homogêneas.

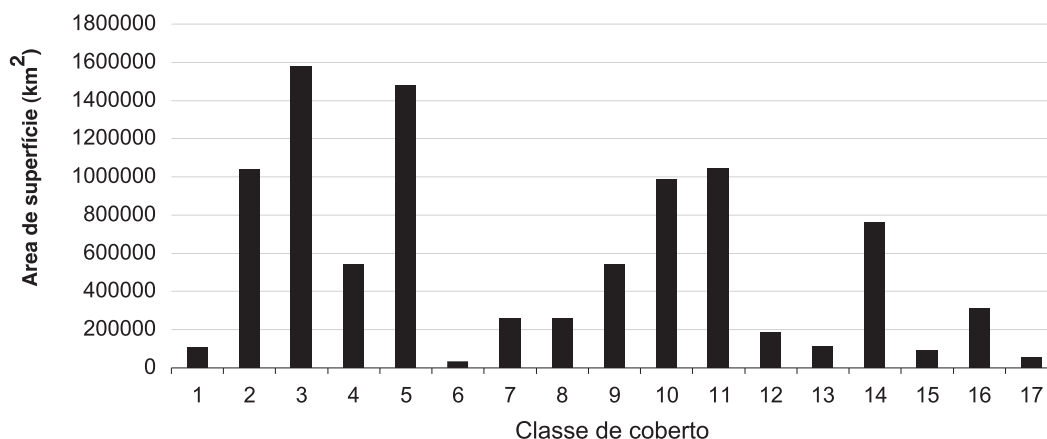
Os resultados são comparados com os obtidos no projecto *Global Land cover 2000* onde se verifica também que as áreas com maior superfície terrestre são as de *Bosque caducifólio fechado* e *Bosque caducifólio aberto* e a que apresenta menor área é a de *Mangal*.

#### 4.4 DISCUSSÃO

Vários passos são adoptados para se obter o mapa de coberto do solo de Angola. O primeiro consiste na aplicação de um critério de composição multitemporal desenvolvido por *Cabral et al.* (2003) que produz imagens espacialmente mais suavizadas e mais homogêneas e com uma grande eficiência na remoção das nuvens e sombras de nuvens. Este critério mostra também reduzir significativamente o ruído nas imagens (*Cabral et al.*, 2003), o que aumenta a separabilidade espectral das classes de coberto do solo, permitindo uma melhor precisão aquando do processo de classificação. Este critério é usado para se obter as imagens síntese mensais de Fevereiro, Maio, Agosto e Novembro. Estas imagens são usadas para recolher as amostras de cada tipo de coberto do solo que formam o conjunto de dados de referência.

O método de validação cruzada apresenta valores de concordância elevados para o conjunto de árvores o que revela uma grande coerência interna dos dados de treino. O método de validação que utiliza dados independentes mostra, através do cálculo da matriz de confusão, dos erros de omissão e comissão e do

FIGURA 5  
Área ocupada por cada tipo de coberto do solo em km<sup>2</sup>  
(1-17 são as classes de coberto do solo representadas na tabela 3)



coeficiente *kappa*, que o mapa de coberto do solo construído apresenta uma precisão aceitável, perto de 79.9%. No entanto, este valor pode ser melhorado, redefinindo as áreas de amostragem de cada tipo de coberto com auxílio de outras fontes de informação existentes, como fotografia aérea.

Observando visualmente o mapa de coberto do solo, pode ver-se que as três classes de *floresta* se distribuem essencialmente na região noroeste de Angola. O *bosque caducifólio* na parte central, e as savanas herbáceas e arbustos a sul. O mosaico de *Agricultura-vegetação arbórea* localiza-se principalmente a sul onde ocupa uma grande extensão. Visualmente o mapa de coberto do solo obtido (Figura 4) permite um nível de detalhe espacial maior do que o da Carta Fitogeográfica de Angola (Figura 1) onde as classes de coberto do solo se baseiam em observações pontuais do terreno, a distribuição é mais homogénea e o grau de generalização é maior. As classes de *floresta* e *bosque* embora tenham uma localização semelhante em ambos os mapas, denotam um decréscimo em área no mapa produzido, provavelmente resultante da conversão das florestas e bosques para áreas agrícolas. Este facto confirma-se através da comparação de imagens Landsat dos anos 1990 e 2000, para a região do Huambo. A norte verifica-se um aumento da *savana herbácea com árvores* esparsas por diminuição das classes de floresta e bosque caducifólio em relação a 1970 (Barbosa, 1970b).

As maiores extensões de savana herbácea e arbustos situam-se mais a sul em ambos os mapas, verificando-se um aumento da *agricultura-vegetação arbórea*.

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia desenvolvida neste trabalho inclui duas fases essenciais. A primeira consiste na obtenção de imagens mensais com efeitos atmosféricos reduzidos, livres de nuvens e sombras de nuvens, aumentando o contraste entre os diferentes tipos de coberto do solo. A segunda compreende a aplicação de um classificador que distinga os diferentes tipos de coberto do solo de modo eficiente e produza um mapa de coberto do solo preciso. A utilização do critério de composição multitemporal, desenvolvido por Cabral *et al.* (2003) mostra ser bastante eficiente, quando se pretende obter imagens com uma boa coerência e homogeneidade espacial e um baixo nível de nuvens e sombras de nuvens. Da observação visual das imagens síntese resultantes conclui-se que existe uma boa distinção das classes de coberto do solo aquando da recolha das amostras.

O algoritmo de classificação em árvore para o território de Angola envolve a recolha de um conjunto de amostras representativo de cada tipo de coberto do solo. É deste conjunto de amostras que dependem os resultados obtidos no classificador. O processo de filtragem revela melhorar a coerência das amostras, eliminando as erradamente identificadas. No entanto, verifica-se através dos resultados de precisão do mapa de coberto do solo que, apesar de existir uma certa coerência no conjunto de amostras, é necessário tentar melhorar a sua identificação, através de outras fontes de informação, como seja a fotografia aérea.

A utilização de imagens de satélite para cartografia de coberto do solo, juntamente com medições no terreno, permite obter informação com grande detalhe espacial, coerente e de forma contínua e eficiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, L.A.G., 1970a, Carta fitogeográfica de Angola. Instituto de Investigação Científica de Angola, Luanda.
- BARBOSA, L.A.G., 1970b, Carta fitogeográfica de Angola (1:2 500 000). Instituto de Investigação Científica de Angola, Luanda.
- BAUER, E. e Kohavi, R., 1999, An empirical comparison of voting classification algorithms: bagging, boosting and variants. *Machine Learning*, vol. 36, 1, 2, 105-139.
- BREIMAN, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. e Stone, C.J., 1984, *Classification and regression trees*. Wadsworth, Pacif Grove, C.A..
- BREIMAN, L., 1996, Bagging predictors. *Machine Learning*, 24, 123-140.
- BRODLEY, C.E. e Friedl, M.A., 1999, Identifying mislabeled training data. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 11, 131-167.
- CABRAL A., de Vasconcelos MJP., Pereira J.M.C., Bartholomé E., and Mayaux P., 2003, Multitemporal compositing approaches for SPOT-4 VEGETATION data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 24, nº 16, 3343-3350.
- CASTANHEIRA, A.D., 2006, *Características mesológicas de Angola*. Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento, 2ª edição, Lisboa.
- CIHLAR, J., Manak, D. e D'Iorio, M., 1994, Evaluation of compositing algorithms for AVHRR data over land. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 32, 2, 427-437.
- DEPPI, ed, s/d, *Angola: reconstrução nacional*. realização Delroisse, ISBN 2-85518-060-0
- DI GREGORIO, A. e Jensen, L.J.M., 2000, *Land cover classification system, concepts and user manual*. GCP/RAF/287/ITA Africover (Food and Agriculture Organization of the United Nations Publishing Service), Rome, Italy.
- FOODY, G.M., 2002, Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, vol. 80, 185-201.
- HOLBEN, B.N., 1986, Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 7, 11, 1417-1434.
- OLSON, D.M., Dinerstein, E., Wikramanaya, E.D.K.E., Burgess, N.D., Powell, G.V.N. e Underwood, E.C., 2001, *Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on earth*. Bioscience, 933-938.
- QI, J. e Kerr, Y., 1994, On current compositing algorithms. In *proceedings of the international symposium on physical measurements and signatures in remote sensing*. ISPRS commission.
- QI, J. e Kerr, Y., 1997, On current compositing algorithms. *Remote Sensing Reviews*, 15, 235-256.
- RICHARDS, J.A., Xiuping, J. e Ricken, D.E., 1999, *Remote sensing digital image analysis: An introduction*. Springer Verlag, 363 p.
- STRAHLER, A., Muchoney, D., Borak, J., Friedl, M., Gopal, S., Lambin, E. e Moody, A., 1999, MODIS land cover and land cover change algorithm theoretical basis document (ATBD). Version 5.0, Boston University, Boston, pp.72.
- STEINBERG, D. e Colla, P., 1997. *CART, Classification and Regression trees*. Salford Systems, San Diego, California.
- TUCKER, C.J., Townshend, J.R.G. e Goff, T.E., 1985, African land cover classification using satellite data. *Science*, vol. 227, 4685, 369-375.

### Referências URL:

- URL1: <http://www.envi.com.br/sensor/satelites/terra/modis/modis.html>
- URL2: <http://www.engesat.com.br/satelites/landsat5.htm>