

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N<sup>o</sup> 67/1 3-14  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO DE SOLOS NA ESCALA 1:100.000 USANDO TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

*Methodology for Soil Mapping at the Scale of 1:100,000 using Geo-information  
Technologies*

**Rafael Rodrigues da Silva<sup>1</sup>; Ana Lúcia Bezerra Candeias<sup>1</sup>  
& José Coelho de Araújo Filho<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco - UFPE**  
**Programa Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação**  
Acadêmico Hélio Ramos s/n<sup>o</sup>, Cep: 50704-530, Brasil.  
rodriguesrs19@gmail.com, analucia@ufpe.br

**<sup>2</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA**  
**EMBRAPA - Solos UEP Recife**  
Rua Antônio Falcão, 402, Boa Viagem, Recife/PE, Cep: 51020-240, Brasil.  
coelho@uep.cnps.embrapa.br

*Recebido em 25 de Fevereiro, 2013/ Aceito em 28 de Maio, 2013*  
*Received on February 25, 2013/ Accepted on May 28, 2013*

### **RESUMO**

A execução de mapeamento de solos no todo o território nacional é uma demanda permanente das instituições na busca de informações do meio físico para o planejamento da ocupação racional das terras. Desta forma, tem-se buscado novos métodos que tornem estes mapeamentos mais rápidos e menos onerosos. Quanto mais detalhada a escala de trabalho, mais se intensifica o número de exames no campo e, por conseguinte, utiliza-se mais tempo e aumenta-se o custo para execução dos trabalhos de mapeamento de solos. Este trabalho apresenta procedimentos metodológicos para o mapeamento de solos na escala 1:100.000 usando tecnologias da geoinformação para minimizar custos e otimizar o levantamento no campo. Essas informações foram sistematizadas e muitas etapas do mapeamento foram esboçadas e resolvidas ainda no escritório. Com essa estratégia de trabalho, foi possível minimizar as atividades de campo e ao mesmo tempo melhorar a qualidade do produto final cartográfico/pedológico. Como resultados foi obtido um novo mapa de solos na área de estudo no Município do Petrolândia na escala 1:100.000 com um melhor detalhamento do que o mapa disponível na mesma escala.

**Palavras chaves:** Mapeamento de Solos, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento.

### **ABSTRACT**

Implementation of soil survey throughout the country is a permanent demand from institutions in search of information of the physical planning for rational land occupation. Thus, we have sought new methods to make these maps faster and less expensive. The more detailed the scale of work, the more it enhances the number of tests in the field and therefore uses up more time and increases the cost to perform the work of mapping soil. This work presents a methodological strategy for mapping soils in the 1:100,000 scale using geo-information technologies to minimize cost and optimize the field survey. The information was gathered in software so that many mapping steps have been outlined and resolved

still in office. With this work strategy, it was possible to minimize field activities while improving product quality mapping/pedology. As an obtained result was a new map of soils in the study area in the municipality of Petrolândia on the 1:100,000 scale with better details than the available map on the same scale.

**Keywords:** Soil mapping, Remote Sensing, Geoprocessing.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, existe uma demanda de diferentes instituições sobre mapeamento de solos tanto para a pesquisa como para o planejamento. Existe uma necessidade de dados atualizados do ponto de vista estadual, municipal, iniciativa privada e organismos internacionais no planejamento e na gestão da ocupação racional das terras e para questões ambientais com diversos fins, conciliando desenvolvimento econômico e social, com a conservação e proteção dos recursos naturais (MENDONÇA-SANTOS, 2003).

Carvalho, Nunes e Antunes (2013) fornecem um histórico de como no Brasil, o levantamento de solos era desenvolvido supondo as políticas agrícolas, a industrialização até os dias de hoje onde são usados os recursos da geoinformação.

Rovani, Sartori e Cassol (2014) apresentam um exemplo de zoneamento ecológico-econômico de Barão de Cotegipe, RS. Para se obter o mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo foram usados naquele trabalho, os planos de informação referentes à geomorfologia, geologia, solos, vegetação/uso e ocupação da terra. O mapa de potencial social foi elaborado supondo técnicas de álgebra de mapas e de acordo com os usos potenciais natural, humano, produtivo e institucional.

Sabe-se que as atividades de campo para o mapeamento pedológico são em geral onerosas e podem ser vistas sob dois aspectos: a) do ponto de vista do tempo da coleta das informações, bem como, (b) dos recursos financeiros envolvidos pelo tempo no campo. Desta forma, segundo Demattê *et al.* (2004), é necessário o desenvolvimento de novos métodos que tornem estes mapeamentos mais rápidos e eficientes.

Os custos envolvidos no mapeamento de solos estão diretamente associados ao planejamento e a forma da varredura da área no campo.

O levantamento é desenvolvido por meio de muitas observações e exames de campo conforme a escala de trabalho e procedimentos normativos de levantamento de solos (EMBRAPA, 1995).

Em geral, são feitos diversos percursos e exames de solos bem como são verificados um grande número de pontos para estabelecer os limites entre unidades de mapeamento. Portanto, quanto mais detalhada a escala de trabalho, mais se intensifica o número de exames no campo e, por conseguinte, utiliza-se mais tempo e aumenta-se o custo para execução do mapeamento de solos. No conjunto, as etapas dos mapeamentos de solos envolvem atividades de escritório, campo e laboratório.

Neste trabalho aplica-se as Tecnologias da Geoinformação para auxiliar no mapeamento do solo. Foram utilizadas as imagens do sensor TM (Thematic Mapper) do satélite LANDSAT5, imagem da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) incorporadas ao projeto TOPODATA do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), imagens de alta resolução visualizadas na composição colorida através do software Google Earth, aquisição dos pontos de controle mediante o receptor GPS e documentos cartográficos em formato vetorial (geologia, limite municipal e o mapa de solos-ZAPE) para gerar uma atualização do mapeamento do município de Petrolândia e compará-lo ao já existente no ZAPE (Zoneamento Agroecológico de Pernambuco).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é comparar a metodologia clássica de mapeamento de solo com um método que reúna as geotecnologias em um processo que gere eficiência no mapeamento dos solos.

O trabalho proposto apresenta uma carta de solos na escala de 1:100.000 de Petrolândia e os resultados são obtidos com um menor tempo implicando em menor custo.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apresenta-se aqui as aplicações da cartografia na produção de mapas pedológicos. É visto também o Zoneamento Agroecológico de Pernambuco, a missão SRTM que utiliza radar de abertura sintética, banda C e banda X, para adquirir dados topográficos e o TOPODATA que é composto de dados topográficos e suas derivações e que são elaborados a partir dos dados SRTM.

## 2.1 Aplicações da Cartografia na Produção de Mapas Pedológicos

Segundo Burrough e McDonnell (1998), a cartografia de solos baseia-se em uma representação corocromática em que polígonos da mesma cor representam áreas consideradas de igual valor, seja uma unidade solo ou um atributo específico do solo. Em alternativa, especialmente para certos atributos do solo, é possível a representação em mapas contínuos, obtidos a partir de matrizes de valores, ou ainda, a representação em mapas de isolinhas, linhas que unem pontos com igual valor.

Uma das limitações frequentes no nível de detalhe dos mapeamentos de solos reside na necessidade de uma maior densidade de amostragem, em particular quando não se dispõe de dados analíticos prévios. Apesar disso, conforme Alexandre (2007) o aumento da densidade de observações é a única alternativa para melhorar o conhecimento da variabilidade interna de cada unidade cartográfica.

A escala do material espacial e não espacial deve ser selecionada, tendo em vista a compatibilização cartográfica entre níveis de detalhe ou generalização previstos para o levantamento e o mapa final a ser apresentado. Isto significa que um levantamento pedológico deve ser executado sobre material básico em escala adequada, normalmente maior que a escala final de publicação. Não obstante, deve-se levar em conta o tempo de execução e os custos de levantamentos mais detalhados do que o necessário, para cumprir os objetivos previstos. Como regra geral, recomenda-se conduzir o mapeamento, tendo sempre em mente a escala final de publicação. Desta forma, é evitado o excesso de detalhes, incompatível com a escala final ou a insuficiência de informações, quando da etapa de generalizações e reduções cartográficas (IBGE, 1995).

Inicialmente é feita uma revisão bibliográfica da área, com o objetivo de obter as informações disponíveis a respeito dos estudos já realizados na área, como mapas e relatórios de levantamentos pedológicos, geológicos e geomorfológicos. Buscam-se também informações mais específicas sobre a vegetação, clima, relevo, drenagem superficial, mapas rodoviários, divisão municipal, além de

documentos referentes às principais práticas agrícolas utilizadas e informações agro-socioeconômicas da região (EMBRAPA, 1999).

Pelo método do caminhamento livre, pedólogos usam a própria experiência, o conhecimento sobre a área, a fotointerpretação e as correlações para definir os pontos de observação e amostragem, geralmente locais representativos, de modo que cada observação ou amostra coletada forneça o máximo de informações para o mapeamento e caracterização dos solos. Este método requer a existência de documentos cartográficos, imagens de radar e de satélites, assim como fotografias aéreas em escalas compatíveis (IBGE 2007).

## 2.2 O Projeto ZAPE

O ZAPE (Zoneamento Agroecológico de Pernambuco) é um documento desenvolvido pela EMBRAPA em formato digital (CD ROM), que contempla de forma integrada, informações sobre solos, clima, recursos hídricos, socioeconomia, potencial de terras para irrigação e aptidão pedoclimática por cultura, de todo o Estado de Pernambuco, possibilitando planejamentos em escala estadual ou municipal com vistas ao desenvolvimento rural sustentável. Estas informações também podem ser obtidas a partir do download do site EMBRAPA solos (<http://www.uep.cnps.embrapa.br/zape/>). As informações do ZAPE estão disponibilizadas em uma plataforma SIG (Sistema de Informações Geográficas) e podem ser acessadas globalmente para todo o Estado ou, separadamente, por município, região, mesorregião, microrregião, região de desenvolvimento e bacia hidrográfica.

O ZAPE (SILVA *et al.*, 2001) realizado na década de 1990, foi um dos primeiros estudos realizados no Nordeste do Brasil, pela Embrapa Solos, que utilizou algumas imagens de Radar, imagens de satélites óticos e o receptor GPS no mapeamento de solos na composição do produto final conhecido como ZAPE.

Embora, os trabalhos de campo, tenham sido realizados, em parte, sem o uso do receptor GPS, foi possível a delimitação visual de limites de algumas unidades de mapeamento de solos utilizando as imagens de Satélites.

Os mapas de solos na escala 1:100.000 do ZAPE foram todos preparados em ambiente SIG,

porém não é possível a exportação/importação dos resultados.

### 2.3 SRTM

O SRTM (*Space Shuttle Topography Mission*) foi uma iniciativa conjunta da National Imagery and Mapping Agency (NIMA) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA). Os dados de radar foram coletados no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000 (durante 11 dias), a bordo da nave espacial Endeavour. Nesse período, a nave realizou 16 órbitas diárias na Terra, o que correspondeu a 176 órbitas durante toda a missão (FARR, 2007).

A Missão SRTM usou um radar de abertura sintética, banda C e banda X, para adquirir dados topográficos em mais de 80% da área emersa da terra. DEMs derivados do STRM de grande parte do planeta, agora, encontram-se disponíveis com uma resolução espacial de (90m) 3 arc-seg (JENSEN, 2009). A missão SRTM produziu uma grade ponto com acurácia horizontal de 30m e com acurácia vertical de 10m. Isso significa que objetos com o tamanho de 30m em diâmetro e de 10m de altura são registrados pelo interferômetro SAR (*Synthetic Aperture Radar*) do SRTM (LIU, 2006).

### 2.4 TOPODATA

Os dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) para a América do Sul, estão disponíveis desde 2003 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado neste trabalho foi extraído do Projeto TOPODATA (VALERIANO e ROSSETI, 2008).

O Projeto TOPODATA oferece dados topográficos e suas derivações básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo *United States Geological Survey* (USGS) na internet.

Além das derivações básicas, o TOPODATA oferece aos usuários, um modelo refinado do MDE, com resolução espacial de 30m (ALMEIDA e ESQUERDO, 2010).

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no município de Petrolândia (Figura 1) na região semi-árida, no sertão do Estado de Pernambuco, na Microrregião de Itaparica. Limita-se ao norte

com município de Floresta; ao sul com município de Jatobá e o Estado da Bahia; a oeste com o Estado da Bahia; e a leste com município de Tacaratu.

A sede municipal possui coordenadas geográficas: latitude 09° 04' 08" S e longitude 38° 18' 11" W Parahyba (2004), com altitude de 310 m. Segundo classificação de Köppen, o clima dominante na região é do tipo BSs'h', que se caracteriza por ser muito quente, semiárido, com temperatura média anual em torno de 25° C (BRASIL, 1973).

A vegetação típica da região é a caatinga hiperxerófila, formada por espécies vegetais com elevada capacidade de retenção de água. Durante a estação mais quente perdem a folhagem e têm bastante reduzido o seu metabolismo vegetal.

O sistema de drenagem da área municipal é pouco denso e tem como componente principal o Rio São Francisco.

As águas do rio São Francisco constituem a grande força que impulsionam as usinas hidrelétricas da região, assim como também são destinadas para o abastecimento urbano e rural e para a irrigação. Neste último aspecto, é de fundamental importância para o desenvolvimento agrícola regional.

Os demais cursos de riachos e rios são intermitentes, com direção norte-sul e que drenam suas águas para o São Francisco (PARAHYBA, 2004).

Segundo Temóteo (2000), as principais formações geológicas que ocorrem na área são as seguintes: Tacaratu, Inajá, Aliança, Sergi, Candeias, São Sebastião e Marizal. Destacam-se, ainda, materiais geológicos relativos às coberturas eluviais ocupando as maiores extensões da área estudada.

### 3.1 Método Tradicional da Cartografia de Solos

Os métodos de Mapeamento de Solos na forma clássica ou tradicional parte do desenvolvido por Dokuchaev em 1883 estabelecido nos primórdios da Ciência do Solo mostra que o solo é o resultado da interação entre cinco fatores: clima (*Climate* - Cl), organismos (*Organisms* - O), relevo (*Relief* - R), material de origem (*Parent material* - P) e tempo (Time - T). Os quatro primeiros fatores interagindo no tempo, criam uma série de processos específicos

que levam à diferenciação em horizontes e, conseqüentemente, à formação do solo. Jenny (1941) estabeleceu a seguinte equação relacionada aos fatores de formação:

$$S = f(\text{CIORPT})$$

onde o tempo T é uma variável independente, enquanto as outras são variáveis dependentes (CIORP) (MENDONÇA-SANTOS, 2003).

As tecnologias da geoinformação possuem ferramentas indispensáveis para o desenvolvimento da cartografia pedológica. Destaca-se a maior facilidade da geração de SIG, da aquisição

de dados de GPS, da diversidade de sensores para a obtenção de imagens de sensoriamento orbital e terrestre de faixa do visível e infravermelho, das imagens do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) que possibilitam elaborar modelos digitais de elevação (MDE).

### 3.2 Proposta para Cartografia de Solos

Neste artigo é apresentado um melhoramento da metodologia relativa ao método tradicional mostrado no item 3.1.

Assim como os métodos tradicionais, esta proposição também contemplará três etapas, que são:

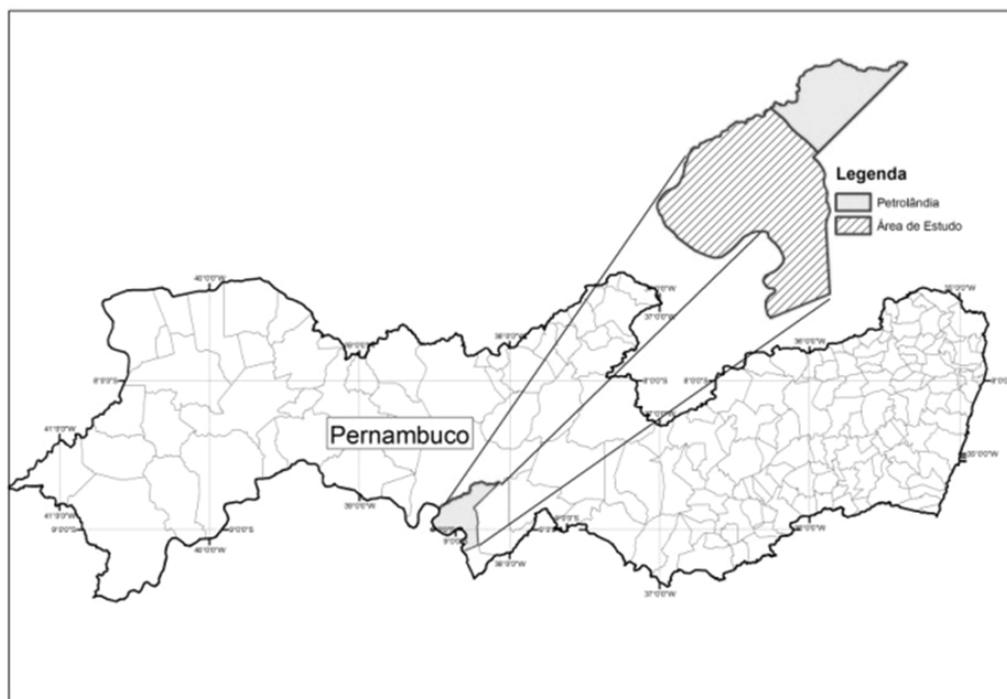


Fig. 1 Localização da área de estudo no município de Petrolândia.

#### 3.2.1 A etapa de escritório

Esta etapa é desenvolvida com intuito de se obter o conhecimento a priori da área, a partir da literatura e do planejamento das atividades de todo o projeto, incluindo a aquisição de bases cartográficas, mapas diversos (pedológicos, geológicos, geomorfológicos, de vegetação, etc.), entre outras informações de interesse da área de estudo.

Muito dos limites que são apresentados no mapa de solos, mais detalhado na seção 4.2, podem ser previamente estabelecidos no escritório contando com a utilização do cruzamento de planos de informações de relevo,

vegetação, geologia, altimetria, imagens de radar e imagens da faixa ótica.

#### 3.2.2 A etapa de campo

Ela mostra quais são os solos considerando todos os detalhes de classificação taxonômica requeridos pelos mapeamentos pedológicos. Isto é facilitado se for desenvolvida uma boa etapa de escritório, no qual o uso das geotecnologias disponíveis definirá padrões e limites de unidades de mapeamento de solos, mediante a sobreposição dos temas e analisando as correlações existentes.

No campo percorreu-se a área para a realização de tradagens e abertura de trincheiras,

por meio de estradas e caminhos existentes. Em muitas ocasiões as observações foram feitas no interior da própria vegetação, pois não havia quaisquer caminhos. Em cada ponto de tradagem e de abertura de trincheira para descrição do perfil, foram anotadas as coordenadas geográficas através de receptor GPS. Foram realizadas 52 tradagens para dar apoio ao mapeamento de solos.

Os exames foram realizados, utilizando-se exposições de barreiras, cortes de estradas e por meio de sondagens realizadas com o trado. As características morfológicas dos pontos examinados foram anotadas em fichas apropriadas. As tradagens foram realizadas até um limite de 2,0 metros de profundidade, exceto quando existia algum impedimento (afloramento rochoso).

### 3.2.3 A etapa laboratório

As análises laboratoriais foram realizadas em um laboratório especializado, seguindo a metodologia para análises de solo descritas no “Manual de métodos de análises de solo” da EMBRAPA (EMBRAPA, 1997).

### 3.3 Espacialização dos dados

Para espacializar o solo é necessário a organização da base de dados em um único sistema de referência. A seguir temos as bases de dados nas quais foram transformadas em WGS84 quando não se encontravam neste sistema.

- a) TM/Landsat 5: Utilização de imagens TM/Landsat 5, na órbita/ponto 216/066 e bandas 3 (vermelho), 4 (infravermelho) e 5 (infravermelho médio) de 01/11/2008.
- b) Contorno do município IBGE (informação vetorial);
- c) Curvas de Nível em 40m, elaboradas no Global Mapper obtidos pelo SRTM processado para 30m do projeto Topodata INPE.(Geração de resultado na Escala 1:1.00.000), arquivos 08\_39ZN e 09\_39ZN.
- d) Pontos dos Perfis e tradagens georreferenciados em WGS84 pelo NAVSTAR GPS em visita a área de estudo utilizando o equipamento GPS Garmin MAP 60CSx e o Software GPS TrackMaker versão Pro – 4.5.
- e) Mapa de solos do município de Petrolândia adquirido através do Projeto ZAPE que estava no

sistema de referência SAD69 e foi transformado para o sistema de referência WGS84;

f) Pontos de Perfis adquiridos através do levantamento dos mapas de solos elaborados pela CODEVASF que estavam no sistema de referência Córrego Alegre e foram transformados para o sistema de referência WGS84.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse item apresenta-se o processamento dos dados com o objetivo de se obter o mapa de solos. Faz-se a comparação entre o mapa do ZAPE e que foi aqui elaborado. E finalmente mostra-se os fatores de redução de tempo de execução do mapa.

### 4.1 Processamento dos Dados para Obtenção do Mapa de Solos

O Conjunto de planos de informações componentes da base de dados espaciais utilizados neste estudo foi exportado a partir do ARCGIS 9.x para o formato de arquivo com extensão kml. A partir da sobreposição de todos os planos de informação foram feitos novos contornos (polígonos) de solos utilizando o Google Earth devido a disponibilização de onde se pode ter uma visualização da área de estudo com melhor definição.

Os perfis e tradagens coletados na área serviram como pontos de controle (verdade de campo) para o mapeamento de solos da área estudada; Os procedimentos abaixo foram então desenvolvidos:

As curvas de nível, bem como o mapa geológico, ajudaram a separar algumas classes de solo, na qual, foi constatado que na área após a cota 360m apenas era encontrada a classe NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO.

Como não se dispunha de imagens de alta resolução, foi utilizado o Google Earth, como forma de visualização mais detalhada da área, sendo possível a sobreposição temas e a criação de novos temas no software e desta forma aproveitando o recurso disponível de livre acesso na internet.

Fez-se a delimitação da área urbana através da sobreposição dos temas no Google Earth devido o maior detalhamento (melhor resolução espacial), como isso uma melhor facilidade na identificação do alvo.

A partir da sobreposição dos layers: pontos de perfis e tradagens, curvas de nível e classes de relevo apoiado ao mapa de geologia ambos em formato digital foi possível geração de um novo mapa com o detalhamento na escala 1:100.000 (Figura 2 (a)).

#### 4.2 Comparação entre Mapas de Solos

A comparação entre o mapa de solos elaborado neste estudo e o mapa de solos da mesma região elaborado no contexto do projeto ZAPE (SILVA *et al.*, 2001) pode ser vista na Figura 2. Os resultados mostram que existem algumas unidades de mapeamento delimitadas de forma semelhante e outras de forma relativamente diferentes.

Nas áreas mais elevadas onde predominam os solos mais arenosos são as que guardam mais semelhança entre os mapas. Por outro lado nas áreas de cotas mais baixas, é possível notar uma maior diferenciação entre os mapas de solos. No mapa do presente estudo Figura 2 (a) foi possível identificar áreas de solos com maior potencial para uso agrícola assinaladas no mapa com o código LVA. Constatou-se também, que áreas delimitadas no mapa da Figura 2 (b) com predomínio de Vertissolos (V7), em verdade compreende maior proporção de solos arenosos conforme mostrado na Figura 2 (a) com o código RQ2. Tais diferenças são explicadas principalmente, em função do uso das geotecnologias utilizadas no presente estudo.

As áreas de com ocorrência marcante de afloramentos rochosos foram delimitadas com maior precisão cartográfica em relação ao mapa de solos do ZAPE (SILVA *et al.*, 2001), em função do uso das imagens de alta resolução do Google Earth. Essas áreas estão assinaladas no mapa de solos com os códigos RQo5, RQo6 e RLe (Figura (a)).

O tempo de realização do mapeamento da mesma área foi obtido em Araújo filho *et al.* (2000), no projeto do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE (Silva *et al.*, 2001)) e levou-se treze dias de trabalho de campo, enquanto que na abordagem desenvolvida neste artigo obteve-se o mesmo levantamento em quatro dias. A diferença foi, portanto, de nove dias entre os mapeamentos. Ou seja, 69,23% do tempo para o trabalho de campo economizado utilizando a metodologia aqui apresentada.

Como os custos são diretamente proporcionais ao tempo, esta estratégia metodológica apresentada reduziu os custos no mesmo percentual.

#### 4.3 Fatores de redução de tempo

1 - Disponibilidade de material básico de boa qualidade: Mapa planialtimétrico 1:100.000 (DSG); Mapa planialtimétrico escala 1:5.000 (Codevasf); Imagem de Landsat-5; Imagens de Alta resolução observadas pelo Google Earth.

2 - Disponibilidade de mapas de solos: Escala 1:100.000 de toda área; Escala 1:5.000 de áreas localizadas.

3- Disponibilidade de dados analíticos de solos (44 perfis)

4- Área com fácil acesso (várias estradas para veículos diversos).

5 - Área com predominância de solos arenosos de fácil mapeamento.

6- Boa correlação da geologia e do relevo com os solos da região.

A Tabela 1 apresenta os cálculos relativos à relação custo e tempo para o levantamento e geração do mapa pelo ZAPE. Isto pode ser visto pelo quilometro quadrado de mapeamento. Área de referência: 3.025 km<sup>2</sup> referente a uma folha 1:100.000.

A Figura 2 mostra os mapas de solo para os dois levantamentos e tem-se demarcado em elipses vermelhas as principais áreas com modificações. Observa-se que existem modificações importantes quanto ao mapeamento, incluindo novas manchas, novos contornos e redefinição de solos para determinadas áreas.

Tabela 1: Relação custo e tempo para execução dos trabalhos de campo

Mapeamento tradicional			
Orçamento para execução dos trabalhos de campo			
Serviços:	Valor Unitário R\$	Necessidades para área	Valor Total R\$
Transporte	100,00	48 dias	4.800,00
Combustível	2,65	1200 L	3180,00
Hospedagem	120,00	96 diárias	1.1520,00
Alimentação	100,00	48 dias	4.800,00
Trabalhador braçal	60,00	48 dias	2.880,00
Serviço téc. de pedologia:			
Pedólogo Senior	150,00	48 dias	7.200,00
Pedólogo Auxiliar	75,00	48 dias	3.600,00
		<b>Total</b>	<b>37.980,00</b>
		<b>Custo por km<sup>2</sup></b>	<b>12,55</b>

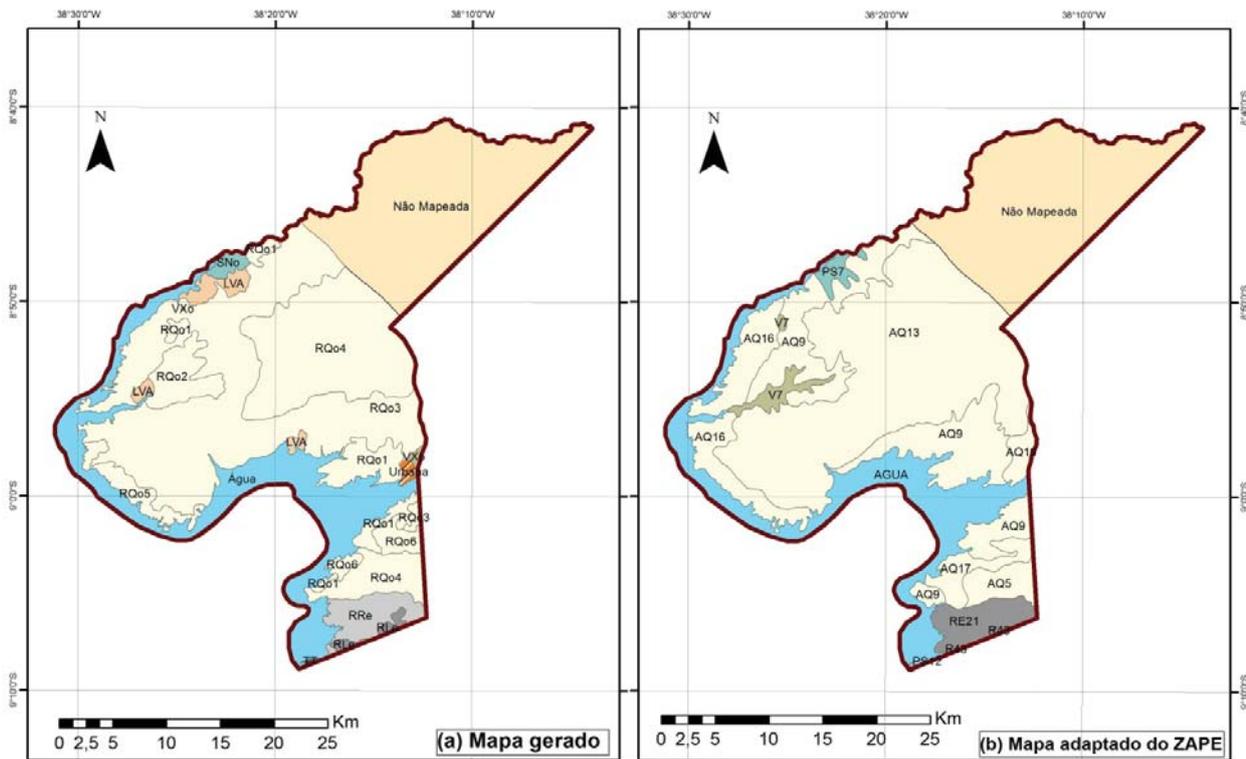


Fig. 2 - Comparação entre os mapas de solo 1:100000 (elipses em vermelho). (a) Mapa gerado com a metodologia. (b) Mapa obtido do ZAPE (SILVA *et al.*, 2001).

As legendas da Figura 2 do mapa de solos gerado e do mapa de solos do ZAPE (área de estudo no município de Petrolândia) são apresentadas a seguir.

**a) LEGENDA DE SOLOS DO MAPA OBTIDO**

**LVA** – Ass.: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico típico textura média + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico e típico, ambos fase relevo plano e suave ondulado (60% + 40%).  
Inclusões: LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico.  
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico.

**SNo** - Ass.: Gr. Indif. PLANOSSOLO (NÁTRICO Órtico e HÁPLICO Eutrófico) arênico e típico textura arenosa/média a argilosa, fase epipedregosa e não pedregosa relevo plano e suave ondulado.  
Inclusões: NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico.  
LUVISSOLO CRÔMICO Órtico solódico e típico.  
CAMBISSOLO HÁPLICO Ta e Tb Eutrófico léptico e típico, fase pedregosa e não pedregosa.

**VXo** – VERTISSOLO HÁPLICO Órtico solódico e típico + CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico vertissólico + PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico e típico, todos fase erodida epipedregosa relevo plano e suave ondulado (50% + 30% + 20%).  
Inclusões: LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vertissólico e típico.  
CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico vertissólico com carbonato.  
VERTISSOLO HÁPLICO Órtico solódico com carbonato.

**RQo1** - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico e típico, fase relevo plano e suave ondulado.  
Inclusão: PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico e típico fase epipedregosa.  
VERTISSOLO HÁPLICO Órtico solódico e típico.  
LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico.

**RQo2** - Ass.: NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico e típico + CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico vertissólico e típico textura argilosa, ambos fase relevo plano e suave ondulado (60% + 40%).

Inclusões: PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico e típico fase epipedregosa.

LUVISSOLO CRÔMICO Órtico solódico e típico.

LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico típico.

**RQo3** - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, fase relevo suave ondulado e plano.

Inclusões: CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico vertissólico.

PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico e típico.

LUVISSOLO CRÔMICO Órtico solódico e típico.

**RQo4** - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, fase de relevo suave ondulado a ondulado.

Inclusões: Afloramento de rocha(Arenitos).

Solos pedregosos indiscriminados.

**RQo5** - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico e léptico fase relevo suave ondulado e plano + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico e Eutrófico típico e fragmentário textura arenosa e média fase relevo ondulado e forte ondulado substrato arenitos + AFLORAMENTOS DE ROCHA (50% + 30% +20%).

Inclusões: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico léptico e típico, fase pedregosa e não pedregosa.

CAMBISSOLO HÁPLICO Ta e Tb Eutrófico léptico e típico, fase pedregosa e não pedregosa.

LUVISSOLO CRÔMICO Órtico solódico e típico.

**RQo6** - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico e léptico fase relevo suave ondulado e plano + AFLORAMENTOS DE ROCHA + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico e Eutrófico típico e fragmentário textura arenosa e média fase relevo ondulado e suave ondulado substrato arenitos (40% + 40% +20%).

Inclusões: LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vertissólico e típico.

PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico solódico e típico.

CAMBISSOLO HÁPLICO Ta e Tb Eutrófico léptico e típico.

**RRe** – NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico e Distrófico solódico e típico textura arenosa + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, ambos fase relevo plano suave ondulado + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico e Distrófico fragmentário e típico fase relevo suave ondulado e ondulado substrato arenitos, todos fase não rochosa e rochosa.

Inclusões: NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico e Distrófico léptico solódico.

NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico léptico.

**RLe** – NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico e Distrófico típico e fragmentário textura arenosa e média fase substrato arenitos, gnaisses e granitos relevo forte ondulado e motanhoso + AFLORAMENTOS DE ROCHA (60%+40%).

Inclusões: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico léptico e lítico.

CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico léptico e lítico.

**TT** – TIPO DE TERRENO: Área de corte e aterro da parede da barragem de Itaparica.

**b) LEGENDA DE SOLOS DO ZAPE (Silva, et al., 2001)**

**PS7** - Ass.: PLANOSSOLO e SOLONETZ SOLODIZADO + SOLOS LITÓLICOS EUT. tex. méd. com casc. a cascal. subs. gn., gr. e xt. + BRUNO NÃO CÁLCICO vér. e não vér.; todos A fr. e mod. caat. hiper. rel. s.ond. e pl. (45-30-25 %).

**PS12** - Ass.: PLANOSSOLO e SOLONETZ SOLODIZADO + SOLOS LITÓLICOS EUT. tex. are. e méd. com casc. a cascal. subs. gr. e gn. + REGOSSOLO EUT. e DIST. soló. e não soló.; todos A fr. e mod. caat. hiper. rel. s.ond. e pl. + AFLORAMENTOS DE ROCHA. (40-20-20-20 %).

**V7**-Ass.: VERTISSOLO erod. + CAMBISSOLO EUT. vér. e não vér. subs. folh., argil. e sil., ambos tex. arg. epiped. + PLANOSSOLO e SOLONETZ SOLODIZADO A espesso; todos A mod. caat. hiper. rel. pl. e s.ond. (50-30- 20%).

**AQ5** - AREIAS QUARTZOSAS A fr. e mod. caat. hipo. e/ou hiper. rel. s.ond. e ond.

**AQ9** - Ass.: AREIAS QUARTZOSAS lat. e não lat. + CAMBISSOLO DIST. e EUT. lat. tex. méd. subs. aren.+PLANOSSOLO e SOLONETZ SOLODIZADO A espesso; todos A fr. e mod. caat. hiper. rel. pl. e s.ond.(60-20-20 %).

**AQ10** - Ass.: AREIAS QUARTZOSAS lat. e não lat. rel. s.ond. e pl. + PLANOSSOLO e OLONETZ SOLODIZADO A espesso, ambos rel. s. ond. e pl. + VERTISSOLO e CAMBISSOLO EUT. vér. soló e não soló. tex. arg. epiped. rel. pl. e s.ond. subs. folh., argil. e sil.; todos A fr. e mod. caat. hiper. (60-20-20 %).

**AQ13** - Ass.: AREIAS QUARTZOSAS rel. pl. e s.ond. + AREIAS QUARTZOSAS rel. s.ond. e ond., ambas A fr. e mod. caat. hiper. (70-30 %).

**AQ16** - Ass.: AREIAS QUARTZOSAS rel. pl. e s.ond. + SOLOS LITÓLICOS DIST. tex. are. e méd. com casc. a cascal. rel. s.ond. a f.ond. subs. aren., ambos A fr. e mod. caat. hiper. + AFLORAMENTOS DE ROCHA. (60-20-20 %).

**AQ17** - Ass.: AREIAS QUARTZOSAS rel. s.ond. e ond. + SOLOS LITÓLICOS DIST. tex. are. e méd. com casc. a cascal. rel. s.ond. a f.ond. subs. aren., ambos A fr. e mod. caat. hiper. + AFLORAMENTOS DE ROCHA. (50-30-20 %).

**RE21** - Ass.: REGOSSOLO EUT. e DIST. soló. e não soló. rel. pl. e s.ond. + AREIAS QUARTZOSAS rel. s.ond. e ond. + SOLOS LITÓLICOS EUT. tex. are. e méd. com casc. a cascal. rel. s.ond. e ond. subs. gn., gr. e aren.; todos A fr. e mod. caat. hipo. e/ou hiper. (50-30-20 %).

**R43** - Ass.: SOLOS LITÓLICOS DIST. e EUT. tex. are. e méd. subs. aren. + SOLOS LITÓLICOS EUT. tex. méd. com casc. a cascal. subs. gr. e gn.; ambos A mod. caat. hipo. e/ou hiper. rel. f.ond. e mont. + AFLORAMENTOS DE ROCHA. (40-30-30 %).

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou que o auxílio das imagens de sensoriamento remoto georreferenciadas aliadas a algumas técnicas de geoprocessamento, tais como, a extração

de: Curvas de nível; MDT e Uso e Cobertura das Terras, podem auxiliar no mapeamento de solos. Além disto, dados de campo, a geologia e as fases de relevo também foram importantes no refinamento desta estratégia metodológica para o mapeamento de solos na Escala 1:100.000.

Comparando os resultados do levantamento de campo dos mapeamentos de solos da área de estudo situada no município de Petrolândia, constatou-se que foi possível reduzir tanto o tempo, quanto os custos financeiros em cerca de 69,93%.

Os principais fatores que implicaram na redução de tempo e custo foram: (a) acessibilidade às geotecnologias; (b) as facilidades de trabalhos de campo; (c) padronização do sistema de referência possibilitando a sobreposição e outros tipos de análise para os diversos *layers* utilizados (d) e o acervo de informação sobre os solos.

Houve mudanças significativas na forma e no número de polígonos componentes do mapa de solos, nas classes de solos mapeadas e nas suas respectivas áreas.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio dado pelo DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA (DECA) da UFPE (Depto. de Engenharia Cartográfica), ao mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação e a EMBRAPA Solos UEP Nordeste. Também agradecemos ao projeto INNOVATE (*Innovate Interplay between the multiple use of water reservoirs via innovative coupling of substance cycles in aquatic and terrestrial ecosystems*) parceiros brasileiros: UFPE, UFRPE, EMBRAPA, IFPE, IPA e do lado da Alemanha os parceiros: TUB, UHOH, IGB, PIK, HTWD.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, C. e AFONSO, T. Cartografia de solos à escala da exploração agrícola: aplicação a um ensaio de olival. **Revista de Ciências Agrárias**, jan. 2007, vol.30, no.1, p.17-32. ISSN 0871-018X

ALMEIDA C. G. F. DE e ESQUERDO J. C. D. M. Metodologia de extração automática para análise da atualização da rede de drenagem do Estado do Mato Grosso do Sul. **VI Mostra de estagiários e bolsistas 2010** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2010. p. 19-22

- ARAÚJO FILHO, J. C. de; BURGOS, N.; LOPES, O. F.; SILVA, F. H. B. B. da; MEDEIROS, L. A. R.; MÉLO FILHO, H. F. R. de; PARAHYBA, R. B. V.; CAVALCANTI, A. C.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, F. B. R. e; LEITE, A. P.; SANTOS, J. C. P. dos; SOUSA NETO, N. C.; SILVA, A. B. da; LUZ, L. R. Q. P. da; LIMA, P. C.; REIS, R. M. G.; BARROS, A. H. C. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco**. Recife: Embrapa Solos - UEP Recife; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 252 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, 11). 1 CD-ROM.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. Recife, 1973. 2 v. (DNPEA-DPP-DDP. Boletim Técnico, 26; SUDENE-DRN. Série Pedologia, 14).
- BURROUGH, P. e MCDONNELL, R. 1998. **Principles of Geographical Information Systems**. Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford University Press. Oxford. 330p.
- CARVALHO, C. C. N.; NUNES, F. C.; ANTUNES, M. A. H. Histórico do levantamento de solos no Brasil: da industrialização brasileira à era da informação. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2013. Nº 65/5: 997-1013.
- DEMATTÊ, J. A. M., GENÚ A. M., FIORIO, P. R., ORTIZ, J. L., MAZZA, J. A. E LEONARDO, H. C. L. Comparação entre mapas de solos obtidos por sensoriamento remoto espectral e pelo método convencional. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1219-1229, dez. 2004.
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Procedimentos Normativos de Levantamentos Pedológicos**. Brasília: Embrapa - SPI, 1995. 116p.
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E., ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. (2007), The Shuttle Radar Topography Mission, **Reviews of Geophysics**, 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. 104 p. (Manuais técnico sem geociências, n. 4).
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 316 p. (Manuais técnico sem geociências, n. 4). 1 CD-ROM.
- JENNY, H. **Factors of soil formation, a system of quantitative pedology**. McGraw- Hill: New York, 1941. 281 p.
- JENSEN, J. R., **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. / Jonh R. Jensen; Tradução José Carlos Neves Epiphanyo *et al.*. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 672 p
- LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande - MS: Ed. UNIDERP, 2006, 908p.
- MENDONÇA-SANTOS, M. DE L. SANTOS, H. G. DOS. – **Mapeamento digital de classes e atributos de solos: métodos, paradigmas e novas técnicas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 19p. - (Embrapa Solos. Documentos; n. 55) ISSN 1517-2627.
- PARAHYBA, R. da B. V.; Silva, F.H. B. B. da; Silva, F. B. R. e; Araújo Filho, J. C. de; Lopes, P. R. C. **Diagnóstico Agroambiental do Município de Petrolândia - Estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro, 2004. 25p.
- ROVANI, F. F. M.; SARTORI, M. G. B.; CASSOL, R. Zoneamento ecológico-econômico de Barão de Cotegipe, RS: potencialidade para o ordenamento do território. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2014. Nº 66/1: 137-151

- SILVA, F.B.R. E; SANTOS, J.C.P; SILVA, A.B.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.H.B.B.; BURGOS, N.; PARAHYBA, R. DA B.V.; OLIVEIRANETO, M.B.; SOUSANETO, N.C.; ARAÚJO FILHO, J.C.; LOPES, O.F.; LUZ, L.R.P.P.; LEITE, A.P.; SOUZA, L.G.M.C.; SILVA, C.P.; VAREJÃO-SILVA, M.A.; BARROS, A.H.C. **Zoneamento agroecológico do Estado de Pernambuco**. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária), 2001. CD-Rom. (Embrapa Solos. Documentos n. 35).
- TEMÓTEO, J. W. C. **Base municipal de informações das águas subterrâneas: MUNICÍPIOS DE PETROLÂNDIA E JATOBÁ - PE**. RECIFE: CPRM, 2000. 18 P. (CPRM. SÉRIE HIDROGEOLOGIA. INFORMAÇÕES BÁSICAS, 25).
- VALERIANO, M. M. e ROSSETTI, D. F. **TOPODATA**: seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/TDkrig.pdf>>. Acesso em 08 Nov. 2010.