

Vulnerabilidade e integridade de padrões de uso e cobertura da terra na Área de Endemismo Tapajós entre 2004 a 2012.

Afonso Henrique Moraes Oliveira^{1,2}
Marcos Adami²
Alessandra Rodrigues Gomes²
Silvana Amaral³
Lucieta Guerreiro Martorano⁴
Igor da Silva Narvaes²
Márcia Nazaré Rodrigues Barros²
Maria de Nazaré Martins Maciel¹

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA
Av. Perimetral, 2501 – CEP 66077-830 - Belém - PA, Brasil
afonsoholiveira@gmail.com
nazare.maciel@ufra.edu.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/CRA
Av. Perimetral, 2651 – CEP 66077-830 Belém - PA, Brasil
{marcos.adami, alessandra.gomes, igor.narvaes, marcia.barros}@inpe.br

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
silvana@dpi.inpe.br

⁴ Embrapa Amazônia Oriental
Caixa Postal 48 – CEP 66095-100 Belém, PA, Brasil
lucieta.martorano@embrapa.br

Abstract. This paper analyzes the transition process of land use and land cover classes in the Tapajós area of endemism (AE) from 2004 to 2012. Using data from mapping carried out by the TerraClass project, and based on transition matrices, vulnerability, land usage and coverage were estimated. From the detailed transition matrix, we calculated net changes, gains, losses, persistence and, we can identify the vulnerability and the integrity of these classes. The Forest class was most sensitive to the changes and most fragile and susceptible to transitions. The Secondary Vegetation class presented high values of net persistence and the Class of Annual Agriculture presented high persistence. The Pasture class presented high susceptibility to loss of area to other classes. The Forest class of Tapajós AE was the most vulnerable to loss, change of use and coverage, with negative net persistence of 0.05. Secondary vegetation was characterized as a stable and growing class, with great potential for stabilization and permanence. Despite suffering from migration processes, Secondary Vegetation presented a positive growth of 1.63%, indicating the presence of successional sites and signs of recovery of deforested areas. The Annual Agriculture presented significant gains, mainly from the pasture areas, with 1.43% persistence, being configured as the class of greater integrity and tendency to extend its area. The conversion to pasture has been one of the main elements associated with deforestation in the region. The Pasture class was also considered a vulnerable class to the processes of change, reaching 0.15% of persistence.

Palavras chaves: amazon, remote sensing, land use cover, transition matrix, amazônia, sensoriamento remoto, uso e cobertura da terra, matriz de transição.

1. Introdução

O ambiente Amazônico, nas últimas décadas, tem sofrido intensos processos de mudanças em sua cobertura e, conseqüentemente alterando a paisagem pelo processo de ocupação que promove a conversão da floresta em áreas antrópicas com para as atividades agropecuárias (Aguiar et al, 2012; Fearnside, 2008). Essa conversão de floresta desencadeia mudanças como alterações em ciclos biogeoquímicos, aumento da emissão de CO₂ para

atmosfera, poluição dos rios, redução na biodiversidade, principalmente em se tratando de fauna e flora (Schiesari et al, 2013; Morton et al, 2011; Gibbs et al, 2015; Carreiras et al, 2014), entre outras consequências ambientais, sociais e econômicas.

Devido à diversidade ambiental e sua dimensão continental, a Amazônia possui áreas com padrões específicos, como nas Áreas de Endemismos (AE), que são consideradas a menor unidade geográfica para o estudo de biogeografia histórica. Essas áreas servem de base para formulação de hipóteses sobre os processos chaves na formação da biota regional (Silva et al., 2005). Desta forma, as AE abrigam um conjunto de espécies, comunidades e ecossistemas únicos e insubstituíveis que não são encontrados em outros lugares (Morrone e Crisci, 1995; Silva et al., 2005), o que torna este recorte espacial útil para orientar políticas de conservação ambiental.

Em particular, a AE Tapajós tem sido local de intensas alterações em sua cobertura vegetal natural, decorrente do avanço dos sistemas de produção em larga escala, relacionados, basicamente aos sistemas de produção agropecuário na região. Mudanças de uso e cobertura do solo são as principais causas da perda de biodiversidade na AE, onde observa-se que aproximadamente 20% das áreas florestadas foram substituídas por outra cobertura do solo nas últimas décadas (INPE, 2016).

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento vem auxiliando na compreensão dessa dinâmica espaço-temporal na Amazônia, objetivando subsidiar estratégias para conter o desmatamento ilegal e entender as implicações que as mudanças de uso da terra podem causar aos ecossistemas e ao meio ambiente local e global (Morton et al, 2006; Aguiar et al, 2007; Rudorff et al, 2011; Spera et al, 2014; Diniz et al., 2015). Dentre estas iniciativas, o projeto PRODES, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), desde 1988 monitora o desmatamento por corte raso (condição em que o solo se encontra totalmente exposto pela retirada da floresta nativa) a partir da análise de imagens dos satélites da série Landsat, possibilitando quantificar as taxas anuais de perda florestal. O PRODES sistematiza um banco de dados multi-temporal, com as imagens e as informações de desmatamento amplamente utilizado pela comunidade científica em geral, e que são a base de informações utilizados pelo governo brasileiro para o estabelecimento de políticas públicas de comando e controle do desmatamento.

Dando continuidade ao monitoramento da Amazônia, o projeto TerraClass foi idealizado para entender os processos de ocupação e mudança de uso da terra da Amazônia Legal que sucedem ao corte raso. Assim, o TerraClass tem o objetivo de qualificar as áreas desmatadas na Amazônia Legal mapeadas pelo PRODES, mapeando as diferentes classes de uso e cobertura que se estabeleceram nas áreas desflorestadas (Almeida et al., 2016). Com a frequência bianual, os resultados do TerraClass permitem acompanhar e analisar a dinâmica de uso e cobertura da terra, provendo informações úteis ao planejamento, tomada de decisões e apoio a políticas públicas voltadas para mitigação dos efeitos decorrentes dessas mudanças.

Dada a importância do monitoramento das mudanças de uso e cobertura, este trabalho tem o objetivo de analisar e identificar a vulnerabilidade e a integridade das classes de uso e cobertura da terra do projeto TerraClass, estudando para isso a área de endemismo Tapajós, no período de 2004 a 2012.

2. Metodologia de trabalho

2.1 Área de estudo

A AE Tapajós está localizada ao Oeste do Pará e ao Norte do Mato Grosso e representa cerca de 13% de toda Amazônia Legal com área de 656.150,10 km². Esta AE é composta por 56 municípios, 17 no estado do Pará e 39 no estado do Mato Grosso, e abriga 35 terras indígenas (TI), sendo que três delas estão nos limites entre os dois estados, 14 estão no estado do Mato Grosso e 18 no estado do Pará, somando 25,58% de toda a área de endemismo. Há 18 unidades

de conservação (UC) nesta AE, compreendendo 23,97% da área total, incluindo Florestas Nacionais, Reservas Biológicas, Reservas Extrativistas, Parques Nacionais, e outras unidades de conservação (Figura 1). Aproximadamente 50% da área de endemismo corresponde às UCs ou TI, e de modo geral, sua cobertura do solo compreende 73% de áreas de floresta nativa, 20% de área desmatada, 6% de áreas de não floresta e 1% de hidrografia (INPE, 2015).

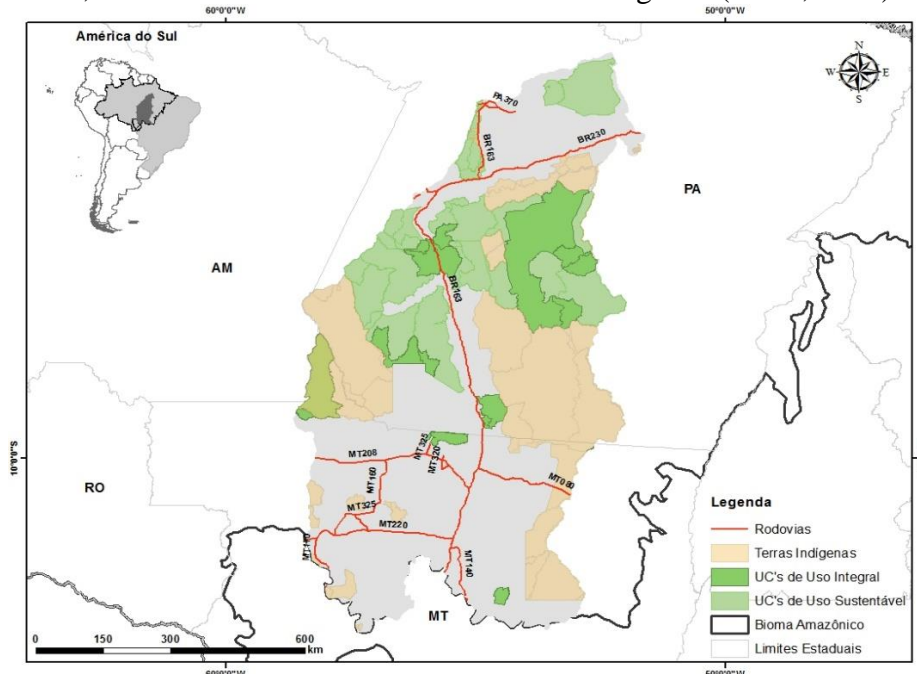


Figura 1. Localização da área de Endemismo Tapajós.

2.2 Material

Neste trabalho foram utilizados dados de uso e cobertura da terra do Projeto TerraClass (Almeida et al., 2016) dos mapeamentos referentes a 2004 e 2012. As classes temáticas originais foram agrupadas, conforme apresentado na Tabela 1, para que fosse possível focar a análise considerando os sistemas de produção em larga escala da área, como pecuária e agricultura mecanizada, relevantes para a AE Tapajós.

Tabela 1. Critérios e definições adotados para agregação das Classes do projeto TerraClass.

Classes originais TerraClass	Classes agregadas	Definição
Floresta	Floresta	Área de floresta primária da Amazônia Legal não alterada, compatível com a definição do projeto Prodes.
Vegetação Secundária Regeneração com Pasto	Vegetação Secundária	Áreas que, após a supressão total da vegetação florestal, encontram-se em processo avançado de regeneração da vegetação arbustiva e/ou arbórea apresentando dominância de espécies arbustivas e pioneiras arbóreas e com alta diversidade florística.
Agricultura Anual	Agricultura Anual	Áreas extensas com predomínio de culturas de ciclo anual, sobretudo de grãos, com emprego de padrões tecnológicos elevados, tais como uso de sementes certificadas, insumos, defensivos e mecanização, entre outros.
Pasto Limpo Pasto Sujo Pasto com solo Exposto	Pastagem	Áreas em processo produtivo ou em estágios de degradação com desenvolvimento de alguma atividade agropastoril. Predomínio de vegetação herbácea, e cobertura de espécies de gramíneas.
Área Urbana Mineração Mosaico de ocupações Outros Área não Observada	Outros	Demais classes do Projeto TerraClass.

2.3 Método

Após a agregação das classes originais, os mapeamentos TerraClass referentes aos anos de 2004 e 2012 foram analisadas de forma integrada para contabilizar as áreas de intersecção entre as classes. Estes dados permitiram a criação da matriz de transição para calcular aos ganhos, as perdas e as persistências entre as classes, e por conseguinte, apontar a vulnerabilidade e a integridade das classes (Pontius et al., 2004). Na matriz de transição, as linhas representam as classes do tempo 1 (2004) e as colunas apresentam as classes do tempo 2 (2012). Nessa matriz a variável C refere-se à classe enquanto que o índice i refere-se ao tempo 1 e o índice j refere-se ao tempo 2. Dessa maneira, quando $i \neq j$, C_{ij} indicam uma transição da classe no tempo i para outra classe no tempo j . Na diagonal principal, onde $i = j$, C_{ij} indica a persistência, ou seja, a permanência da classe no período. No total das colunas a notação C_{i+} denota a proporção de classe no tempo j . No total das linhas, a notação C_{+j} apresenta a proporção da classe no tempo i (Tabela 2).

Tabela 2. Matriz de transição e uso e cobertura para cinco classes.

		Ano t2						
Classes		Agricultura Anual	Floresta	Outros	Pastagem	Vegetação Secundária	Total de t1	Perda
Ano t1	Agricultura Anual	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{1+}	$C_{1+} - C_{11}$
	Floresta	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{2+}	$C_{2+} - C_{22}$
	Outros	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}	C_{35}	C_{3+}	$C_{3+} - C_{33}$
	Pastagem	C_{41}	C_{42}	C_{43}	C_{44}	C_{45}	C_{4+}	$C_{4+} - C_{44}$
	Vegetação Secundária	C_{51}	C_{52}	C_{53}	C_{54}	C_{55}	C_{5+}	$C_{5+} - C_{55}$
	Total t22	C_{+1}	C_{+2}	C_{+3}	C_{+4}	C_{+5}	1	
	Ganho	$C_{+1} - C_{11}$	$C_{+2} - C_{22}$	$C_{+3} - C_{33}$	$C_{+4} - C_{44}$	$C_{+5} - C_{55}$		

O procedimento adotado para o cálculo das mudanças líquidas (*net change*), ganho (*gain*), perda (*loss*) e vulnerabilidade das classes segue a metodologia recomendada por Pontius et al., (2004), sintetizadas na Tabela 3. Mudanças líquidas correspondem à diferença entre o ganho e a perda de cada classe durante o período analisado, no caso de 2004 a 2012, enquanto que a permuta se refere às perdas e ganhos simultâneos de um determinado tipo de uso em diferentes locais. A Equação 1 é usada para calcular a proporção da classe que sofre perda líquida entre os tempos i para j , enquanto que a Equação 2 é usada para calcular a proporção da classe que apresenta ganho líquido nos tempos i para j . A vulnerabilidade e a integridade de cada classe de uso de transição é calculada usando a relação entre o ganho e a persistência (Equação 3), a relação perda para persistência (Equação 4) e as mudanças líquidas para a persistência (Equação 5). Valores de ganho/persistência (G_p) maiores que 1 indicam que a classe tem maior tendência de ganhar áreas das outras classes do que perder área (ou ser convertida para outras classes) Valores negativos de N_p indicam que a classe tem maior tendência a perder área do que ganhar.

Tabela 3. Equações, abreviação e interpretação.

	Abreviação	Nome	Equação	Interpretação
Eq. 1	$C_i + - C_{ii}$ ou g	Perda Líquida	$\sum_{i=1}^n C_{ij} - C_{ii}$	A magnitude de perda para a classe.
Eq. 2	$C + j - C_{jj}$ ou l	Ganho Líquido	$\sum_{j=1}^n C_{ij} - C_{jj}$	A magnitude de ganho para a classe.
Eq. 3	G_p	Ganho para persistência	$G_p = g * p^{-1}$	G_p superior a 1 indica que a classe de uso considerada, tem uma maior tendência a ganhar área das outras classes que persistem.
Eq. 4	L_p	Perda para persistência	$L_p = l * p^{-1}$	L_p negativo indica que a classe de uso considerada tem uma maior tendência a perder das outras classes que persistem.
Eq. 5	N_p	Persistência Líquida	$N_p = G_p - L_p$	N_p negativo indica que a classe de uso tem uma maior tendência a perder área para os outros tipos de classes, de que ganhar delas.

A Notação C_{ij} , ($\forall i \neq j$) indica a proporção de área que experimentou transição da classe i para classe j entre T1 e T2. A diagonal principal, C_{jj} indica a proporção de persistência da classe j . C_{i+} e C_{+j} indica a proporção de área ocupada pela classe i e j respectivamente. n é o total do número de classes. A nomenclatura g , p e l representam, o ganho, persistência e perda respectivamente.

Adaptado: Ouedraogo, (2015).

3. Resultados e Discussão

A classe Floresta, foi a mais sensível à mudanças quando analisado o valor de perda para persistência (L_p) de 0,05 e persistência líquida de -0,05 (Tabela 4). Esses índices identificam essa classe como a mais frágil e susceptível às transições. O resultado reforça a necessidade de desenvolver políticas de proteção das áreas florestais, uma vez que as classes Pastagem, Vegetação Secundária e Agricultura têm exercido fortes pressões sobre a floresta (Morton et al, 2006; Diniz et al., 2015), como indicam as centenas de hectares de floresta perdidos anualmente na AE. A classe Floresta apresentou perdas na ordem de 3,54%, sendo que a maior parcela, ou seja de 1,63%, foi convertida para a classe Pastagem. Essa transição implica em perdas da integridade funcional, como a perda de diversidade genética, aumento de emissões de gases de efeito estufa (Aguiar et al, 2012), bem como desequilíbrio do ciclo hidrológico (Aragão 2012). Em se tratando de uma AE, a manutenção das espécies animais e vegetais endêmicas é fundamental para a conservação da biota local.

A classe Vegetação Secundária apresentou o maior valor de persistência líquida dentre as classes estudadas, 1,38% de N_p , G_p de 1,63% e persistência de 1,97% (Tabela 4), o que significa que essa classe tende a ser permanente na área. Os valores elevados de persistências de Vegetação Secundária são favoráveis para a conservação da AE Tapajós, uma vez que essas áreas têm papel fundamental na manutenção dos ecossistemas no que se refere à recuperação de áreas degradadas, reflorestamento, regeneração natural e sequestro de carbono (Poorter et al, 2016; Mesquita et al, 2001).

Tabela 4. Matriz de transição e resultados do Ganho para Persistência (G_p), Perda para Persistência (L_p) e Mudança Líquida para Persistência (N_p) em relação as classes de cobertura na Área de Endemismo, entre 2004 a 2012.

Matriz de transição							
		Classes				Total	Perda
		2012				2004	Total
Classes 2004	Agricultura Anual	Floresta	Outros Usos	Pastagem	Vegetação Secundária		
Agricultura Anual	1,26	0	0,01	0,03	0,02	1,32	0,06
Floresta	0,3	73,45	0,37	1,63	1,24	76,99	3,54
Outros Usos	0,44	0	7,33	1,04	0,69	9,5	2,17
Pastagem	0,9	0	0,34	6,6	1,27	9,11	2,51
Vegetação Secundária	0,16	0	0,14	0,81	1,97	3,08	1,11
Total 2012	3,06	73,45	8,19	10,11	5,19	100	9,39
Ganho total	1,8	0	0,86	3,51	3,22	9,39	
Análise da Persistência							
Ganho/persistência (G_p)	1,43	0,00	0,12	0,53	1,63		
Perda/persistência (L_p)	0,05	0,05	0,30	0,38	0,56		
Net Persistência (N_p)	1,38	-0,05	-0,18	0,15	1,07		

A classe Agricultura Anual apresentou elevada persistência, sendo o maior N_p (1,38%) dentre as classes estudadas, indicando que essa classe tem a maior tendência de aumentar sua área ocupada. O G_p foi maior que 1 apenas para Agricultura Anual e Vegetação Secundária, evidenciando que essas classes têm maior tendência a ganhar área das outras classes, e se comportam como classes robustas e consolidadas, apresentando as menores perdas. Em outras palavras, a classe Agricultura Anual foi a classe de maior integridade e tendência de ganho de áreas (G_p), conforme os valores apresentados na Tabela 4. Dados de alta persistência (1,26%) e baixa permuta (0,12%) confirmam essa tendência. A criação de um porto em 2003, no município de Santarém para escoar a produção de soja do Mato Grosso acabou impulsionando a produção agrícola nos municípios vizinhos, o que pode explicar os valores crescentes de ganho e valores baixos de realocação da classe. Adicionalmente, a região possui características edafoclimáticas e de infraestrutura de suporte que são primordiais à produção agrícola (Martini et al., 2015; Garrett, 2013; Gibbs, 2015; Lapola, 2013).

A classe Floresta não apresentou valores elevados de resistência à mudança, e devido a esta fragilidade, são necessárias propostas alternativas de produção sustentáveis para conter o avanço do agronegócio em áreas de florestas naturais. Esse resultado se opõe ao obtido para a classe Agricultura, que apresentou elevados valores de N_p e ganho. A produção agropecuária é impulsionada pelas demandas internacionais que estimulam a produção dessas commodities, o que faz a classe Agricultura seja a mais consolidada nesta região (Morton et al, 2006; Fearnside, 2005). Sistemas de produção integrados e políticas governamentais podem intervir como soluções mitigadoras destas alterações na paisagem (Cohn et al 2014; Luizão, 2009; Lambin et al, 2013; Séguéy et al, 1998).

A classe de Pastagem apresentou elevada susceptibilidade à perda de área para outras classes, o valor de 0,15% de N_p denota alto grau de vulnerabilidade à transição para outros usos, evidenciando que a classe não está consolidada e apresenta fragilidade, ao ter área convertida para as classes que apresentaram ganho líquido positivo. A instabilidade das áreas de Pastagem é tema recorrente na literatura científica da região Amazônica e os resultados aqui obtidos corroboram e são consistentes com outros estudos realizados na região do arco do

desflorestamento (Lambin et al, 2003; Fearnside, 2007; Rudel, 2009; Barrona, 2010). Esta classe tem grande potencial para ser implementada em novas áreas, e nesse contexto, para a AE Tapajós observou-se que a classe Floresta é a que mais perde área para Pastagem, seguida pela classe Vegetação Secundária.

4. Conclusões

Na AE Tapajós, a classe Floresta foi a classe mais vulnerável à perda e mudança de área de uso e cobertura. Vegetação Secundária mostrou-se uma classe estável e crescente, com grande potencial de estabilização e permanência. A Agricultura Anual apresentou aumentos significativos de área em detrimento principalmente das áreas de Pastagem com os maiores valores de integridade e menor suscetibilidade. A Pastagem configurou-se como um dos principais mecanismos de desmatamento na região, ocupando considerável parte da área perdida pela Floresta e impulsionando a perda de integridade dos ecossistemas naturais com seus elevados valores de realocação.

Projetos envolvendo sensoriamento remoto por satélite, tais como TerraClass e PRODES são fundamentais ao monitoramento e mapeamento da dinâmica de uso de cobertura de AE, bem como de toda a Amazônia. As avaliações de áreas vulneráveis e com maior capacidade de manutenção de suas integridades apontam indicadores de desenvolvimento sustentável em áreas endêmicas na Amazônia como é o caso da Área de Endemismo Tapajós.

BIBLIOGRAFIA

- Aguiar, A. P. D., Câmara, G., & Escada, M. I. S. (2007). **Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: exploring intra-regional.**
- Aguiar, et al; (2012), Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: the INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon. **Glob Change Biol**, 18: 3346–3366. doi:10.1111/j.1365-2486.2012.02782.
- Almeida, et al; High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 3, p. 291-302, Sept. 2016.
- Aragao, L.E.O.C. (2012). Environmental science: The rainforest's water pump. *Nature*, 489, 217-218
- Barona, N. Ramankutty, G. Hyman, O.T. Coomes. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, 5 (2) (2010), pp. 1–9
- Carreiras, J. M. B., Jones, J., Lucas, R. M., & Gabriel, C. (2014). Land Use and Land Cover Change Dynamics across the Brazilian Amazon: Insights from Extensive Time-Series Analysis of Remote Sensing Data. **PLoS ONE**, 9(8), e104144. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0104144>.
- Cohn, A. Mosnier, P. Havlík, H. Valin, M. Herrero, E. Schmid, M. O'hare; M. Obersteiner. Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation **PNAS** 2014 111 (20) 7236-7241; published ahead of print April 28, 2014.
- Diniz, et al; DETER-B: The New Amazon Near Real-Time Deforestation Detection System. **IEEE JSTARS**, 8, 3619-3628, 2015.
- Fearnside P M 2007 Deforestation in Amazonia *Encyclopedia of Earth* ed C J Cleveland (Washington, DC: Environmental Information Coalition, **National Council of Science and the Environment**), available at [www.eoearth.org/article/Deforestation in Amazonia](http://www.eoearth.org/article/Deforestation%20in%20Amazonia)
- Fearnside P. M. 2005; Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates and consequences **Conserv. Biol.** 19 680–8
- Fearnside, P. M. 2008. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. **Ecology and Society** 13(1): 23. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art23/>.
- Garrett, R.D., Lambin, E.F., Naylor, R.S., 2013. Land institutions and supply chain configurations as determinants of soybean planted area and yields in Brazil.

Gibbs, H.K., Rausch, L., Munger, J., Schelly, I., Morton, D.C., Noojipady, P., Soares-Filho, B., Barreto, P., Micol, L., Walker, N.F., 2015. Brazil's Soy Moratorium. **Science** 347, 377–378.

INPE: http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2014.htm (acesso em: 15 Março 2016), 2015

Lambin E. F., Geist H. J., Lepers E. 2003 Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions *Annu.Rev. Environ. Resour.* 28 205–41

Lambin, et al; 2013. Estimating the world's potentially available cropland using a bottom-up approach. **Global Environ. Change** 23, 892–901.

Lapola, et al., 2013. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nat. Clim. Change** 4, 27–35.

Luizão, F.J., P.M. Fearnside, C.E.P. Cerril, J. Lehmann. 2009. The maintenance of soil fertility in Amazonian managed systems. pp. 311-336. In: M. Keller.

Martini, D. Z., Moreira, M. A., Aragão, L. E. O. C., Formaggio, A. R., & Dalla-Nora, E. L. (2015). Potential land availability for agricultural expansion in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**.

Mesquita, R.C.G., Ickes, K., Ganade, G., & Williamson, G.B. (2001). Alternative successional pathways in the Amazon Basin. **Journal of Ecology**, 89, 528-537.

Morrone, J.J. & J.V. Crisci. 1995. Historical biogeography: introduction to methods. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26: 373-401.

Morton, et al; Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon, P. Natl. Acad. Sci. USA, 103, 14637–14641, doi:10.1073/pnas.0606377103, 2006.

Morton, D. C., Sales, M. H., Souza, C. M., & Griscom, B. (2011). Historic emissions from deforestation and forest degradation in Mato Grosso, Brazil: 1) source data uncertainties. **Carbon Balance and Management**, 6, 18. <http://doi.org/10.1186/1750-0680-6-18>.

Ouedraogo, I.; Mbow, C.; Balinga, M.; Neufeldt, H. Transitions in Land Use Architecture under Multiple Human Driving Forces in a Semi-Arid Zone. *Land* 2015, 4, 560-577.

Pontius, R.G.; Shusas, E.; Mceachern, M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2004, 101, 251–268.

Poorter, et al; Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, 530, 211-214, 2016.

Rudel, T.K., Defries, R., Asner, G.P., Laurance, W.F., 2009. Changing drivers of deforestation and new opportunities for conservation. **Conserv. Biol.** 23, 1396–1405.

Rudorff, C. M.; Melack, J. M.; Macintyre, S.; Barbosa, C. C. F.; Novo, E. M. L. M. Seasonal and spatial variability of CO₂ emission from a large floodplain lake in the lower Amazon. **Journal of Geophysical Research**, v. 116, n. G04007, p. 1-12, Oct. 2011. doi: <10.1029/2011JG001699>.

Schiesari L, Waichman A, Brock T, Adams C, Grillitsch B. 2013 Pesticide use and biodiversity conservation in the Amazonian agricultural frontier. *Phil. Trans. R. Soc. B* 368,20120378.(doi:10.1098/rstb.2012.0378).

Séguy, L.; Bouzinac, S.; Maronezzi, A.C.; Taffarel, W. & Taffarel, J. 1998. O Plantio Direto de arroz de sequeiro de alta tecnologia na zona tropical úmida do Centro-Norte.

Silva, J.M.C. 2005. Áreas de endemismo da Amazônia. *Ciência & Ambiente* 31, 25–38.

Spera, S.A., Cohn, A.S., Vanwey, L.K., Mustard, J.F., Rudorff, B.F., Risso, J., Adami, M., 2014. Recent cropping frequency, expansion, and abandonment in Mato Grosso, Brazil had selective land characteristics. **Environ. Res. Lett.** 9, 064010.