

## Impactos das Alterações da Cobertura Vegetal no Balanço de Energia em Área de Caatinga

Ana Paula Martins do Amaral Cunha<sup>1</sup>, Regina Célia dos Santos Alvalá<sup>2</sup>, Vanessa Canavesi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

<sup>2,3</sup>Centro de Ciências do Sistema Terrestre

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

e-mail: ana.paula@cptec.inpe.br, regina.alvala@inpe.br, vanessa.canavesi@cptec.inpe.br

### Resumo

Nas últimas décadas, a cobertura vegetal tem sido alterada pelas atividades humanas, principalmente pela conversão da vegetação natural em áreas de cultivos e pastagens. Segundo o último Censo Agropecuário, um dos maiores aumentos nas áreas de lavouras ocorreu na Região Nordeste (NEB), em detrimento das áreas cobertas com vegetação natural. Essas alterações podem afetar o clima, uma vez que a atmosfera é sensível às características da superfície continental, tornando-se importante avaliar os impactos climáticos decorrentes destas modificações. No presente trabalho, simulações foram efetuadas com o modelo IBIS (“offline”) para uma área de caatinga, sendo cada simulação realizada com um tipo de cobertura vegetal diferente sobre um ponto de grade (9°03’30,6’’S; 40°19’45,1’’W). A caatinga é a vegetação predominante na região de estudo; assim, a primeira simulação assumiu que o ponto de grade é completamente coberto por caatinga e a segunda simulação completamente coberto por pastagem. Portanto, foi avaliado como a alteração da caatinga para pastagem afeta o balanço de energia superficial na área de estudo. O diagnóstico dos impactos climáticos associados às mudanças dos usos da terra é essencial para orientar tomadores de decisões a fim de se alcançar melhores gestão e planejamento para a região do NEB.

**Palavras-chave:** albedo, IBIS, microclima, processos de superfície

### Abstract

The vegetal cover has been changed by human activities, mainly by conversion of natural vegetation in areas of crops and pasture. According to the latest Census Data, one of the largest increases in areas of croplands occurred in the Brazilian Northeast (NEB) region,

replacing areas covered with natural vegetation. These changes can affect climate, since the atmosphere is sensitive to the continental surface characteristics, being it important to assess the impacts of climate change due to these modifications. In this work, simulations were performed, with IBIS model (offline), to evaluate an area of *caatinga*. Each simulation is performed with a different type of vegetal cover on a grid (9 ° 03 ' 30.6 " S; 40 ° 19 ' 45.1 ' W). The *caatinga* is the predominant vegetation observed in the study area; thus, the first simulation assumes that the grid is completely covered by *caatinga*, while in the second simulation was completely covered by grazing. Therefore, how changing the *caatinga* for grazing affects surface energy balance in the study area was assessed. The diagnosis of climatic impacts associated with land use changes is essential to guide decision-making in order to achieve better management and planning for the region of NEB.

**Key words:** albedo, IBIS, microclimate, surface processes

## 1 Introdução

Nas últimas décadas, as constantes interações do homem com o meio ambiente têm causado alterações significativas nas características da superfície continental, principalmente pela conversão, em grande escala, da vegetação natural em áreas de cultivos e pastagens (VITOUSEK *et al.*, 1997). A agricultura e a pecuária são as atividades econômicas que mais demandam área no mundo e, por isso, estão no centro do debate sobre Mudanças no Uso da Terra (MUT) e mudanças climáticas. Juntas, as áreas cultivadas, pastagens e áreas urbanas cobrem aproximadamente 35% (cerca de 55 milhões de km<sup>2</sup>) das superfícies continentais (OLIVEIRA, 2008).

A agricultura tem uma grande contribuição na economia brasileira, sendo o Brasil um dos líderes mundiais de produção de carne, soja e biocombustíveis para o mercado internacional. Segundo os resultados do Censo Agropecuário de 2006, as áreas de lavoura no país aumentaram 83,5% em relação ao Censo de 1996, enquanto que as áreas de pastagem reduziram aproximadamente 3,0%, confirmando um modelo de desenvolvimento do setor com expansão das fronteiras agrícolas. A Região Nordeste obteve uns dos maiores aumentos nas áreas de lavoura do país, aproximadamente 114,7%. Além disso, o Censo também apontou a substituição das áreas de vegetação natural por lavouras e pastagens, na década 1996-2006, em razão da progressiva inserção do país no mercado mundial de produção de grãos e da intensificação da pecuária (IBGE, 2010).

O aumento da população também impulsiona o processo de conversão de áreas para cultivos agrícolas e tais transformações modificam o uso da terra e aceleram a degradação ambiental. Segundo OLIVEIRA-GALVÃO (2001) e FERREIRA *et al.*, (1994), dentre os principais desencadeadores do processo de degradação ambiental estão: a) a pecuária extensiva, com prática de sobrepastoreio; b) agricultura inadequada, inclusive fazendo uso de desmatamento e posterior queimada; c) irrigação realizada de forma inadequada, não dispendo de sistema de drenagem apropriado; d) uso agrícola inadequado à capacidade de suporte do meio; e) desmatamento indiscriminado, inclusive para fins energéticos (carvão mineral).

Esses processos de degradação produzem conseqüências sobre os diferentes componentes ambientais, como a eliminação da cobertura vegetal original, com conseqüente redução na biodiversidade, perda parcial ou total do solo devido a fenômenos físicos (erosão) ou químicos (salinização e alcalinização), diminuição na quantidade e qualidade dos recursos hídricos, afetando principalmente o escoamento superficial, diminuição da fertilidade e da produtividade do solo (ROSS, 2001).

O semi-árido do NEB é a principal região do Brasil com problemas ambientais de degradação resultantes dos fatores acima mencionados. As mudanças na cobertura vegetal podem afetar o clima, uma vez que a atmosfera é sensível às características da superfície continental (TWINE *et al.*, 2004). Neste contexto, grande atenção vem sendo dada pela comunidade científica para tentar responder quais seriam os impactos climáticos decorrentes das mudanças de vegetação, seja por ação antrópica ou natural, a qual envolve a análise de sensibilidade climática às condições de superfície. Diversos estudos com Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs) e Modelos Regionais (MR) considerando diferentes ecossistemas mostraram que a atmosfera é sensível às características físicas da vegetação e dos solos e que essas tem influência nas trocas de energia, água e momentum entre a superfície terrestre e a atmosfera (CHARNEY *et al.*, 1977; XUE & SHUKLA 1993; CLARK *et al.*, 2001; TAYLOR, 2002; OYAMA, 2002; XUE *et al.*, 2004; SOUZA, 2006; OLIVEIRA, 2008).

Considerando a região do NEB, SOUZA (2006) realizou um estudo de modelagem e avaliou os impactos da inclusão de áreas com atividades agrícolas em parte da região (Estados de Alagoas, Ceará, Paraíba e Sergipe) no clima regional. As mudanças no uso da terra implicaram em impactos nas simulações do clima sazonal, sendo que as áreas com cultivos agrícolas levaram a um aumento na precipitação, associado a um aumento de evapotranspiração. Todavia, no modelo utilizado, a parametrização dos cultivos agrícolas adotou como altura do dossel 20 m, profundidade de raízes em torno de 1 m, associadas a solos mais profundos (3,5 m), o que ocasionou o aumento da transpiração das plantas. Além disso, a sazonalidade de alguns parâmetros da vegetação, tais como o Índice de Área Foliar (IAF) e Fração de Cobertura Vegetada (FVC) foram prescritos de acordo com uma base de dados criada a partir de médias climatológicas da vegetação (KLINK & WILLMOTT, 1985; WILLMOTT & KLINK, 1986; DORMAN & SELLERS, 1989), comprometendo a representação realista da variabilidade sazonal dos parâmetros da vegetação.

Com o presente trabalho espera-se contribuir para um melhor entendimento de como os processos biofísicos, que se alteram decorrentes das mudanças na cobertura da superfície, podem causar modificações no balanço de energia na região do NEB. Estes impactos foram avaliados por meio da comparação dos processos de superfície simulados considerando a ocupação de toda área de estudo por caatinga (controle) e substituindo a caatinga por pastagem (experimento).

## **2 Descrição do Modelo IBIS**

O IBIS (*Integrated Biosphere Simulator*) é um modelo global dos processos da superfície terrestre e dos ecossistemas terrestres que representa os processos físicos, fisiológicos e

ecológicos que ocorrem na vegetação e nos solos. Nesse estudo, considerou-se o uso da versão 2.6 do modelo IBIS (FOLEY *et al.*, 1996; KUCHARIC *et al.*, 2000).

A seguir são apresentadas as principais características do modelo IBIS 2.6, tendo como base as revisões de FOLEY *et al.*, 1996; KUCHARIK *et al.*, 2000; TWINE *et al.*, 2004; IMBUZEIRO, 2005). O IBIS faz parte de uma nova geração de modelos de biosfera global, classificado como um modelo dinâmico da vegetação global, que considera as mudanças ocorridas na composição e estrutura da vegetação em resposta às condições ambientais. A maior parte de sua estrutura do módulo de superfície continental é baseada no esquema de superfície LSX de THOMPSON & POLLARD (1995 a,b) e compreende diversos processos, incluindo as interações entre a superfície e a atmosfera, ciclos de CO<sub>2</sub> e nutrientes, e dinâmica da vegetação. Deste modo, o IBIS simula as trocas de energia, água e momentum entre o solo, a vegetação e a atmosfera; fenologia do dossel (fotossíntese e condutância do dossel); fenologia da vegetação (produção de folhas e senescência ou envelhecimento); vegetação dinâmica (distribuição, reciclagem e competição entre os tipos de vegetação) e o balanço de carbono terrestre (produção primária líquida, reciclagem do tecido vegetal, carbono no solo e decomposição da matéria orgânica).

Todos estes processos são organizados em uma estrutura hierárquica e inclui módulos organizados de acordo com a escala temporal (Figura 1): processos de superfície (transferência de energia, água, momentum), biogeoquímica do solo (ciclo do nitrogênio e do CO<sub>2</sub>), dinâmica da vegetação (competição das plantas por luz, água e nutrientes) e fenologia (baseada no crescimento medido por graus-dia). O modelo IBIS calcula estes processos em escala espacial e temporal consistente com as resoluções espaciais e temporais de MCGAs. O módulo de fenologia que opera em passo de tempo diário é utilizado para descrever o comportamento de tipos específicos de plantas em relação às condições climáticas sazonais. O módulo balanço de carbono (módulo de dinâmica da vegetação) envolve a fotossíntese bruta, a respiração de manutenção e a respiração de crescimento para o balanço de carbono anual de cada um dos tipos de plantas. O módulo de dinâmica da vegetação simula as mudanças temporais na cobertura da vegetação resultantes das alterações na produtividade primária, alocação de carbono, crescimento da biomassa, mortalidade e ciclagem da biomassa para cada Tipo Funcional de Planta (TFP).

## **2.1 Estrutura básica do IBIS**

O modelo inclui para cada célula de grade duas camadas de vegetação: “árvores” e “gramíneas e arbustos”. Além disso, o modelo considera seis camadas de solo para simular a temperatura do solo, conteúdo de água no solo e conteúdo de gelo sobre o solo. O IBIS representa a cobertura da vegetação como um conjunto de Tipos Funcionais de Plantas (TFP), em que cada TFP é caracterizado em termos de biomassa (carbono nas folhas, troncos e raízes finas) e IAF. Os TFP diferem com relação à forma (árvores ou gramíneas ou arbustos), comportamento das folhas (perenifólias ou caducifólias), forma das folhas (folhas largas ou aciculadas) e fisiologia (C3 ou C4). No IBIS, um ponto de grade pode conter um ou mais TFPs que juntas abrangem um tipo de vegetação (FOLEY *et al.*, 1996).

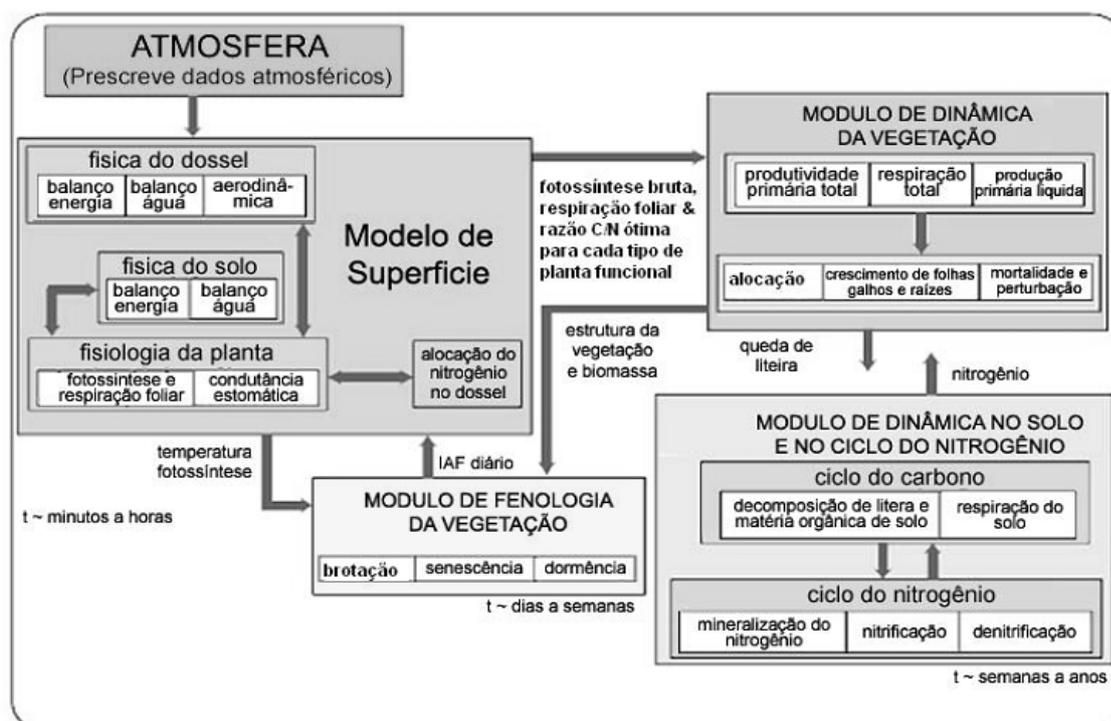


Figura 1 - Estrutura do IBIS

O modelo IBIS pode simular alguns dos processos básicos de competição entre árvores e gramíneas. Por exemplo, árvores grandes interceptam luz antes, e conseqüentemente produzem sombra nas gramíneas. Entretanto, as gramíneas são aptas para preferencialmente capturar a umidade do solo quando há o processo de infiltração no solo. Em ambientes mais secos, as gramíneas são favorecidas, as árvores acumulam menos carbono, as folhas crescem menos e eventualmente podem até morrer (DELIRE *et al.*, 2008).

O IBIS simula as trocas de radiação solar e infravermelha entre a superfície, vegetação do dossel e atmosfera. As propriedades radiativas do dossel, do solo e neve (por exemplo, a reflectância e a transmissividade) são calculadas pelo modelo e, então, relacionadas às características da radiação incidente (por exemplo, fração de radiação difusa e direta, ângulo zenital). Com isso, o albedo da superfície é função da cobertura vegetal, do tipo de solo e da radiação solar incidente.

O IBIS estima o balanço de radiação da vegetação e do solo, e o particiona em fluxos difusos e turbulentos de calor sensível e latente. Em geral, essa partição é função principalmente da condutância estomática ( $g_s$ ). Por sua vez,  $g_s$  depende principalmente da taxa de assimilação de  $CO_2$  líquida ( $A_n$ ), a qual é controlada pela radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR) e pela capacidade máxima da enzima Rubisco ( $V_{max}$ ).

O modelo IBIS utiliza uma formulação multi-camadas do solo para simular as variações diurnas e sazonais de calor e umidade do solo. Em cada passo de tempo, de uma hora, cada camada é descrita em termos da temperatura do solo, conteúdo volumétrico de água no solo e conteúdo de gelo. O módulo de física do solo utiliza as equações de Richard para calcular a

taxa temporal de trocas de umidade no solo e o fluxo vertical de água no solo é modelado de acordo com a lei de Darcy (CAMPBELL & NORMAN, 1998).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo

A área de estudo abrange uma extensão de 199.080,022 km<sup>2</sup> (-7° 4' S e - 41° 31' W; -10° 19' S e -36° 26' W). Na região encontra-se um sítio experimental instalado na área da Embrapa – Centro de Pesquisas Agropecuária do Trópico Semi-Árido – CPATSA, no município de Petrolina, Estado de Pernambuco. Essa é uma área de vegetação de caatinga nativa, na qual predomina uma vegetação com caule provido de espinhos e folhas pequenas com árvores de aproximadamente 4,5 metros de altura, pertencentes à família *Leguminosae* (*Minosa tenuiflora*), sendo verificado também a presença de árvores, à distância, com altura de até 8 metros.

O sítio experimental (9°03'30,6''S; 40°19'45,1''W), estabelecido em junho de 2003 no escopo do Projeto CT-HIDRO, conta com uma torre micrometeorológica de 9 m de altura (Figura 2), instalada para suporte de sensores eletrônicos de alta e baixa frequência, para medidas de variáveis meteorológicas.

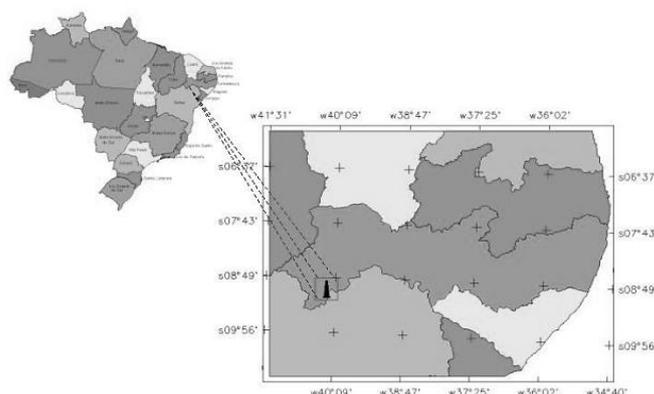


Figura 2: Localização geográfica da torre micrometeorológica instalada na Embrapa Semi-Árido em Petrolina, PE.

Os dados necessários para forçar o modelo IBIS, no modo “offline” são: radiação solar incidente ( $S_{in}$ ); radiação de onda longa incidente ( $L_{in}$ ); radiação fotossinteticamente ativa incidente ( $PAR_{in}$ ) e refletida ( $PAR_{out}$ ); saldo de radiação ( $R_n$ ); temperatura do ar ( $T_a$ ); velocidade horizontal do vento ( $u_a$ ); velocidade de fricção do vento ( $u^*$ ); precipitação ( $P$ ); umidade específica do ar ( $q_a$ ).

## 3.2 Simulações

### 3.2.1 Simulações “offline” em um ponto de grade

Segundo TWINE et al. (2004), para melhor compreender os processos físicos envolvidos nas alterações dos balanços de energia, de água e de CO<sub>2</sub> decorrentes das mudanças na cobertura vegetal é importante que se façam simulações com diferentes tipos de cobertura sobre um único ponto de grade do modelo. Assim sendo, para examinar como os processos biogeoquímicos e biofísicos se alteram com as mudanças na cobertura da superfície na região do NEB, foram realizadas simulações “offline” para um período de um ano (2004), sendo que cada simulação foi realizada com um tipo de cobertura vegetal diferente sobre um ponto de grade, a qual abrange área de 1 x 1 km. Para isto, foram utilizados, como forçantes no modelo, dados horários de radiação solar incidente ( $S_{in}$ ); radiação de onda longa incidente ( $L_{in}$ ); radiação fotossinteticamente ativa incidente ( $PAR_{in}$ ) e refletida ( $PAR_{out}$ ); saldo de radiação ( $R_n$ ); temperatura do ar ( $T_a$ ); velocidade horizontal do vento ( $u_a$ ); velocidade de fricção do vento ( $u^*$ ); precipitação ( $P$ ); umidade específica do ar ( $q_a$ ).

Sendo a caatinga o tipo de vegetação natural na maior parte do NEB, a primeira simulação assumiu que a grade é completamente coberta (100%) por “open shrubland” (correspondente à caatinga). A segunda simulação foi elaborada com a finalidade de avaliar os impactos da expansão das atividades agropecuárias no NEB. Para isto, esta classe foi representada no modelo IBIS como “grassland”, uma vez que o modelo não possui uma classe específica para cultivos agrícolas, tornando-se esta aproximação a mais apropriada nas simulações. Assim, na segunda simulação assumiu-se que a grade estava completamente (100%) coberta por “grassland”. Para isto, alguns parâmetros da vegetação foram ajustados. Com isso, avaliou-se como a alteração da cobertura natural de caatinga para agropecuária afetou a partição de energia à superfície.

## 4 RESULTADOS

Os resultados das simulações foram avaliados para um período representativo da estação chuvosa (janeiro a março) e outro representativo da estação seca (julho a setembro) na área de estudo. Este período foi selecionado com base no total de precipitação (Tabela 1) obtidos do sítio experimental de caatinga (EMBRAPA/SEMI-ARIDO/Petrolina).

Tabela 1: Precipitação na área de estudo

Total de precipitação (mm/mês) no sítio experimental de caatinga (EMBRAPA/SEMI-ARIDO/Petrolina), Ano de 2004			
janeiro	195,582	julho	4,064
fevereiro	68,073	agosto	0,508
março	45,216	setembro	0,762
abril	6,731	outubro	1,524
maio	20,32	novembro	20,324
junho	2,794	dezembro	0,508

Nos experimentos em que a cobertura da vegetação é substituída por outro tipo de cobertura, ocorre alteração nas características biofísicas da vegetação que, por sua vez, contribuem para alterações nos balanços de água e energia à superfície. Parâmetros da superfície, tais como o Índice de Área Foliar (IAF), as propriedades ópticas da folha, a altura do dossel, o comprimento de rugosidade e o albedo são alterados com a modificação da cobertura da superfície. De modo geral, ocorrem mudanças fisiológicas e fenológicas na vegetação, porém a textura do solo e as propriedades hidráulicas se mantêm inalteradas.

No experimento realizado neste trabalho, a conversão da vegetação natural de caatinga para agropecuária ocasionou o aumento do albedo da superfície e, conseqüentemente, em modificações nos balanços de radiação e de energia. As Figuras (3 e 4) apresentam o ciclo diurno médio do balanço de radiação à superfície e o ciclo diurno médio dos fluxos de calor latente (LE) e calor sensível (H) dos períodos representativos da estação chuvosa e seca na região de estudo, respectivamente.

Observa-se que, em ambos os períodos, o saldo de radiação de onda curta (SW) e, conseqüentemente, o saldo de radiação ( $R_n$ ) são reduzidos com a alteração da vegetação, porém no período chuvoso a diferença entre a simulação controle e o experimento é ainda maior, principalmente durante o dia (Figuras 3a e 4a). Com isso, os valores de SW e  $R_n$  para a caatinga são maiores do que para a agropecuária, o que ocorre também devido às diferenças morfológicas e biofísicas entre os tipos de vegetação analisados. As características da superfície do dossel de uma vegetação mais estruturada como a caatinga, a folhagem agrupada na copa com picos e depressões faz com que grande quantidade de radiação solar incidente penetre antes de ser refletida, fazendo com que menos radiação solar incidente atinja o chão, resultando na diminuição de sua reflexão, conforme também ressaltado por Lima *et al.*, (2009).

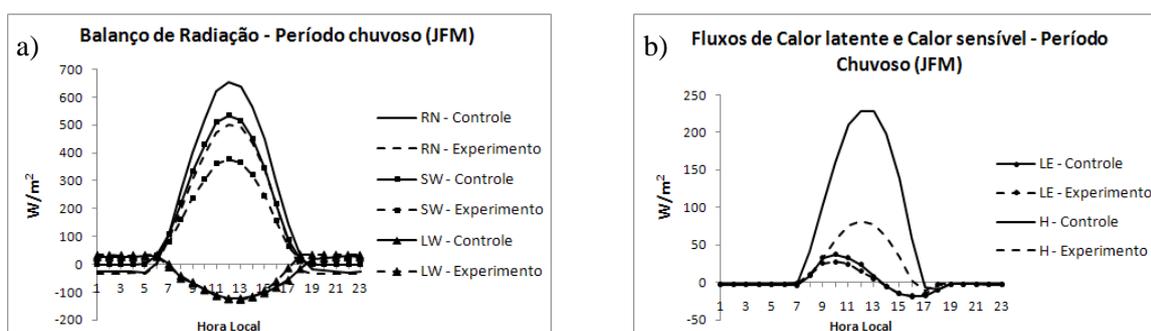


Figura 3: (a) Balanço de radiação e (b) Fluxos de calor latente e calor sensível para o período chuvoso (JFM) do ano de 2004.

Na Tabela 2 observa-se que quando a cobertura da grade é alterada de caatinga para agropecuária, a média sazonal do saldo de radiação diminui aproximadamente  $43 W m^{-2}$  (25%) no período chuvoso e  $28,8 W m^{-2}$  (14%) no período seco. Nas simulações realizadas, o modelo IBIS foi forçado com os mesmos dados de entrada (temperatura do ar, precipitação, radiação solar, velocidade do vento e umidade do ar), dessa maneira, todas estas alterações no saldo de radiação resultaram das mudanças do albedo da superfície e fluxos de radiação. Essas mudanças no albedo ocorrem

devido às diferenças nas propriedades ópticas da folha e do IAF entre a vegetação natural e a agropecuária.

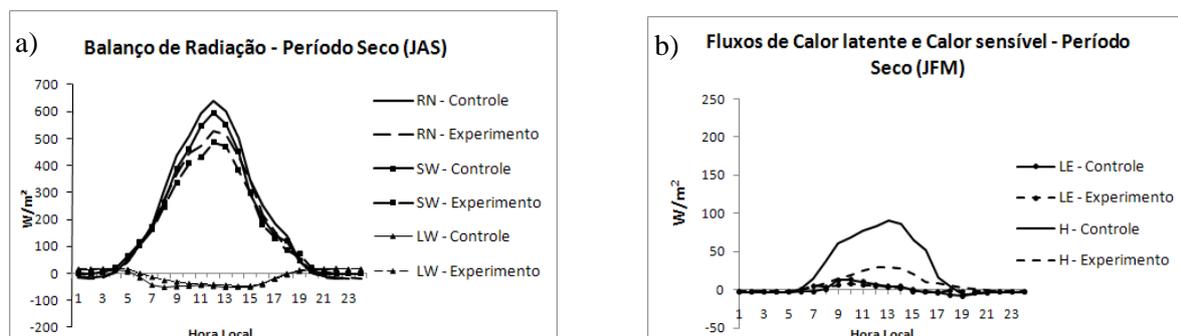


Figura 4: (a) Balanço de radiação e (b) Fluxos de calor latente e calor sensível para o período seco (JAS) do ano de 2004.

Tabela 2: Balanço de energia médio sazonal para os dois tipos de vegetação analisados.

Vegetação Potencial	$R_n$ ( $Wm^{-2}$ )		LE ( $Wm^{-2}$ )		H ( $Wm^{-2}$ )	
	<i>JFM</i>	<i>JAS</i>	<i>JFM</i>	<i>JAS</i>	<i>JFM</i>	<i>JAS</i>
caatinga	175,11	200,18	1,44	-0,26	52,95	25,73
agropecuária	131,16	171,35	0,92	0,25	16,65	7,67

Os fluxos de calor latente e calor sensível também foram reduzidos após a conversão de caatinga para agropecuária (Figuras 3b e 4b; Tabela 2). A Figura 5 mostra a evolução temporal de LE, durante 10 dias do mês de agosto (mês seco), simulado pelo modelo IBIS para caatinga e para agropecuária e o observado na área de estudo (caatinga). Observa-se que LE reduz após a conversão da cobertura vegetal de caatinga para agropecuária, o que ocorre também como resposta às alterações nas características de cada tipo de vegetação.

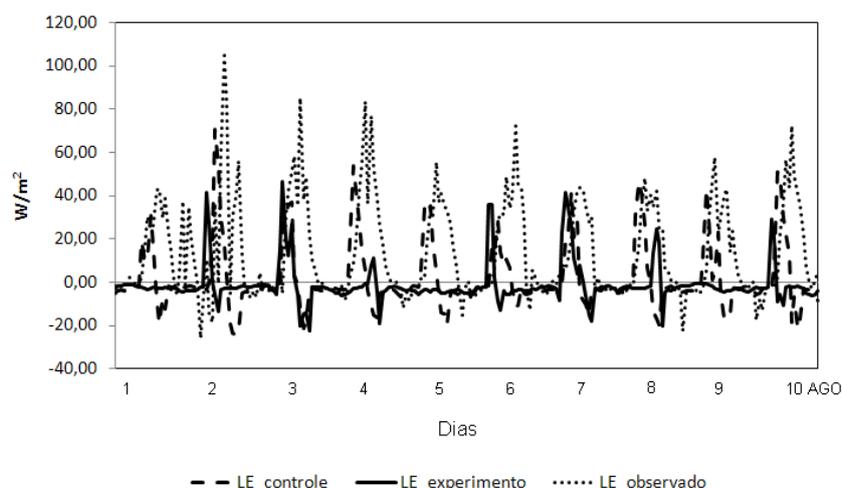


Figura 5: Evolução temporal do fluxo de calor latente simulado pelo modelo IBIS para caatinga (linha tracejada), para agropecuária (linha sólida) e dados observados em área de caatinga (pontilhados) para o mês de agosto de 2004.

## 5 CONCLUSÕES

As mudanças na cobertura vegetal podem afetar o clima, uma vez que a atmosfera é sensível às características da superfície continental. Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi examinar como a alteração da caatinga para agropecuária afeta o balanço de energia superficial em uma região específica coberta por caatinga no Nordeste do Brasil. Para isso, foram realizadas simulações com o esquema de superfície IBIS para um período de um ano (2004), sendo que cada simulação, para uma área de 1 por 1 km, foi realizada com um tipo de cobertura vegetal (100% coberto por caatinga e 100% coberto por agropecuária).

Os experimentos mostraram que quando a cobertura da vegetação é modificada, ocorre alteração nas características biofísicas da vegetação que, por sua vez, contribuíram para alterações nos balanços de radiação e energia. Quando ocorre a substituição da vegetação natural de caatinga para agropecuária, o albedo da superfície aumenta. Isso pode levar a uma redução do saldo de radiação que, conseqüentemente, causa diminuição do fluxo de calor sensível para a troposfera e um movimento de subsidência que pode inibir a precipitação.

Portanto, as diferenças observadas certamente induzem mudanças microclimáticas que, em uma escala regional, podem ser importantes, dependendo do tamanho da área convertida em agropecuária. Outrossim, o diagnóstico da evolução do uso da terra e suas implicações climáticas são essenciais para orientar tomadores de decisões, no que diz respeito ao direcionamento da aplicação de recursos e na elaboração de políticas de desenvolvimento, a fim de se alcançar melhores gestão e planejamento para a região do NEB.

## Referências

- Charney, J. G.; Quirk, W.J.; Chow, S.H.; Kornfield, J.A. (1997) A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions. *Journal of Atmospheric Sciences*. 34 (9),1366-1385.
- Clark, D.B.; Y. Xue; R.J. Harding; P.J.; Valdes (2001) Modeling the Impact of Land Surface Degradation on the Climate of Tropical North Africa. *J. Climate*. 14, 1809–1822.
- Delire, C.; Ngomanda, A.; Jolly, D. (2008) Possible impacts of 21st century climate on vegetation in Central and West Africa. *Global and Planetary Change*. 64, 3–15.
- Dorman, J. L.; Sellers, P. (1989) A global climatology of albedo, roughness length and stomatal resistance for atmospheric general circulation models as represented by the Simple Biosphere Model (SiB). *Journal of Applied Meteorology*. 28, 833-855.
- Ferreira, D. G.; Melo, H. P.; Rodrigues Neto, F. R.; Nascimento, P.J.S.; Rodrigues, V. (1994) Avaliação do quadro de desertificação no Nordeste do Brasil: diagnósticos e perspectivas. Conferência Nacional e Seminário Latino-Americano da Desertificação, Fortaleza - CE.
- Foley, J. A.; Prentice, I. C.; Ramankutty, N.; Levis, S.; Pollard, D.; Sitch, S.; Haxeltine, A. (1996) An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance and vegetation dynamics. *Global Biogeochemical Cycles*. 10 (4), 603–628.
- Imbuzeiro, H. M. A. (2005) Calibração do modelo IBIS na floresta amazônica usando múltiplos sítios. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Mapa de biomas do Brasil e mapa de vegetação do Brasil Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 16 Mai. 2010.
- Klink, K.; Willmott, C.J. (1985) Notes on a global vegetation data set for use in GCMs. Dept. of Geography, Univ. of Delaware, Delaware, Newark.
- Kucharik, C.J., Foley, J.A., Delire, C., Fisher, V.A., Coe, M.T., Gower, S.T., Lenters, J.D., Youngmolling, C., Norman, J. M., & Ramankutty, N., (2000) Testing the performance of a dynamic global ecosystem model: water balance, carbon balance and vegetation structure. *Global Biogeochem. Cycles*. 14, 795-825.
- Lima, P.C.S.; Leitão, M.M.V.B.R.; Azevedo, P.V.; Oliveira, G.M.; Sobrinho, J.E.; Moura, M.S.B.; Menezes, H.E.A.; Pinto, M.G.C.L. (2009) Albedo de pastagem e caatinga. XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Belo Horizonte – MG.
- Oliveira, G. S. (2008) Conseqüências climáticas da substituição gradual da floresta tropical amazônica por pastagem degradada ou por plantação de soja: um estudo de modelagem. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo.
- Oliveira-Galvão, A. L. C. (2001) Reconhecimento da Susceptibilidade ao Desenvolvimento de Processos de Desertificação no Nordeste Brasileiro, a partir da integração de Indicadores Ambientais. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília.
- Ross, J. L. S. (2001) Geografia do Brasil. Universidade de São Paulo, São Paulo, 4. ed.

Souza, S. S. (2006) Impactos climáticos regionais da mudança de vegetação no semi-árido do Nordeste brasileiro. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo.

Taylor, C.M.; Lambin, E.F.; Stephenne, N.; Harding, R.J.; Essery, R.L.H. (2002) The Influence of Land Use Change on Climate in the Sahel. *J. Climate*, 15, 3615–3629.

Thompson, S. L.; E D. Pollard (1995a) A global climate model (GENESIS) with a land-surface transfer scheme (LSX). Part I: Present climate simulation. *J. Climate*. 8, 732–761.

Thompson, S. L.; E D. Pollard (1995b) A global climate model (GENESIS) with a land-surface-transfer scheme (LSX). Part II: CO2 sensitivity. *J. Climate*. 8, 1104–1121.

Twine, T. E. (2004) Effects of Land Cover Change on the Energy and Water Balance of the Mississippi River Basin. *Journal of Hydrometeorology*. 5, 640-655.

Vitousek, P. M.; Mooney, H. A., Lubchenko, J.; Melillo, J. M. (1997) Human domination of the Earth's ecosystems. *Science*. 277, 494– 499.

Xue, Y.; Shukla, J. (1993) The influence of land surface properties on Sahel climate. Part I: Desertification. *Journal of Climate*. 6 (12), 2232-2245.

Xue, Y.; Juang, H.-M. H.; Li, W.-P.; Prince, S.; Defries, R.; Jiao, Y.; Vasic, R. (2004) Role of land surface processes in monsoon development: East Asia and West Africa. *J. Geophys. Res.* 109 (D03105), doi:10.1029/2003JD003556.

Willmott, C. J.; Klink, K. (1986) A representation of the terrestrial for use in global climate studies. Proc. International Satellite Land Surface Climatology Project (ISLSCP), Rome, Italy, European Space Agency. 109-112.