

Quantificação da dinâmica de biomassa acima do solo nas áreas de fisionomia florestal dos Cerrados no Estado do Mato Grosso entre 1997 e 2010

Gabriel Bertani¹

Liana Oighenstein Anderson^{2,3}

Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão¹

Antônio Roberto Formaggio¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{gabrielb, laragao, formag}@dsr.inpe.br

²Centro Nacional de Monitoramento de Desastres Naturais – CEMADEN
Parque Tecnológico de São José dos Campos, Estrada Doutor Altino Bondensan, 500, São José dos Campos - São Paulo, 12247-016
{liana.anderson@cemaden.gov.br}

³Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford, OX1 3QY, UK
liana.anderson@ouce.ox.ac.uk

Abstract. Emissions from land use and land cover change are perhaps the most uncertain component of the global carbon cycle, with significant implications for the current carbon budget and for forecasting the future evolution of climate change. The quantification of biomass and the qualification of the changes after deforestation are the main sources of uncertainty in estimates of the net carbon flux between the surface and the atmosphere. Generally, the approaches used to quantify biomass are based on indirect methods or by field measurements interpolations, so such estimates will contain great uncertainty. In addition, the coverage changes that occur due to deforestation are generally ignored or estimated from models. Considering the uncertainties that exist in such approaches, the present study sought to determine the aboveground biomass dynamics through the use of Prodes, TerraClass and JPL data in the Cerrado of Mato Grosso - BR, between 1997 and 2010. The biomass loss in forest physiognomy areas of Cerrado between 1997 and 2010 was equal to 485.639.776 tons, where the Forest-to- Clean Pasture was the most extensive conversion, with about 48% of the total converted area.

Palavras-chave: Prodes, TerraClass 2010, biomass, cerrado, remote sensing, Prodes, TerraClass 2010, biomassa, cerrado, sensoriamento remoto.

1. Introdução

A dinâmica da biomassa acima do solo, determinada pelas mudanças no uso e na cobertura da terra, em especial o desmatamento, constitui um importante elemento que influencia o fluxo líquido de CO₂ (dióxido de carbono) entre a superfície terrestre e a atmosfera. A depleção e degradação de florestas liberam CO₂ para a atmosfera, enquanto a regeneração florestal devido ao acúmulo de biomassa remove o CO₂ da atmosfera. O CO₂ é o principal gás de efeito estufa emitido pela ação antrópica, cuja principal fonte é relacionada à queima de combustíveis fósseis. Entre 1750 e 2010 as emissões de CO₂ foram responsáveis por 76% do total de gases de efeito estufa emitidos. Do fluxo líquido total de CO₂ para a atmosfera, cerca de 13% são relacionados às atividades agrícolas e 12% referem-se à florestas e outros tipos de uso do solo (IPCC, 2014).

De acordo com Ramankutty et al. (2007), as emissões provenientes do uso e mudança de cobertura da terra são o componente mais incerto do ciclo de carbono global, com significativas implicações para o equilíbrio do balanço de carbono atual e para a previsão da evolução futura das mudanças climáticas. Segundo esses autores, diversos elementos são envolvidos nas estimativas de carbono, entre os quais se destacam as dinâmicas de mudança da cobertura da terra, o estoque inicial de carbono na vegetação e no solo, o destino do carbono removido e as mudanças ocorridas previamente na cobertura da terra, em relação ao período de estudo. Em um estudo conduzido por Houghton et al. (2001), onde foram comparadas sete diferentes estimativas de CO₂ para a Amazônia brasileira, a variação nas estimativas de biomassa foi responsável por 60% da variação do fluxo líquido de carbono estimada para a região.

As abordagens relacionadas à determinação das mudanças de cobertura da terra são variadas, assim como as próprias definições de floresta e desmatamento adotado pelos diferentes países (Houghton, 2003; Fearnside, 2000, Grainger, 1996; Matthews, 2001, Defries et al., 2002, Achard et al., 2002).

Por exemplo, enquanto Houghton (2003) e Fearnside (2000) consideraram vários tipos diferentes de mudança de cobertura (desmatamento, abertura de terras cultiváveis e abandono, alternância de cultivo, extração de madeira e degradação florestal), McGuire et al. (2001) considerou apenas o estabelecimento e abandono de terras agrícolas. Já as classes definidas por DeFries et al. (2002) ficaram restritas ao desmatamento e à rebrota, e Achard et al. (2002) definiram as classes como desmatamento, degradação e rebrota. Outro aspecto que dificulta as estimativas de carbono corresponde às dinâmicas de mudança da cobertura da terra é o destino do carbono removido. Os estudos citados acima não consideraram plenamente o impacto da dinâmica da cobertura do solo após o desmatamento no cálculo das emissões de carbono.

Já as estimativas de biomassa geralmente são obtidas de forma indireta ou através da interpolação de inventários realizados. Brown & Lugo (1992) e Fearnside (1997) estimaram o fluxo líquido de carbono da Amazônia brasileira através de extrapolações dos dados de inventário do projeto RADAM Brasil. Brown et al. (1993) utilizaram um modelo baseado em profundidade do solo e textura, precipitação, altitude e inclinação para determinar um índice de biomassa. Já Potter (1999) determinou a biomassa como a diferença entre produção primária líquida (NPP) e mortalidade. A NPP foi obtida a partir do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), pelo sensor AVHRR, e a mortalidade foi estimada a partir do tempo de residência média do carbono na madeira em pé para vários sítios na Amazônia. Houghton (2001) comparou as estimativas de fluxo líquido de carbono entre sete abordagens na determinação de biomassa (incluindo os estudos citados), e os resultados variaram mais de 100%, mostrando grandes incertezas nas estimativas e chegando à conclusão de que são necessárias estimativas mais confiáveis de biomassa acima do solo. Essa mesma conclusão ainda é válida hoje, 13 anos depois, conforme mostra o estudo de Ometto et al. (2014).

Considerando a importância que a dinâmica das mudanças de cobertura da terra possuem nas estimativas do fluxo líquido de carbono, além das incertezas relacionadas com medidas indiretas de biomassa, o presente estudo propõe a avaliação da dinâmica da biomassa acima do solo a partir do uso de dados de desmatamento (PRODES), biomassa acima do solo (Saatchi et al., 2011) e mapa de fisionomias florestais do bioma Cerrado.

2. Materiais e Métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo corresponde ao Bioma Cerrado do estado do Mato Grosso. Esse bioma, especialmente no estado do Mato Grosso, tem passado por um intenso processo de devastação nas últimas décadas. Segundo Ferreira et al. (2004), o aumento da exploração agrícola foi responsável por cerca de 40% da conversão das áreas originais do Cerrado. De acordo com esses autores, o desmatamento desse bioma irá aumentar em mais de 14% até 2050, o que reduziria a área original para aproximadamente 1 milhão de km². Além disso, o Cerrado é reconhecido pela notável importância ecológica que possui, pois é caracterizado por abrigar grande biodiversidade, representando cerca de 5% e 33% da diversidade da fauna mundial e da biota brasileira, respectivamente (Alho e Martins, 1995; Bitencourt et al., 2001). Mendonça et al. (1998) estimam que haja cerca de seis mil espécies vegetais vasculares no Cerrado. A relevância ecológica desse bioma o tornou um dos 25 *hotspots* de biodiversidade do Planeta (Myers et al., 2000).

O Cerrado é um bioma extremamente heterogêneo em relação às formações vegetais e também ao estoque de carbono acima e abaixo do solo. Segundo Ratter et al., (1997), o Cerrado pode ser dividido entre Cerradão, Cerrado e Campo. A formação Cerradão apresenta copa fechada e altura de árvores entre 12 e 15 metros. A formação Cerrado tem em geral 15% de cobertura de copa, mas com uma variação entre 20-30%, enquanto que as áreas de campo Cerrado possuem entre 2-15% de cobertura de copa. Considerando que o Brasil adota a definição de floresta como área maior que 0,5 hectares, cobertura de copa maior que 10% e árvores acima de 5 metros de altura, pode-se considerar que diversas formações de Cerradão e de Cerrado são florestas.

2.2 Dados Utilizados

Biomassa acima do solo

Os dados de biomassa foram obtidos a partir do *Jet Propulsion Laboratory (JPL)*, do *California Institute of Technology – US*, vinculado à *National Aeronautics and Space Administration – NASA* (Saatchi et al., 2013). Este produto foi gerado a partir da integração de multi-sensores e mais de 4.000 parcelas de campo, com resolução espacial de 1km.

Dados de desmatamento

O dado de desmatamento refere-se ao projeto PRODES, que monitora o corte raso de formações florestais na Amazônia Legal. As taxas anuais são estimadas a partir dos incrementos de desmatamento em florestas primárias identificados em imagens Landsat TM/ETM+, imagens LISS-3, do satélite indiano Resourcesat-1, e de imagens do satélite inglês UK-DMC2.

Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado

As alterações de biomassa observadas durante o período em estudo foram relacionadas às regiões fitoecológicas do Cerrado, a partir da intersecção das áreas desmatadas e também dos remanescentes florestais com um mapa de cobertura vegetal realizado pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO (2004).

2.3 Processamento dos dados

Através da linguagem PYTHON 2.7, módulo ArcPy, foi realizada a intersecção dos dados PRODES (1997 a 2009) com os dados TerraClass 2010. Essa operação teve o objetivo de obter a dinâmica de cobertura da terra ocorrida sobre as áreas de corte raso mapeadas pelo PRODES. Dessa forma, foi possível determinar quais foram os tipos de cobertura em que as áreas desmatadas foram transformadas (entre 1997 a 2010), a saber: Agricultura anual, Pasto Limpo, Pasto Sujo, Pasto com Regeneração e Vegetação Secundária.

Posteriormente, foram extraídos os valores médios de biomassa acima do solo para a classe Floresta, através da intersecção dos dados *raster* JPL-NASA com a classe Floresta do TerraClass 2010. A biomassa contida nas áreas desflorestadas detectadas pelo PRODES foi atribuída à biomassa original total perdida, dada pela multiplicação da área total desmatada pela quantidade média de biomassa obtida para a classe Floresta. Por fim, foi realizada a intersecção da biomassa original total perdida e suas respectivas conversões de cobertura do solo com dados das regiões fitoecológicas indicadas pelo mapa PROBIO (2002).

3. Resultados

3.1 Alterações na cobertura da terra

A Figura 1 mostra as classes indicadas pelo TerraClass 2010, que foram mapeadas como corte raso pelo PRODES entre 1997 e 2009. A classe predominante foi Pasto Limpo, com 48% do total das áreas convertidas (1.600.000 hectares), seguida por Agricultura anual (26%, 886.336 hectares), Vegetação Secundária (17%, 552.129 hectares), Pasto Sujo (5%, 184.216 hectares) e Pasto com Regeneração (4%, 121.573 hectares).

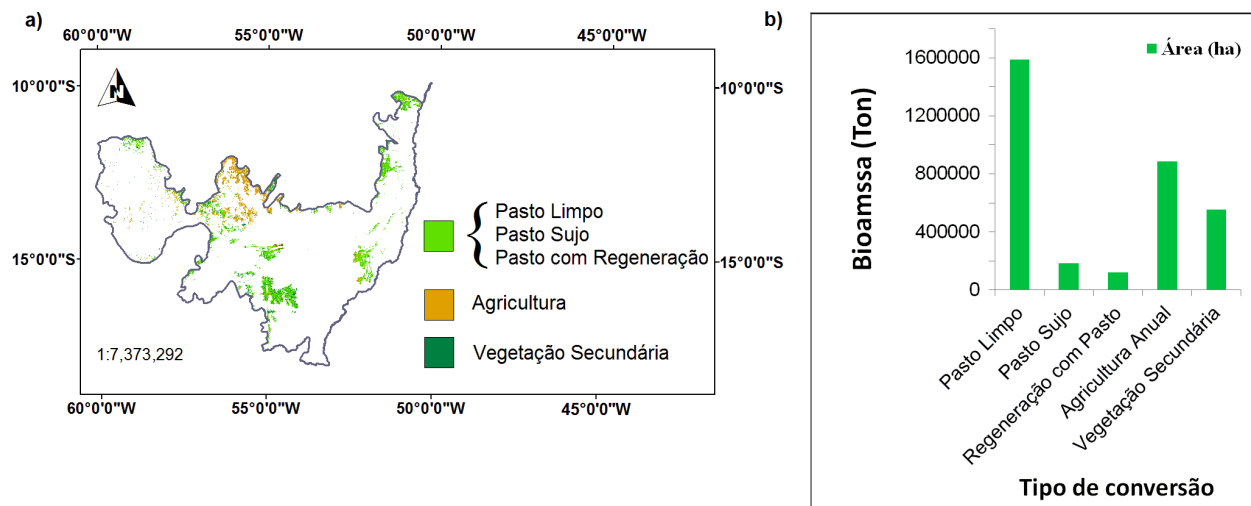


Figura 1. a) Classes indicadas pelo TerraClass 2010, que foram mapeadas como corte raso pelo PRODES entre 1997 e 2009 para as formações florestais do cerrado do Mato Grosso. b) Área de cada classe de alteração da biomassa acima do solo entre 1997 e 2010.

O estudo de Ramankutty (2007) fez uso de um modelo de transição de cobertura da terra para a Amazônia legal, pois só dispunham de dados quantitativos de desflorestamento. As classes

obtidas por esse modelo resultaram nas seguintes proporções: 62% de áreas de pastagens, 32% de vegetação secundária e 6% de áreas agrícolas. Comparando esses valores com os resultados obtidos para o Cerrado do Estado do Mato Grosso, é possível observar que as pastagens foram dominantes nas duas abordagens. Porém, o modelo de transição gerou áreas maiores de vegetação secundária e menores de áreas agrícolas, quando comparadas com as áreas determinadas pelo TerraClass 2010.

3.2 Alterações nos estoques de carbono

A média de biomassa acima do solo obtida para as áreas de fisionomia florestal no Cerrado do Mato Grosso correspondeu a 146,03 toneladas por hectare. Esse valor multiplicado pela área total alterada entre 1997 e 2010 correspondeu a 485.639.776 de toneladas de biomassa. Já as áreas remanescentes de fisionomia florestal no Cerrado do Mato Grosso possuem 4.435.978 hectares de área. De acordo com os resultados obtidos nesse estudo, a quantidade de biomassa armazenada nessas áreas é de 645.508.134 toneladas. Esse valor é 1,3 vezes maior que toda a quantidade de biomassa original total perdida entre 1997 e 2010. A Figura 2.a mostra as áreas que foram desmatadas entre 1997 e 2010, enquanto a Figura 2.b mostra o tipo de conversão de cobertura do solo realizada e os remanescentes florestais, de acordo com o TerraClass 2010.

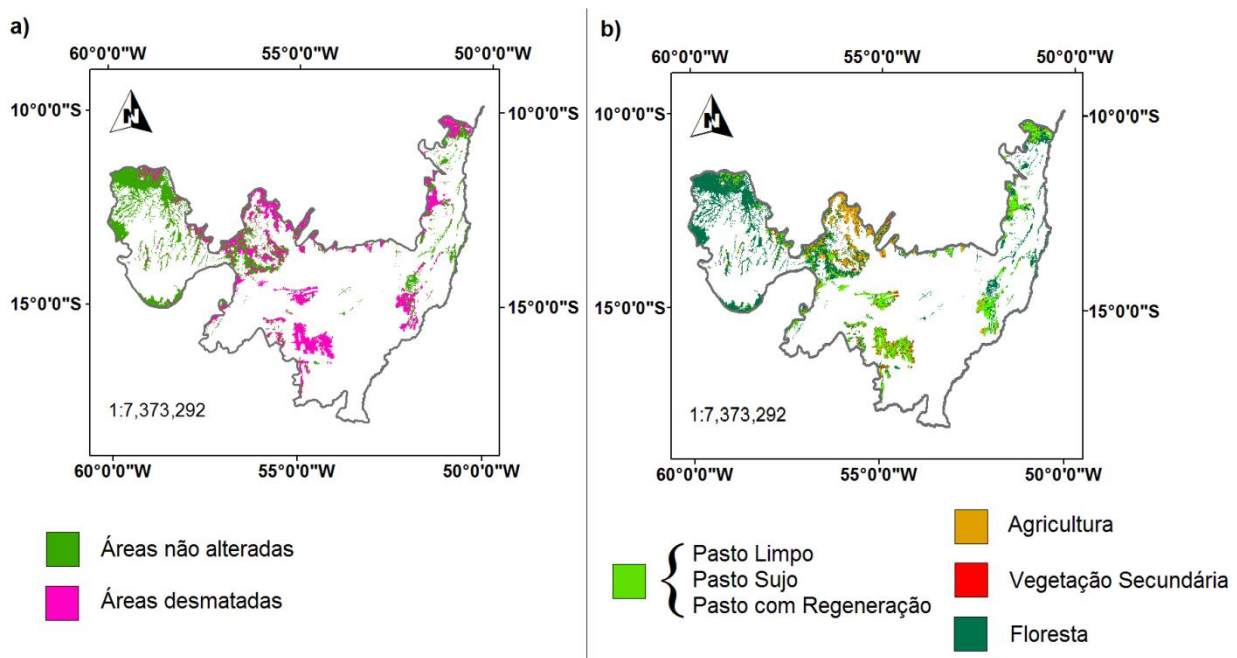


Figura 2.a) Desmatamento entre 1997 e 2010. 2. b) Áreas remanescentes de fisionomia florestal no Cerrado do mato grosso e as classes obtidas pelo TerraClass 2010, que foram mapeadas como corte raso pelo PRODES entre 1997 e 2009.

Relacionando-se a quantidade de biomassa total perdida entre 1997 e 2010 com o mapa PROBIO, realizado em 2002, é possível observar que a Floresta Estacional Semidecidual - Submontana (Fs) foi a região fitoecológica onde ocorreram as maiores alterações absolutas de biomassa, com a perda 107.053.399 toneladas, representando 22% do total de variações. A Figura 3 mostra a distribuição absoluta da biomassa original total perdida para cada classe ou região fitoecológica e a respectiva conversão de cobertura do solo. Já a tabela 1 mostra essa

relação em porcentagem, além de indicar as porcentagens representativas de cada região fitoecológica nos remanescentes florestais determinados pelo TerraClass 2010.

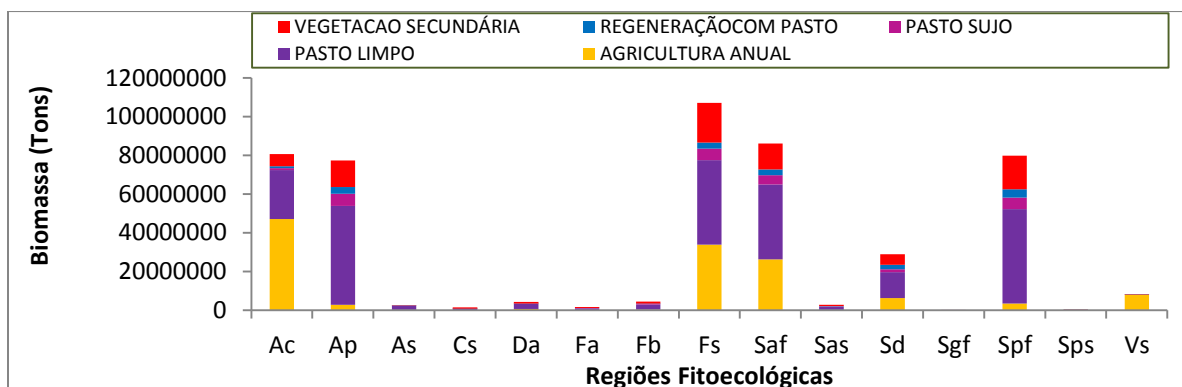


Figura 3. Distribuição absoluta da biomassa alterada para cada classe ou região fitoecológica e a respectiva conversão de cobertura do solo. Áreas Agrícolas -Ac, Áreas de pastagem -Ap, Floresta Ombrófila Aberta Submontana - As, Floresta Estacional Decidual Submontana - Cs, Floresta Ombrófila Densa Aluvial - Da, Floresta Estacional Semidecidual Aluvial - Fa, Floresta Estacional Semidecidual Terras baixas - Fb, Floresta Estacional Semidecidual Submontana - Fs, Savana Arborizada Sem floresta de galeria - Sas, Savana Com floresta de galeria - Saf, Savana Florestada - Sd, Savana Parque Com floresta de galeria - Spf, Savana Parque Sem floresta de galeria - Sps, Savana Gramíneo lenhosa Com floresta de galeria - Sgf, Vegetação Secundária - Vs.

Tabela 1. Dados em porcentagem da biomassa original perdida para cada classe ou região fitoecológica e a respectiva conversão de cobertura do solo em relação à biomassa original total perdida.

	Áreas desmatadas					Total	Remanescentes
	AGRICULTURA ANUAL	PASTO LIMPO	PASTO SUJO	REGENERAÇÃO C/ PASTO	VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA		
Ac	9,72	5,19	0,21	0,21	1,28	16,61	4,11
Ap	0,58	10,50	1,32	0,71	2,83	15,93	2,41
As	0,04	0,41	0,04	0,01	0,03	0,54	0,32
Cs	0,00	0,15	0,02	0,00	0,13	0,29	0,21
Da	0,12	0,56	0,02	0,02	0,17	0,89	0,08
Fa	0,02	0,18	0,02	0,01	0,09	0,33	3,92
Fb	0,06	0,55	0,10	0,01	0,19	0,90	0,59
Fs	6,97	8,98	1,24	0,65	4,21	22,04	39,15
Saf	5,42	7,97	0,98	0,60	2,78	17,75	24,44
Sas	0,03	0,33	0,06	0,03	0,14	0,58	2,53
Sd	1,28	2,77	0,31	0,49	1,11	5,94	14,50
Sgf	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
Spf	0,71	10,04	1,22	0,90	3,58	16,44	7,05
Sps	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,04	0,46
Vs	1,66	0,00	0,00	0,01	0,04	1,71	0,11
Total	26,60	47,66	5,52	3,65	16,57	100,00	100,00

4. Considerações finais

A partir dos processos aplicados e dos resultados obtidos para a o Cerrado do estado do Mato Grosso – BR pode-se concluir que:

1. A perda da biomassa original das áreas de fisionomia florestal do Cerrado entre 1997 e 2010 foi igual a 485.639.776 de toneladas.
2. A maior conversão das áreas desmatadas foi de floresta para Pasto Limpo, com uma área de 1.587.626 hectares.
3. Entre as áreas de fisionomia florestal dos Cerrados do Mato Grosso restam 4.435.978 hectares de remanescentes florestais, com uma quantidade estimada de biomassa acima do solo igual a 645.508.134 toneladas.
4. A maior parte das alterações absolutas na biomassa ocorreu na região fitoecológica Floresta Estacional Semidecidual Submontana.

Referências

- ACHARD, F.; EVA, H. D.; STIBIG, H. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. **Science**, 297, 999–1002, 2002.
- ALHO, C.J.R.; MARTINS, E.S. **De grão em grão o Cerrado perde espaço** (Cerrado - Impactos do Processo de Ocupação). Brasília: WWF, 1995.
- BITENCOURT, M. D.; MESQUITA JR., H. N.; MANTOVANI, W.; BATALHA, M. A.; PIVELLO, V. R. Identificação de fisionomias de Cerrado com imagem índice de vegetação. In: **CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO ECOLÓGICO DO CERRADO**, 1, 1997, Brasília. **Anais...** Brasília: Universidade de Brasília, Dep.de Ecologia, 1997. p. 316-320.
- BROWN DE COLSTOUN, E. C.; STORY, M. H.; THOMPSON, C.; COMMISSO, K.; SMITH T. G.; IRONS, J. I. National Park vegetation mapping using multitemporal Landsat 7 data and a decision tree classifier. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 3, nº 85, p. 316–327, 2003.
- BROWN, S.; LUGO, A. E. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, 6, 1–32, 1990.
- DEFRIES, R.; ACHARD, F. New estimates of tropical deforestation and terrestrial carbon fluxes: results of two complementary studies. **LUCS Newsletter**, 8, 7–9. 2002.
- Edital Probio 02/2004 – **Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado**. 93 p, 2004.
- FEARNSIDE, P. M. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. **Climatic Change**, 46, 115–158, 2000.
- FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions. **Climate Change**, 35, 321–360, 1997.
- FERREIRA, L. G.; AND HUETE, A. R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**. v. 25, n. 10, p.1837-1860, 2004.
- GRAINGER, A. An analysis of FAO's tropical forest resource assessment 1990. **The Geographical Journal**, 162, 73–79, 1996.

HOUGHTON, R. A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000, **Tellus B**, 55, 378–390, 2003

HOUGHTON, R. A.; K. T. LAWRENCE; J. L. HACKLER; AND S. BROWN. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: A comparison of estimates, **Global Change Biology**, 7, 731–746, 2001.

HOUGHTON, R.; K. RAMAKRISHNA. A review of national emissions inventories from select Non-Annex I Countries: Implications for counting sources and sinks of carbon. **Annual Review of Energy and Environment**, 24, 571-605, 1999.

KINTISH, E. Improved monitoring of rainforests helps pierce haze of deforestation. **Science** 316, 536–537, 2007.

MATTHEWS, E. **Understanding the FRA 2000, Forest Briefing No. 1.** World Resources Institute, Washington, DC. 12 p. 2001.

MCGUIRE, A. SITCH, D.; S.; CLEIN, J. S.; DARGAVILLE, R.; ESSER, G.; FOLEY, J.; HEIMANN, M.; JOOS, F.; KAPLAN, J.; KICKLIGHTER, D. W.; MEIER, R. A.; MELILLO, J. M.; MOORE, B.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; REICHENAU, T.; SCHLOSS, A.; TIAN, H.; WILLIAMS, L. J.; WITTENBERG, U. Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: Analyses of CO₂, climate and land use effects with four process-based ecosystem models, **Global Biogeochemical Cycles**, 15, 183–206, 2001.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. Flora vascular do Cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P. **Anais...** Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 289-556, 1998.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. v. 403, p.853-858, 2000.

POTTER, C. S. Terrestrial biomass and the effects of deforestation on the global carbon cycle. **Bioscience**, 49, 769-778, 1999.

RAMANKUTTY, N.; GIBBS, H. K.; ACHARD, F.; DEFRIES, R.; FOLEY, J. A ; HOUGHTON, R. A. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. **Global Change Biology**, 13: 51–66. 2007.

RATTER, J.A., RIBEIRO, J.F., BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Ann. Bot.-London** 80, 223–230, 1997.

SAATCHI, S. S. ET AL. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **Proc. Natl Acad. Sci. USA** <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1019576108> (2011).