

INTEGRAÇÃO E ATUALIZAÇÃO DE DADOS DE USO/COBERTURA DA TERRA DO ESTADO DO CEARÁ PARA UTILIZAÇÃO EM MODELOS METEOROLÓGICOS

Rita M.S.P. Vieira¹, Vitor C. Carvalho², Regina C. S. Alvalá¹, Thiago A. Salles¹,
Eliana M. K. Mello², Solange S. Souza¹

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo elaborar um mapa atualizado da cobertura vegetal, incluindo os usos da terra, do Estado do Ceará, para utilização em modelagem meteorológica. Para isto, utilizaram-se dados digitais de mosaico de imagens TM Landsat 7 e os mapas digitais de vegetação do Estado publicados pelo Projeto RADAMBRASIL (escalas 1:1.000.000). Estes dados foram integrados num sistema de classificação para compatibilização com os tipos de vegetação considerados no modelo de superfície “Simplified Simple Biosphere – SSiB”, gerando um mapa temático. Para a classificação do mosaico de imagens utilizou-se um procedimento misto, combinando métodos de segmentação e de classificação, interpretação visual e re-amostragem de pixels. Como resultado, obteve-se um mapa da cobertura vegetal do Estado do Ceará com resolução de 1 km e seis classes temáticas. O mapa obtido será agregado ao dos demais Estados da região Nordeste do Brasil, atualmente em elaboração, para utilização em simulação climática regional, visando melhorias na previsão sazonal do clima.

Palavras-chaves: vegetação, modelagem climática, sensoriamento remoto, Nordeste.

ABSTRACT: The objective of this work is to generate updated maps of vegetation cover including changes in land use of the State of Ceará, to be used in meteorological modeling. Landsat 7 TM mosaic data and digital vegetation maps of the State published by project RADAMBRASIL (1:1.000.000 scale) were used. These data have been integrated into a classification system for compatibility with the types of vegetation determined by the “Simplified Simple Biosphere – SSiB” surface model, generating a thematic map. For the classification of the mosaic a mixed procedure combining methods of segmentation and classification, visual interpretation and re-sampling of pixels were used. The result was a map of the vegetation cover of the State of Ceará, at 1 Km resolution, which included six thematic classes. The map will be aggregated with the ones under development for the other States of Northeast Brazil, for use in regional climate simulation. Considerable improvement of the seasonal climate forecast is expected.

Keywords: vegetation, climatic modeling, remote sensing, Northeast Brazil.

INTRODUÇÃO

Atualmente, os esquemas de transferência solo-planta-atmosfera (SVATs) acoplados aos modelos meteorológicos consideram uma descrição das interações entre a superfície continental e a atmosfera; outrossim, a representação inadequada ou incompleta das características da superfície pode ter um impacto negativo sobre a previsão de tempo e estudos climáticos. Assim, esforços têm sido despendidos no intuito de se buscar uma representação mais realista da vegetação (Wilson e

¹ CPTEC-INPE. Av. dos Astronautas, 1758 – São José dos Campos. Tel.: (12) 3945 6644 - Fax: (12) 3945 6666
rmarcia@cptec.inpe.br, regina@cptec.inpe.br, thiagos@cptec.inpe.br, solange@cptec.inpe.br

² LTID-INPE. Av. dos Astronautas, 1758 – São José dos Campos. Tel.: (12) 3945 6442 - Fax: (12) 3945 6468
vitor@ltid.inpe.br, kalil@ltid.inpe.br

Henderson-Sellers, 1985; Hall et al., 1995; Sud et al. 1996; DeFries et al., 1999; Champeaux et al., 2000), bem como em aprimorar o conhecimento dos detalhes regionais dos diversos processos na atmosfera e suas interações com o ciclo hidrológico.

Os mapas de vegetação utilizados nos modelos de superfície têm sido produzidos a partir de compilações de várias fontes de dados, tais como Atlas, mapas locais e outros registros (Defries e Townshend, 1994), a fim de prover condições de contorno para os modelos climáticos (Matthews, 1983; Wilson e Henderson-Sellers, 1985) e, também, para os modelos de previsão numérica de tempo. Contudo, as séries de dados apresentam diversas restrições. Primeiro, a informação vem de diversas fontes, o que dificulta a compatibilização (Townshend et al., 1991); segundo, os mapas não podem ser freqüentemente atualizados e; finalmente, a resolução de mapas globais convencionais é grosseira para atender os modelos atmosféricos mais avançados. Na atualidade, em aplicações meteorológicas necessita-se de uma grande gama de resoluções, cuja tendência tem levado à especificação de modelos com resolução espacial mais alta e, em alguns casos, tem sido usados modelos aninhados ou sistemas de coordenadas estendidas, os quais demandam descrição detalhada da superfície. Estas considerações justificam o uso de técnicas de mapeamento alternativo da vegetação baseadas em observações do espaço, as quais, em princípio, têm o potencial para atender as exigências no que se refere à homogeneidade e resolução espacial e temporal.

Neste contexto, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) vem realizando esforços no sentido de atualizar a representação da vegetação em todos os seus modelos numéricos. Para isto, mapas digitais de vegetação disponíveis têm sido utilizados para a determinação do tipo de vegetação predominante em dada quadrícula dos vários modelos. Considerando que há várias resoluções envolvidas e que grades de alta resolução deverão ser utilizadas para diversos propósitos, faz-se necessário levantar as mudanças dos usos do solo e da cobertura da vegetação. Num primeiro esforço, elaborou-se um mapa de vegetação da região da Amazônia Legal, resolução de 1 km, obtido a partir de dados digitais da vegetação do Projeto RADAM-IBGE, dados temáticos do desflorestamento gerados pelo Programa Amazônia (monitoramento do desflorestamento da Amazônia Legal –PRODES) e imagens TM Landsat (Sestini et al., 2002). Obteve-se, assim, um mapa de representação mais realista da vegetação, o qual foi implementado no modelo simplificado de superfície SSiB e acoplado aos modelos global (MCGA) e regional (ETA) do CPTEC para avaliação das consequências climáticas decorrentes das mudanças na cobertura vegetal da região Amazônica (Correia, 2005).

Como continuação deste esforço, pretende-se atualizar a representação da vegetação da região do Nordeste do Brasil, mais as partes norte dos Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, integrantes da região de abrangência da antiga Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). A região Nordeste do Brasil é bastante conhecida pela ocorrência de secas fortes e

anômalas (Hastenrath, 1990; Nimer, 1989), as quais têm fortes consequências sociais e econômicas. A precipitação média anual concentrada no trimestre março-maio é inferior a 800 mm; entretanto, existe uma ampla região onde ela é inferior a 500 mm. Climaticamente, a região NE caracteriza-se por apresentar temperaturas elevadas o ano todo, com amplitudes térmicas máximas em torno de 6°C. Além disso, um problema ambiental que ocorre em áreas da região NE do Brasil é a desertificação, caracterizada pela degradação dos solos, da vegetação e dos recursos hídricos em regiões áridas e semi-áridas, as quais são decorrentes de variações climáticas e/ou atividades humanas (Rodrigues et al., 1992). A zona semi-árida é definida como aquela cuja precipitação anual é inferior a 800 mm, sendo as zonas com precipitação inferior a 500 mm as mais susceptíveis à desertificação. Conforme salientaram Souza et al. (2001), considerando o grande impacto social (a zona do semi-árido apresenta o mais baixo Índice de Desenvolvimento Humano do país) e econômico (em razão do montante de recursos alocados nas ações de combate às secas e às enchentes), a previsão sazonal constitui um elemento chave no planejamento governamental. Neste escopo, no presente trabalho apresenta-se o mapa de vegetação do Estado do Ceará, o qual foi definido como o primeiro Estado para a obtenção do mapa atualizado, devido ao fato deste ter padrões de uso/cobertura que se repetem para o resto do semi-árido. Com a representação mais detalhada e atualizada da vegetação da região do semi-árido e com o modelo de área limitada ETA, está sendo estudada as possíveis mudanças do balanço de energia à superfície e as circulações locais e regionais sobre o Nordeste decorrentes das mudanças dos usos da terra e, de modo mais geral, para verificação posterior do impacto da melhoria da representação da vegetação nos modelos de previsão de tempo, clima e água no solo para a região.

ÁREA DE ESTUDO

A área de 148.016 km² (incluindo a massa d'água) do Estado do Ceará está localizada entre os paralelos 2°46' S a 7°51' S e os meridianos de 37°12' W a 41°28' W. Possui uma faixa litorânea com extensão de 573 km ou 2,48% do litoral brasileiro (Atlas Ceará, 1997).

Em função das suas características ambientais, o Estado do Ceará pode ser dividido em três faixas tradicionais: litoral, sertão e serras. A faixa litorânea caracteriza-se por apresentar clima sub-úmido, precipitação média variando de 1000 a 1500 mm anuais, predomínio de solos podzólicos e areias quartzosas originalmente cobertos por vegetações de restinga e mangues, explorados por um sistema de cultivo misto de plantas perenes e anuais como milho, feijão, mandioca, entre cajueiros, cana de açúcar e bananeira. O sertão, com clima semi-árido, cuja precipitação varia de 550 a 1000 mm anuais, é dominado pelos solos brunos-não-cálcicos, planossolos, podzólicos e regossolos, originalmente cobertos por vegetação de caatinga e explorados particularmente por um sistema de cultivo de subsistência, onde se destacam o cultivo de milho e feijão associado ao

algodão e a pecuária bovina mista de carne e leite. Nas serras com climas úmidos, com precipitação superior a 1500 mm anuais, predominam os solos latossólicos originalmente cobertos por florestas e explorados sobretudo pelo cultivo de hortícolas, como banana, chuchu, cenoura e tomate. Nas áreas irrigadas predomina o cultivo de arroz, feijão, capim e cana de açúcar (Namekata, 1997).

Tradicionalmente o Estado tem-se caracterizado pela grande mobilidade de sua população devida às crises agrícolas, como a do algodão, e de estiagens cíclicas. Nos últimos anos vem-se observando, tanto para o Estado do Ceará como para toda a região Nordeste, uma urbanização alta e crescente. Particularmente, ao longo do período de 1980-1996 o índice de urbanização do Estado do Ceará manteve-se à frente do restante do Nordeste (Atlas do Ceará, 1997). Em consequência do grande processo de antropização, que vem ocorrendo no Estado, a sua cobertura vegetal natural vem-se alterando, ao longo dos anos, para extensas áreas de agropecuária.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada para a elaboração do mapa de vegetação do Estado do Ceará seguiu aquela adotada para a região da Amazônia Legal (Sestini et al. 2002), cujas adaptações necessárias são sumarizadas a seguir:

- A. Dados e Sistema Básicos:** Como produto principal de sensoriamento remoto utilizou-se um mosaico composto por cenas de imagens do satélite TM-Landsat 7, dos anos de 1999 a 2000, com 5% de cobertura de nuvens. Esse mosaico está na resolução espacial de 30 m e projeção Policônica, datum Sad/69. O mosaico foi inserido em um banco de dados criado no Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas – SPRING (Câmara et al., 1996).
- B. Dados Auxiliares:** Para auxiliar na interpretação das imagens foram utilizados os mapas de vegetação do Projeto RADAM (RADAMBRASIL, 1981), volumes 21 e 23, escala 1:1.000.000. Devido à complexidade da área de estudo, que apresenta tipos diferenciados de vegetação, mas resposta espectral similar, optou-se por utilizar os mapas do projeto RADAM por estes apresentarem maior detalhamento da vegetação.
- C. Compatibilização da Legenda:** Nesta etapa, realizou-se a compatibilização das classes de vegetação dos mapas do Projeto RADAMBRASIL mencionados com aquelas consideradas pelo modelo SSiB (Tabela 1). Como as classes do modelo SSiB são restritas, sobretudo para a vegetação de caatinga, fez-se necessário fazer adaptações para algumas das classes interpretadas, sendo diferentes alvos agrupados em uma única categoria, embora nem sempre seja a melhor solução para este tipo de vegetação. Além disso, o mapa elaborado inclui também as áreas urbanas, úteis, por exemplo, para pesquisas em modelagem de dispersão de poluentes e áreas com formações rochosas e com dunas de areias, ambas consideradas como

solo nu, correspondente ao tipo 11 no modelo SSiB. A classe agropecuária, bioma tipo 12, inclui culturas em diferentes fases de crescimento e hábitos de vida (culturas herbáceas, arbustivas e arbóreas).

Tabela 1 - Classes de vegetação consideradas no presente projeto e suas correspondências com as classes do projeto RADAM e compatibilização com as do modelo SSiB.

Projeto PROVEG-NE	RADAM	SSiB
1. Floresta Perene	Formações pioneiras (Pma, Pfm, Pmb, Pmh) e Floresta ombrófila (Foa Vsp)	1. árvores latifoliadas perenes (florestas tropicais)
2. Floresta Decídua	Floresta estacional semidecidual (Fes, Vss e Vsp)	2. árvores latifoliadas/aciculada (florestas mistas)
3. Savana Estépica (caatinga)	Caa_eds, Caa_edp, Caa_eas, Caa_eap, Caa_epp e Eps).	8. arbustos latifoliados com coberturas herbáceas
4. Savana (cerrado)	(Sd, Sas)	6. árvores latifoliadas com coberturas arbustiva/herbácea
5. Agropecuária	Atividades agrícolas (Ac)	12. cultivos
6. Solo Nu	Não mapeado	11. solo exposto
7. Área Urbana	Não mapeado	-
8. Corpos d'água	Não mapeado	13. água

D. Ajuste de polígonos nos mapas do RADAM 1:1.000.000: Devido aos problemas de georreferenciamento existentes nos produtos cartográficos (mapas de vegetação) do Projeto RADAMBRASIL, foram observadas distorções de posicionamento das manchas de cobertura vegetal, quando da superposição destes mapas com o mosaico de imagens de satélite LANDSAT. Para minimizar estes erros e agilizar o processamento dos dados utilizou-se a edição vetorial, implementada no SPRING, para o ajuste dos polígonos temáticos.

E. Recorte dos Mosaicos: Com a finalidade de agilizar o processamento das imagens e garantir uma classificação mais acurada, o mosaico, além de estar recortado pelo limite do Estado, foi recortado por classes correspondentes ao mapa do RADAM, que já estavam compatibilizadas com as do modelo SSiB.

F. Interpretação do mosaico de imagens Landsat e geração do mapa temático e numérico: A imagem resultante foi segmentada utilizando-se os limiares de similaridade 8 e área 30. Foi aplicado o classificador não supervisionado ISOSEG, por regiões, com limiar de aceitação igual a 95%, por separarem mais adequadamente os alvos analisados. Em seguida, selecionaram-se, na imagem, padrões genéricos (arbóreos e arbustivos densos e abertos, áreas cultivadas, etc), sendo criada uma chave de interpretação contendo as classes florestas perenes e decíduas, savanas ou cerrados, caatinga, agropecuária, etc e o correspondente dessas nos mapas do Projeto RADAM e, posteriormente, no do modelo SSiB. O mapa temático atualizado da cobertura vegetal e uso da terra do Estado do Ceará foi re-amostrado para a

resolução de 1 km, re-projetado para Lat/Long datum Sad/69 e convertido para uma grade numérica, através de um programa escrito na Linguagem Espaço-Geográfica (LEGAL). O mapa final de vegetação foi incorporado ao modelo de superfície SSiB, o qual está acoplado aos modelos global e regional do CPTEC.

RESULTADOS

A Figura 1 apresenta o mapa atualizado de vegetação do Estado do Ceará, com resolução de 1 km.

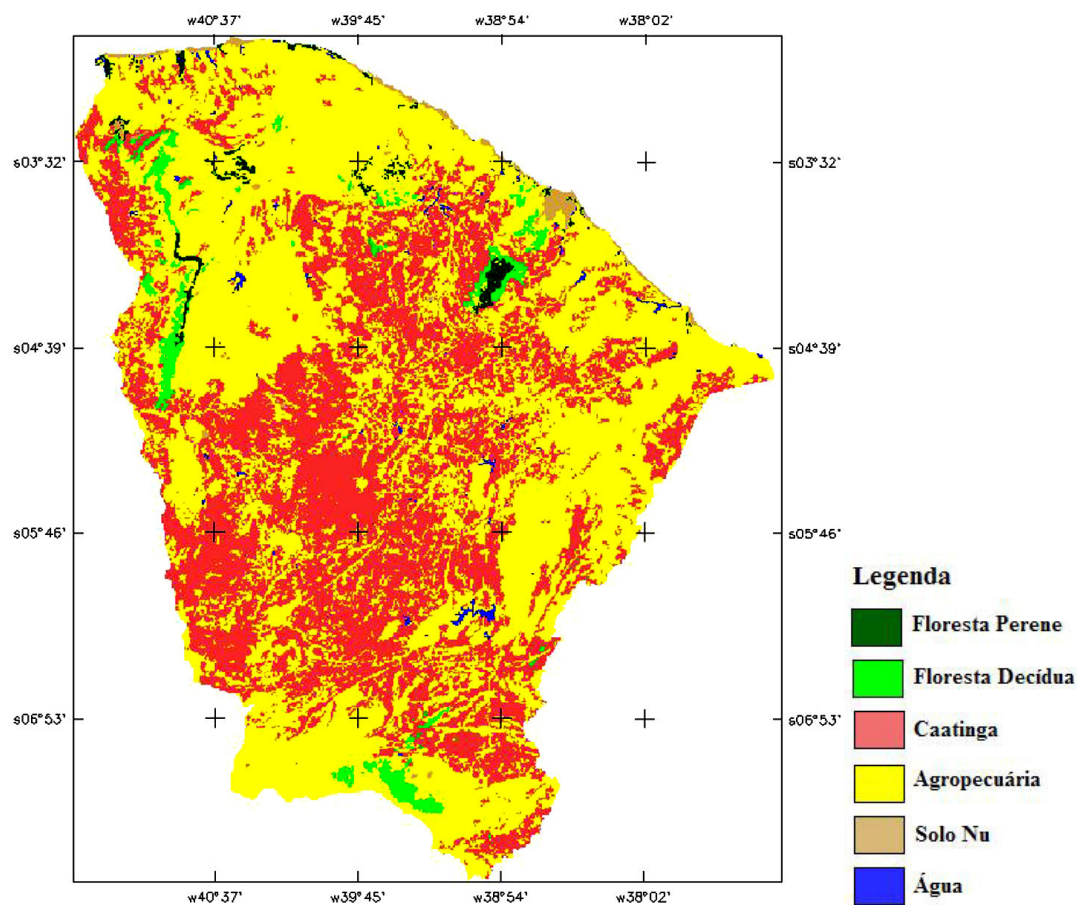


Fig. 1 - Mapa de vegetação do Estado do Ceará (resolução de 1 km).

Como pode ser observado na Figura 1, o mapa apresenta extensas áreas com atividades agropecuárias. Partes das áreas agrícolas podem corresponder a áreas já em processo de desertificação, não mais cultivada, as quais foram classificadas como de agropecuária. Cabe também salientar que muitas áreas de caatinga podem ter pastos extensivos, os quais poderiam, portanto, ser incluídos na classe agropecuária; entretanto, por dificuldades de identificação na interpretação visual da imagem estes foram associados à vegetação nativa (caatinga). Ressalta-se, ainda, que a cobertura de nuvens concentradas em algumas áreas, apesar do baixo percentual total

de nuvens do mosaico (5%), prejudicou a identificação dos tipos de vegetação em algumas partes dele, sendo, nestes casos, mantidas as informações contidas nos mapas do Projeto RADAMBRASIL. Por outro lado, as áreas de contatos (tensão ecológica) foram identificadas nas imagens e mapeadas. Estas áreas são definidas como aquelas que combinam dois ou mais tipos de cobertura vegetal. Quanto às áreas de solo nu e água, mapearam-se somente aquelas mais significativas, ignorando-se, em alguns casos, pequenas manchas ou cobertura de vegetação porventura existente nos seus polígonos.

A Figura 2 apresenta os percentuais de tipos de cobertura e usos da terra dominantes no estado do Ceará. Observa-se que 56% da área do Estado estão sendo ocupadas por atividades antrópicas (incluindo áreas de pastagens, diversos tipos de agricultura), 42% correspondem às vegetações nativas, como caatinga, florestas perene e decídua, e 2% representam água e solo nu.

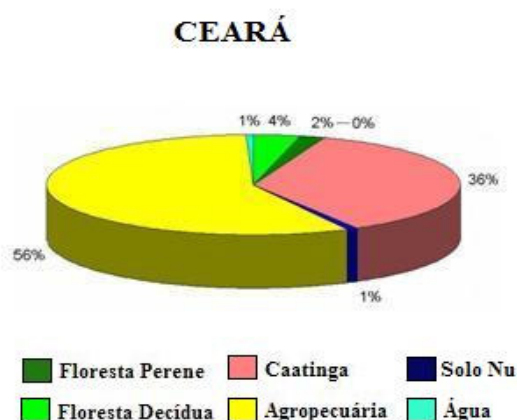


Fig. 2 - Percentual de vegetação das classes consideradas pelo modelo SSiB

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Simulações preliminares com o modelo meteorológico regional ETA/SSiB, considerando o mapa atualizado de vegetação obtido e aquele outrora utilizado no CPTEC, indicam impactos significativos no clima regional. Outrossim, o mapa atualizado da cobertura vegetal de toda a região do semi-árido a ser obtido deverá ser um importante instrumento para utilização em simulações de modelos numéricos de clima e de tempo, bem como para modelagem de dispersão de poluentes, e outros fins, uma vez que representará de forma mais realista a variabilidade espacial da vegetação de uma importante região do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atlas Ceará 1997. Mapa Geral, Fortaleza: IPLANCE, 1997. 1 CD-ROM.
- Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensig and GIS by objected-oriented data modelling. *J. Computers & Graphics*, 20(3), 395-403, 1996.
- Correia, F.W.S. Modelagem do impacto de modificações da cobertura vegetal amazônica no clima regional. Tese de Doutorado em Meteorologia. São José dos Campos: INPE, 2005. 366p.
- Champeaux, J. L. et al.; AVHRR-derived vegetation mapping over Western Europe for use in numerical weather prediction models. *Int. J. Remote Sens.*, v. 21, n. 6/7, 1183-1199, 2000.
- DeFries, R. S., Townshend, J. R. G. NDVI derived land cover classification at global scales. *Int. J. Remote Sens.*, 15, 3567-3586, 1994.
- DeFries, R. S.; Towshend, J. R. G.; Hansen, M. C. Continuous fields of vegetation characteristics at the global scale at 1 km resolution. *J. Geophys. Res.*, v. 104, n. D14, 16,911-16,923, 1999.
- Hall, F. G.; Towshend, J. R.; Engman, E. T. Status of remote sensing algorithms for estimation of land surface state parameters. *Remote Sens. Environ.*, 51, 138-156, 1995.
- Hastenrath, S. Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Climatol.*, 3, 893-304, 1990.
- Matthews, E. Global vegetation and land use: new high resolution data bases for climate studies. *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 22, 474-487, 1983.
- Namekata, Y. Agricultura. In: Atlas do Ceará 1997, Fortaleza: IPLANCE, 1997. 1 CD-ROM.
- Projeto Radambrasil. Levantamento de Recursos Naturais, 21-23. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 1981.
- Nimer, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, 1989. 421 p.
- Rodrigues, V. Evaluation of desertification scene in the Northeast of Brazil: diagnoses and prospects. In: Impactos de variações climáticas e desenvolvimento sustentável em regiões semi-áridas, Fortaleza-CE, 1992. Special Paper. 30 p.
- Sestini, M. F., Alvalá, R. C. S., Mello, E. M. K. et al. Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos. São José dos Campos, 2002. INPE-8972-RPQ/730.
- Souza, S. S., Tomasella, J., Gracia, M. G., Amorim, M. C., Menezes, P. C. P., Pinto, C. A. M. O programa de monitoramento climático em tempo real na área de atuação da SUDENE-PROCLIMA. *Boletim Soc. Bras. Meteor.*, 25(1), 15-24, 2001.
- Sud, Y. C.; Yang, R.; Walker, G. K. Impact of in situ deforestation in Amazon on the regional climate: general circulation model simulation study. *J. Geophys. Res.*, 101(D3), 7095-7109, 1996.
- Towshend, J. R. G., Justice, C. O., Li, W., gurney, C., McManus, J. Global land cover classification by remote sensing: present capabilities and future possibilities. *Remote Sens. Environ.*, 35, 243-256, 1991.
- Wilson, M. F.; Henderson-Sellers, A. A global archive of land cover and soils data for use in general circulation climate models. *Journal of Climatology*. 1985, v. 5, 119-143.