

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA UTILIZAÇÃO DE UM MAPA ATUAL DE USO E COBERTURA DA TERRA EM MODELAGEM ATMOSFÉRICA

Diego Oliveira de Souza¹, Rita Marcia da Silva Pinto Vieira², Regina Célia dos Santos Alvalá³

¹ Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, SP, Brasil. dsouza@cptec.inpe.br

^{2,3} Centro de Ciências do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil. rita.marcia@cptec.inpe.br, regina.alvala@inpe.br

RESUMO: O conhecimento dos impactos das mudanças nos usos da terra sobre o tempo e clima, tanto no presente quanto no futuro, têm apresentando grande interesse nas pesquisas realizadas atualmente. Muitos estudos mostram que o decorrente desmatamento da região amazônica irá influenciar diretamente o clima futuro, modificando de forma significativa o comportamento da temperatura e precipitação sobre a América do Sul. Neste contexto, a utilização de mapas que representem de forma mais realística os usos da terra torna-se necessária. Sendo assim, o presente trabalho avaliou quais os possíveis impactos na modelagem atmosférica da utilização de um mapa mais atual de vegetação e usos da terra do Brasil. Os resultados obtidos mostraram mudanças praticamente insignificantes nas simulações para o mês de junho de 2008. Notou-se que uma melhor representação dos processos atmosféricos relacionados com a presença de áreas urbanas levaria a simulações mais realísticas. No contexto geral, modificações do balanço de energia em superfície causadas por condições da superfície seriam mais bem observadas em simulações de curto prazo. Mesmo assim, torna-se necessário que mapas representativos das atuais condições de vegetação e usos da terra sejam utilizados na modelagem atmosférica objetivando uma melhoria nos resultados esperados.

Palavras-Chave: Mudanças nos usos da terra, BRAMS, Amazônia

ABSTRACT: The knowledge of the impacts of land use changes on present and future weather and climate, shown great interest in recent studies. Many studies show that the Amazon deforestation will directly affect the future climate, changing significantly the behavior of temperature and precipitation over South America. In this context, the use of maps that represent the more realistic land use becomes necessary. Thus, the present study evaluated the potential impacts of a more current map of vegetation and land use in Brazil on atmospheric modeling. The results showed insignificant changes in the simulations for the month of June 2008. It was noted that a better representation of atmospheric processes related to the presence of urban areas would lead to more realistic simulations. In the general context, changes on the surface energy balance caused by surface conditions would be better observed in short-term simulations. Still, it is necessary that maps representing the current conditions of vegetation and land use are used in atmospheric modeling aimed to improve the results.

Keywords: Land use changes, BRAMS, Amazon

1. Introdução

Segundo o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2001), as influências antropogênicas mais importantes sobre o clima são as emissões de gases de efeito estufa e as mudanças nos usos da terra, como a urbanização e a agricultura. As atividades humanas têm transformado a superfície da terra de forma acelerada. Estas mudanças nos usos da terra podem afetar o clima local, regional e global através da mudança do balanço de energia em superfície e da química atmosférica (Chase et al, 1999; Pielke, 2001).

Com relação às mudanças nos usos da terra no continente sul americano, as atenções têm sido direcionadas ao desmatamento da região amazônica. A floresta amazônica é a maior floresta tropical do mundo, com uma área de aproximadamente 7 milhões de km², na qual se encontram diversas espécies da fauna e flora do planeta. Nos últimos anos, o desmatamento descontrolado desta região levou a perda de 15% de sua área original, aproximadamente 560.000 km² (PRODES/INPE). Grande parte destas mudanças nos usos da terra na região amazônica foi devido à transformação da floresta em pastagem e área de agricultura. Neste contexto, estudos que levem a entender qual a influência destas mudanças sobre o clima presente e futuro tornam-se necessários.

Muitos trabalhos têm sido realizados com o objetivo de estudar as influências das mudanças dos usos da terra sobre o clima presente e futuro de diversas regiões, como por exemplo, estudos observacionais realizados por Gash e Nobre (1997) e numéricos realizados por Costa e Foley (2000), Correia et al (2007), Sampaio et al (2007) e Nobre et al (2009). Neste último trabalho, Nobre et al (2009) estudaram a influência dos cenários extremos de mudanças no uso da terra na região amazônica sobre o clima futuro da América do Sul (AS), mostrando que existirá uma redução na precipitação local (Amazônia), intensificação do fenômeno El Niño e mudanças significativas na precipitação em diversas regiões da AS.

Para uma melhor representação do clima atual e para a realização de previsões de curto prazo mais exatas torna-se necessária a utilização de condições de superfície que se encontrem mais próximas da realidade. Nas últimas décadas os produtos que representam os usos da terra utilizados em algumas simulações de modelagem numérica foram obtidos a partir de expedições exploratórias e de dados cartográficos já ultrapassados. Por volta da metade dos anos 90, o sensoriamento remoto, juntamente com técnicas de geoprocessamento, passou a ser utilizado, o que possibilitou uma série de análises espaço-temporal que auxiliaram na construção de mapas mais representativos das reais condições de vegetação e usos da terra. Estes passaram a ser utilizados na modelagem de tempo e clima através de esquemas de superfície, como, por exemplo, os esquemas SIB (Sellers et al, 1986), SSiB (Xue et al., 1991) e o LEAF (Walko et al, 2000).

Considerando que os mapas de vegetação e usos da terra atualmente utilizados na modelagem meteorológica em grande parte do Brasil já não se encontram tão representativos do estado mais atual observado, este trabalho tem como objetivo avaliar quais os possíveis impactos da utilização de um mapa mais atualizado de vegetação e usos da terra do território brasileiro em modelagem de mesoescala.

2. Metodologia

2.1 Simulações numéricas

Para a realização das simulações numéricas referentes ao estudo proposto, foi utilizado o modelo *Brazilian Regional Modeling System* (BRAMS) em sua versão 4.2. O modelo BRAMS é um modelo atmosférico prognóstico, desenvolvido por pesquisadores da Universidade do Colorado e do Brasil a partir de um modelo de mesoescala e um modelo de nuvens, podendo ser utilizado tanto para a previsão de tempo, como para simulações regionais do clima.

O modelo BRAMS possui como esquema de interação Solo-Vegetação-Atmosfera (SVAT) o modelo LEAF-3 (*Land Ecosystem-Atmosphere Feedback Model* – versão 3), o qual foi desenvolvido na Universidade do Colorado, EUA (Walko et al., 2000). A versão acoplada no modelo BRAMS é uma representação das características de superfície que incluem vegetação, solo, lagos e oceanos, áreas cobertas por neve, e sua interação umas com as outras e com a atmosfera. O esquema LEAF-3 considera 21

(Tabela 1) classes de uso da terra, obtidos através de dados originalmente no formato *Olson Global Ecosystems* (OGE) (Olson, 1994).

Tabela 1 – Classes de uso da terra do BRAMS

Código LEAF	Tipo de usos da terra
0	Oceanos
1	Lagos, rios, cursos de água
2	Glaciar
3	Deserto, solo nu
4	Coníferas sempre-verdes (Evergreen needle leaf tree)
5	Coníferas decíduas (Deciduous needleleaf tree)
6	Decíduas de folhas largas (Deciduous broadleaf tree)
7	Sempre-verdes de folhas largas (Evergreen broadleaf tree)
8	Gramma curta
9	Gramma alta
10	Semi-árido
11	Tundra
12	Arbustos sempre-verde
13	Arbustos decíduos
14	Bosque
15	Cultivos
16	Cultivos irrigados
17	Pântano, brejo
18	Cerrado (Wooded grassland)
19	Urbano, ecossistema construído
20	Sempre-verdes de folhas largas de banhado
21	Urbano intenso

O modelo BRAMS foi integrado no tempo para o período de 720 horas (1 mês), iniciando as 00 UTC do dia 1º de junho de 2008. Neste contexto, foram então realizados dois experimentos numéricos, um utilizando o mapa antigo de vegetação e usos da terra (utilizado atualmente) (EXP1) e outro experimento utilizando um novo mapa (EXP2), ambos com resolução espacial de 1°. Os dados referentes ao antigo mapa são provenientes do *United States Geological Survey* (USGS) e são baseados nos dados do *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) juntamente com os dados do mapa de vegetação do INPE, elaborado pelo projeto PROVEG (2000). A metodologia referente à criação do novo mapa de vegetação e usos da terra utilizado nas simulações é apresentada no item 2.2.

Para as simulações foi criada uma grade que abrange grande parte da AS, com espaçamento horizontal de 20 km (Figuras 1 e 2), considerando 302 pontos nas direções x e y e 36 níveis na vertical atingindo a altura de aproximadamente 20 km. Como condições atmosféricas iniciais e de contorno foram utilizados os dados de análises a cada 6 horas do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), com resolução espacial de 1 km para o período de simulação. Também foram utilizados os dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), com resolução espacial de 0,5° para o mês de simulação e dado de umidade do solo com resolução espacial de 0,25° referente ao dia inicial da simulação. Além disso, foram utilizados dados de características do solo (FAO) e dados de NDVI referentes ao mês e ano de simulação. Como configurações da simulação foram adotadas o esquema GRELL com fechamento GRELL para a parametrização de nuvens e convecção, a parametrização CARMA para representar os efeitos radiativos e a opção de microfísica de nuvens ativada.

2.2 Criação do mapa de vegetação e usos da terra

Primeiramente foi realizada a compatibilização das classes de vegetação do mapa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e das classes do Projeto de Biodiversidade (PROBIO), ano base 2002, do Ministério do Meio Ambiente, com aquelas consideradas pelo modelo de Superfície (SSiB) utilizado pelo Centro de

Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Assim sendo, as classes de uso e cobertura da terra contidas no mapa final são: Floresta Perene, Floresta Decídua, Caatinga, Cerrado, Campos Tropicais/Extratropicais, Vegetação Secundária, Floresta Mista, Área Urbana, Agropecuária, Solo nu, Água.

Após a compatibilização da legenda, seguindo procedimentos adotados por diversos autores, como Câmara (1995) e Burrough e McDonnell (1998), foram criados bancos de dados para cada um dos estados brasileiros. O mosaico da região Amazônica foi gerado a partir de informações contidas no mapa temático, ano base 2000, elaborado por Sestini et al. (2002) sendo realizado um cruzamento de planos de informação com as informações dos dados do projeto PROBIO com o objetivo de detalhar melhor a legenda existente, sendo incluídas mais duas classes de cobertura e uso da terra (vegetação secundária e área urbana) ao mapa atual.

Para a elaboração do mapa temático da região Nordeste do Brasil foram utilizados mosaicos compostos por imagens, do período de 1999 a 2001, do sensor ETM⁺ do satélite Landsat 7 e TM Landsat 5. Os mosaicos foram georreferenciados e, em seguida foi aplicado, sobre as imagens, o processo de segmentação utilizando os limiares de similaridade 8 e área 30 e limiar para a aceitação das classes de 90%. Posteriormente as imagens foram interpretadas.

O restante das informações contidas no mapa do projeto PROVEG-Brasil do INPE são provenientes de dados do projeto PROBIO (biomas Cerrado, Pantanal e Pampa), e também das informações do Projeto SOS Mata Atlântica, ano base 2005, e do Projeto Canasat do INPE, ano base 2005, referente ao Estado de São Paulo.

Finalmente, após a elaboração do mosaico final, foi gerada uma grade numérica para todo o território brasileiro representando as características de vegetação e usos da terra com resolução espacial de 1 km, disponível em Vieira et al. (2010). Este novo mapa foi então compatibilizado para as classes do OGE, já que o modelo BRAMS utiliza o banco de dados de vegetação e usos da terra no formato OGE, como citado anteriormente.

3. Resultados

Para analisar as diferenças entre o novo e o antigo dado de vegetação e usos da terra foram criadas duas figuras (Figuras 1 e 2), as quais apresentam os dados nas classes OGE. Nota-se que existem grandes diferenças entre os dois mapas, com grandes atualizações sobre a região do arco do desmatamento, na região amazônica, sobre a região nordeste e sobre grande parte das regiões Central, Sudeste e Sul do Brasil.

Estas diferenças estão bem claras na substituição de vegetação do tipo arbustos e florestas por áreas agrícolas. Também nota-se que existem diferenças nas áreas relacionadas com o cerrado brasileiro e com a região da caatinga no Nordeste. Estas diferenças devem-se ao fato da atualização feita nos novos mapeamentos já citados. Outra inclusão no novo mapa foi de praticamente todas as áreas urbanas referentes às capitais e grandes cidades do território brasileiro, antes existente apenas a região metropolitana de São Paulo.

A análise do desempenho do modelo nos dois experimentos foi feita através da comparação dos resultados simulados com dados observacionais. Para isso foram utilizados dois conjuntos de dados. Um primeiro conjunto de dados contempla radiossondagens realizadas no escopo do experimento de campo BARCA (Balanço Regional de Carbono na Amazônia) às 00, 06, 12 e 18 UTC durante todo o mês de junho de 2008 nas localidades de Manaus-AM, Belém-PA, Carolina-MA, Rio Branco-AC e Tabatinga-AM. O segundo conjunto de dados contempla estimativas de

precipitação por satélite, obtidas a cada 3 horas a partir do algoritmo 3B42 junto ao satélite TRMM, com resolução espacial de 0,25°.

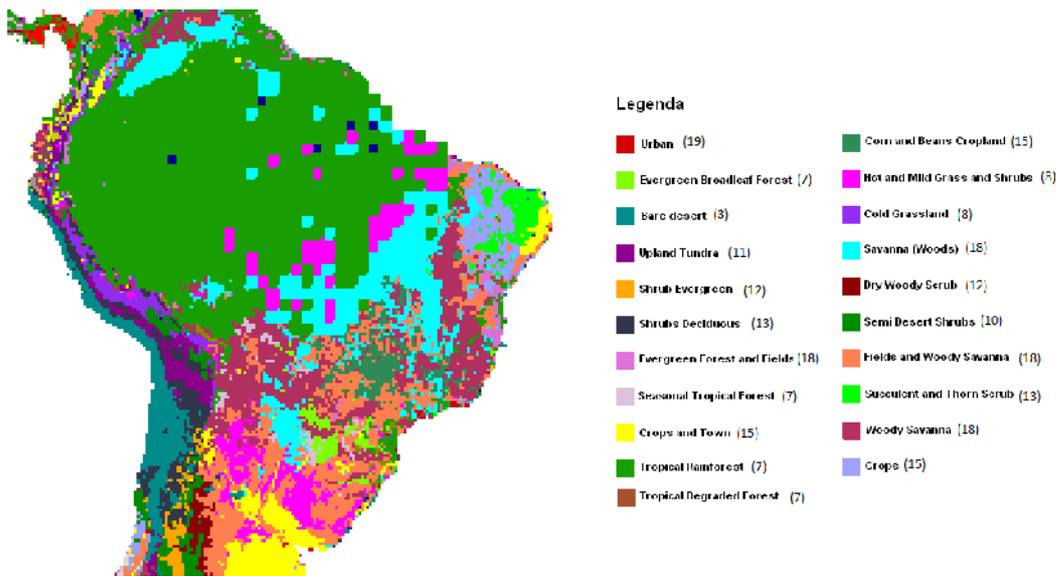


Figura 1 – Antigo mapa de vegetação e usos da terra nas classes OGE e classes correspondentes no LEAF-3.

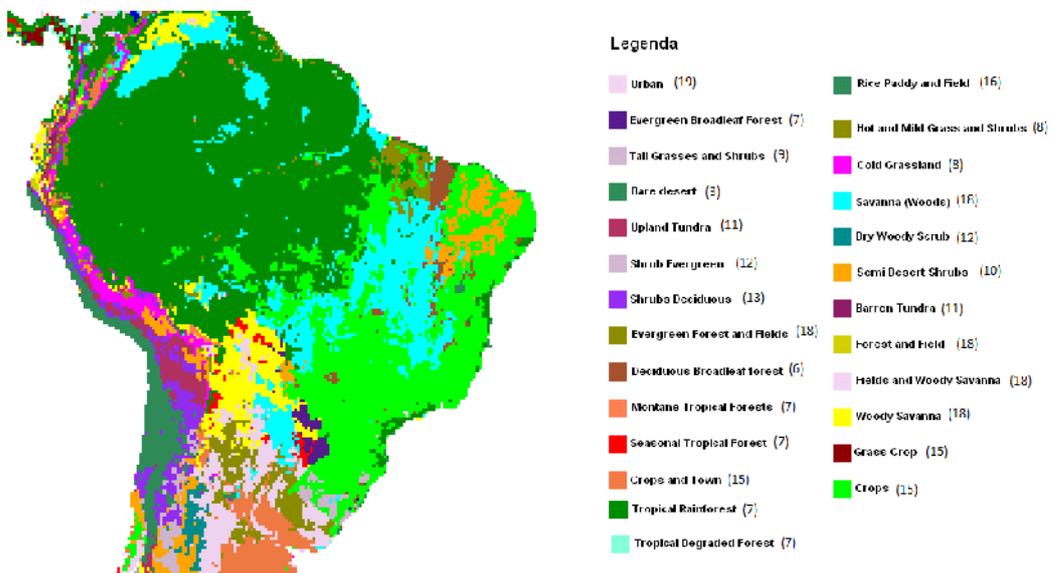


Figura 2 – Novo mapa de vegetação e usos da terra nas classes OGE e classes correspondentes no LEAF-3.

A Tabela 2 apresenta a diferença média de temperatura potencial do perfil entre os dados simulados e observados. Nota-se que para os dois experimentos o perfil atmosférico simulado encontra-se mais quente que o observado. Com relação à diferença entre os dois experimentos, nota-se que naquele que utilizou o novo mapa de vegetação e usos da terra os resultados estão alguns centésimos mais próximos do observado.

De um modo geral, as duas simulações apresentaram praticamente os mesmos resultados, com o perfil mais quente sobre as cidades de Manaus e Belém. Este maior

erro possivelmente está relacionado com o efeito urbano sobre o perfil atmosférico, através do fenômeno Ilha de Calor Urbana (ICU), o qual não foi considerado nestas simulações, pois o esquema LEAF-3 considera a classe de vegetação e usos da terra referente a áreas urbanas como a classe de solo exposto, o que não corresponde à realidade. Estudos mostram que a presença de áreas urbanas tende a modificar de forma significativa o balanço de energia em superfície, alterando assim o perfil atmosférico através dos fluxos de calor sensível e latente (Oke, 1988; Roth, 2000). Além disso, o efeito mecânico produzido pela presença de construções também tendem a afetar a transferência de momento, modificando assim as características da Camada Limite Planetária (CLP) nestes locais. Para as demais localidades, pequenos centros urbanos, as simulações apresentaram resultados satisfatórios, com pequenos erros entre observação e modelagem.

Tabela 2 – Diferenças para Temperatura Potencial observada e simulada entre os níveis de 1000 e 200 hPa para algumas localidades da região amazônica.

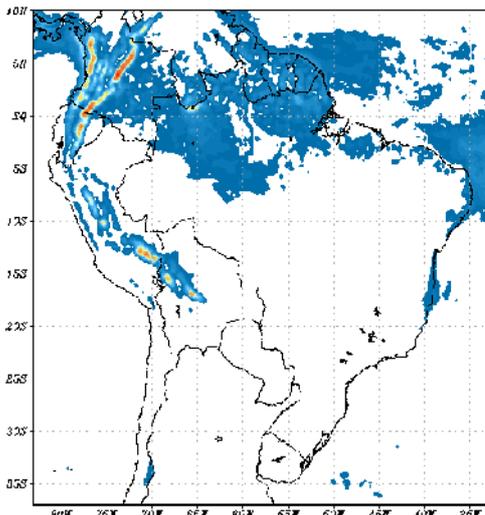
	NOVO MAPA				
	MANAUS	BELEM	CAROLINA	RIO BRANCO	TABATINGA
00Z JUN	34,262	32,034	1,987	3,013	1,376
06Z JUN	0,167	3,104	1,156	1,396	0,733
12Z JUN	0,200	33,356	0,189	0,958	0,417
18Z JUN	1,236	2,735	2,800	2,956	7,622
Média	8,966	17,807	1,533	2,081	2,537

	ANTIGO MAPA				
	MANAUS	BELEM	CAROLINA	RIO BRANCO	TABATINGA
00Z JUN	34,285	32,043	2,010	3,009	1,380
06Z JUN	0,177	3,100	1,182	1,402	0,739
12Z JUN	0,206	33,369	0,206	0,953	0,416
18Z JUN	1,288	2,743	2,840	3,036	7,619
Média	8,989	17,814	1,560	2,100	2,538

A comparação entre as estimativas de precipitação e as simulações foi realizada através da precipitação média (mmh^{-1}) durante todo o mês de junho de 2008. As Figuras 3a e 3b mostram que praticamente não existem diferenças entre as simulações com os diferentes mapas. Também se pode notar que o modelo BRAMS possui certa deficiência em representar a precipitação sobre a região norte da AS e oceano Atlântico tropical.

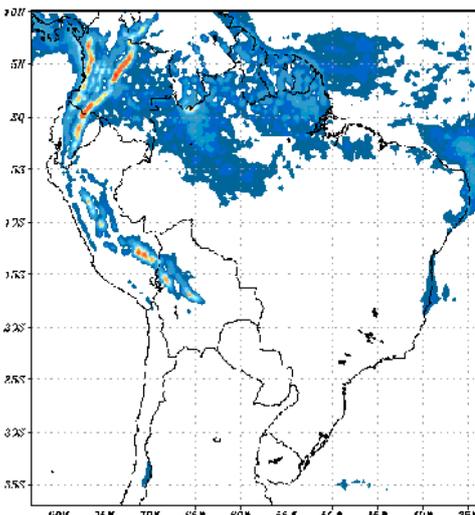
Quando calculadas as diferenças entre os dados simulados e observados nota-se que para toda a AS o EXP1 possui menor erro ($0,1854 \text{ mmh}^{-1}$) e melhor correlação espacial ($0,4465$) do que o EXP2 ($0,1861 \text{ mmh}^{-1}$ e $0,4425$). Para a região amazônica ocorre o mesmo, com o EXP1 apresentando erro médio de $0,296 \text{ mmh}^{-1}$ e correlação espacial de $0,542$ e o EXP2 apresentando valores de $0,299 \text{ mmh}^{-1}$ e $0,522$. No contexto geral, ambos os experimentos apresentam praticamente os mesmos resultados, sendo estas diferenças não significativas.

DIFERENÇA BRAMS-TRMM ANTIGO MAPA JUN 2008
MÉDIA=0.185424 CORRELACAO=0.416382



a

DIFERENÇA BRAMS TRMM NOVO MAPA JUN 2008
MÉDIA=0.156132 CORRELACAO=0.442652



b

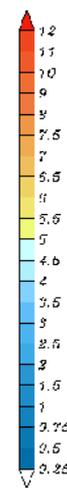


Figura 3 – Diferença entre o (a) EXP1 e TRMM e (b) EXP2 e TRMM para a precipitação média durante todo o mês de junho de 2008.

4. Conclusões

Neste artigo, avaliou-se o desempenho do modelo BRAMS considerando-se dois diferentes mapas de vegetação e usos da terra no Brasil. Os perfis atmosféricos simulados nos dois experimentos mostraram estar próximos do observado para os pequenos centros urbanos, não apresentando grandes diferenças entre as duas simulações. Para as cidades de Manaus e Belém os erros em relação à observação foram maiores, tendo sido notado o efeito urbano sobre os dados observados, o qual não foi simulado pelo modelo BRAMS, devido a este não considerar os principais parâmetros físicos relacionados com áreas urbanas.

Com relação aos dados de precipitação, o modelo BRAMS apresentou pequenos erros médios para o mês de junho de 2008, onde não se observou diferenças significativas entre as duas simulações. Nota-se também que o modelo BRAMS possui deficiência em representar a precipitação sobre a porção norte da AS.

De maneira geral não foram observadas grandes diferenças entre o uso de um mapa mais atual e um mapa que não represente as reais condições de vegetação e usos da terra para o Brasil. Possivelmente esta pouca diferença entre as simulações deve-se ao fato de se ter analisado o período de um mês inteiro, sendo que as influências das condições de superfície sobre os sistemas transientes e atividade convectiva, através de possíveis modificações no balanço de energia em superfície, podem ocorrer em escalas de tempo menores que 1 mês. Assim, espera-se que, para simulações de curto prazo, apresentem melhores resultados quando utilizado um mapa mais realístico das condições representativas da superfície.

Agradecimentos: Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP-Ref. N° 2007/07260-7)

5. Referências bibliográficas

- Burroughs, P.A. Mcdonnell, R.A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford: Oxford University Press, p.333, 1998.
- CÂMERA, G. Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos. Tese de Doutorado em Computação Aplicada. São José dos Campos: INPE, p.281, 1995.
- Chase, T. N., R. A. Pielke Sr., T. G. F. Kittel, J. S. Baron, and T. J. Stohlgren (1999), Potential impacts on Colorado Rocky Mountain weather due to land use changes on the adjacent Great Plains, *J. Geophys. Res.*, 104(D14), 16,673–16,690.
- Correia, F. W. S., Alvalá, R. C. S., Manzi, A. O. Modeling the Impacts of Land Cover Change in Amazonian: A Regional Climate Model (RCM) Simulation Study. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 93, p. 225-244, 2007.
- Costa, M. H., and J. A. Foley (2000), Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentrations on the climate of Amazonia, *J. Clim.*, 13, 18– 34.
- Nobre, P. ; Malagutti, M. ; Urbano, D. F. ; Almeida, R. A. F. ; Giarolla, E. . Amazon deforestation and climate change in a coupled model simulation. *Journal of Climate*, v. 22, p. 5686-5697, 2009.
- OKE, T.R. 1988: The urban energy balance. *Progress in Physical Geography* 12(4): 471-508.
- OLSON, J.S., 1994, Global ecosystem framework-definitions: USGS EROS.
- Pielke, R. A., Sr. (2001), Influence of the spatial distribution of vegetation and soils on the prediction of cumulus convective rainfall, *Rev. Geophys.*, 39, 151–177.
- Gash, J. H. C., and C. A. Nobre (1997), Climatic effects of Amazonian deforestation: Some results from ABRACOS, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 78, 823–830.
- ROTH, M. 2000: Review of atmospheric turbulence over cities. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 126, pp. 941-990.
- Sampaio, G.; Nobre, C.; Costa, M. H.; Satyamurty, P.; Soares-Filho, B. S.; Cardoso, M. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion., *Geophysical Research Letters*, v.34, L17709, doi:10.1029/2007GL030612, 2007.
- Sellers, P. J., Y. Mintz, Y. C. Sud, and A. Dalcher (1986), A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models, *J. Atmos. Sci.*, 43, 505– 531.
- 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: INPE, INPE-8972-RPQ/730, 2002.
- Walko, R. L., et al. (2000), Coupled atmosphere-biophysics-hydrology models for environmental modeling, *J. Appl. Meteorol.*, 39, 931–944.
- Xue Y; Sellers, P. J.; Kinter, J. L.; Shukla, J. (1991), A simplified biosphere model for global climate studies. *J Climate* 4: 345–364.