

# QUO VADIS, CAPOEIRA? OU TIPIFICAÇÃO DE DESFLORESTAMENTO NO ESTADO DO PARÁ (2000–2014)

*Moisés Cordeiro Mourão de Oliveira Júnior*

*Adriano Venturieri*

*Claudio Aparecido de Almeida*

*René Jean Marie Pocard-Chapuis*

*Hervé Théry*

## Introdução

Como exemplo mais difundido de expansão do desflorestamento no mundo (London; Kelly, 2007), a Amazônia brasileira tem apresentado diferentes comportamentos ao longo de sua história recente. Segundo Becker (2005), as fases de desenvolvimento da Amazônia podem ser distinguidas em duas, tais sejam: (i) 1960–1970 – em que, sob orientação do governo federal, buscou-se agregar e homogeneizar todo o território nacional, com vistas à integração às demais regiões do País, por meio do estímulo de assentamentos agrícolas, subsídios a projetos agroextrativistas e agroindustriais e criação de polos de produção industrial, como no caso da Zona Franca de Manaus; (ii) meados da década de 1980 até o presente – em que o avanço espontâneo de atividades econômicas e seus agentes, na maioria das vezes articulados à economia internacional, buscam atender demandas por produtos oriundos de recursos naturais.

Nesse cenário, de modo praticamente concomitante à segunda fase de desenvolvimento na Amazônia, advém a reabertura política do País e, também, surge a preocupação com o desflorestamento na região (Prates, 2008). Ressaltando-se, também, a diferença dos graus de intervenção governamental entre as fases (Becker, 2005), o que também pode refletir na adoção de novas concepções.

Com a disponibilização de novas tecnologias de monitoramento por satélite, surgem as primeiras bases de dados de desflorestamento, fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), representadas pelo Projeto de Estimativa de Desflorestamento da Amazônia (Prodes) e pelo Projeto Detecção de Áreas Desflorestadas em Tempo Real (Deter). O Prodes é o pioneiro e tem como base o uso das imagens dos satélites Landsat 7 e CEBRS 2, com resolução de 625 m<sup>2</sup>, e tem como objetivo o fornecimento de estimativas de áreas da Amazônia Legal desflorestadas em um determinado período. Já o Deter utiliza imagens dos satélites da família EOS, com resolução de 62,5 mil metros quadrados (Câmara; Valeriano, 2006; Prates, 2008). Busca-se, desse modo, complementaridade entre a representação mais precisa do desflorestamento em um intervalo de tempo maior e um registro acurado da ocorrência de desflorestamento em um intervalo de tempo mais instantâneo. Entretanto, algumas limitações quanto à indistinção entre o registro de desflorestamento em áreas de Florestas Densas e outras formações florestais, como a Vegetação Secundária, ainda são apontadas como limitantes a essas abordagens (Almeida et al., 2010).

A partir desse ferramental, vários estudos analisando o desflorestamento foram empreendidos, buscando expressar suas taxas, expressão e expansão (Fearnside, 1993, 2005, 2006), consequências (Torras, 2000; Wood; Porro, 2002), causas (Lambin et al., 2001; Geist; Lambin, 2001; Margulis, 2004), cenários e dinâmicas (Lambin et al., 2000; Laurance; Albernaz, 2002; Soares-Filho et al., 2006, 2008; Kirby et al., 2006; Lorena; Lambin, 2009).

Buscando indicar as causas do desflorestamento em regiões tropicais, Geist e Lambin (2001) definem duas naturezas de causalidade: (i) causas imediatas – definidas como um conjunto de fatores de expressão concreta, constitutiva ou mesmo finalística, sendo representadas por (i.a) expansão agrícola – agricultura permanente, itinerante, pecuária, colonização, transmigração e reassentamento; (i.b) extração madeireira – exploração comercial madeireira, lenha, mourões, produção de carvão vegetal; (i.c) extensão de infraestrutura – transporte, mercados, serviços públicos, expansão de assentamentos; infraestrutura de empresas privadas e (ii) causas latentes – definidas como um conjunto de fatores atuantes de modo subjacente na forma de um processo, sendo representadas por: (ii.a) fatores econômicos – crescimento de mercados e comercialização, estruturas econômicas específicas, urbanização e industrialização, parâmetros econômicos específicos; (ii.b) fatores políticos e institucionais – políticas formais e informais, regimes de direito de propriedade; (ii.c) fatores tecnológicos – mudanças agrotecnológicas, aplicação de tecnologias no setor madeireiro,

outros fatores de produção; (ii.d) fatores culturais ou sociopolíticos – atitudes públicas e valores, crenças, comportamento individual e doméstico; (ii.e) fatores demográficos – pressão populacional, crescimento, densidade, imigração, distribuição espacial da população. Dentre as causas imediatas, uma pequena fração é assinalada como causa, sob a forma de fator único, e em forma combinada os fatores expansão agrícola, extração de madeira e expansão de infraestrutura foram os mais expressivos.

Entretanto, com a gradual consolidação das atividades agropecuárias (Pacheco; Pocard-Chapuis, 2012; Soler et al., 2014) na região, assinala-se uma nova fase (a partir de meados dos anos 2000), que conjugada à ação de políticas de redução do desflorestamento, apresenta níveis de desflorestamento estabilizados em patamares inferiores (Le Tourneau, 2016; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017). Surgindo, assim, a necessidade de uma nova alternativa de produção (Aguiar et al., 2016) e governança (Dias et al., 2015) nas áreas pós-desflorestamento, consolidando a transição nas áreas fronteiriças aos remanescentes florestais e promovendo sua conservação (Gardner, 2013).

Um dos pontos centrais para o entendimento da dimensão territorial do desflorestamento, ou de qualquer outra condição de uso e cobertura da terra, é descrever e sintetizar o seu comportamento ao longo de toda uma série histórica, buscando aferir seu ritmo de expansão ou retração, suas condições iniciais e finais (Chardonnel, 2007). Assim, o presente trabalho tem como objetivo propor uma tipologia do desflorestamento nos municípios do estado do Pará, a partir de uma série de dados compreendendo os anos de 2000 a 2014.

## **Material e métodos**

A partir de uma matriz de dados TerraClass consolidada (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2016b; Almeida et al., 2016) contendo as diferentes formas de uso e cobertura da terra em cada um dos municípios do estado do Pará no intervalo dos anos de 2000–2014, foram obtidas as taxas de desflorestamento acumulado em relação a área total do município, oriunda de uma máscara Prodes (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2016a) em cada um dos anos constituintes do intervalo.

A fim de obter uma tipologia do desflorestamento no estado do Pará, foram propostas duas chaves de classificação, sendo (i) limiar de desflorestamento – valor arbitrado equivalente a 20% de desflorestamento, tomando como

orientação o limite de reserva legal no nível das propriedades, proposto pela Código Florestal vigente no período compreendido pela série histórica avaliada. Mesmo sob a vigência do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE), que preconiza dada sua promulgação um limiar de 50:50% de reserva legal, optou-se pela manutenção do valor mais conservativo, no caso 20% de desflorestamento tolerável, como início da expressão do processo de desflorestamento. Assim, os níveis adotados na chave de classificação “limiar de desflorestamento” foram:  $L_0 < 20\%$ ;  $20\% \geq L_1 < 60\%$ ;  $L_2 \geq 60\%$ .

Outra chave de classificação utilizada foi o (ii) ritmo de desflorestamento – valor equilibrado de desflorestamento líquido entre os intervalos 2000 e 2014, sendo este anualizado, podendo ser tomado como o incremento médio anual. Os níveis adotados dessa chave de classificação foram:  $R_0 < 0,5\%$  aa (estável);  $0,5\% \leq R_1 < 1,0\%$  aa (elevado);  $1,0\% \leq R_2 < 1,5\%$  aa (muito elevado);  $R_3 \geq 1,5\%$  aa (extremo).

Após a aplicação de ambas as chaves de classificação, foram obtidas as combinações lineares destas, as quais foram utilizadas para definição de tipologias a partir de valores acumulados de desflorestamento.

Essas tipologias definidas foram aplicadas em uma síntese regional, tendo os valores de área sob uma determinada tipologia em uma dada microrregião ordenados segundo uma análise de agrupamento (*cluster analysis*). Cartogramas de natureza coroplética (Martinelli, 2003; Dent et al., 2008) foram confeccionados para representação dessas tipologia na escala municipal e microregional, afim de avaliar a qualidade e conservação da informação nessa síntese proposta.

## Resultados e discussão

### Limiar de desflorestamento

A série temporal de desflorestamento acumulado nos municípios foi segmentada em quatro momentos, a saber: 2000, 2005, 2010 e 2014. Em cada um desses segmentos foi assinalado o município que compreendia um limiar mínimo alcançado de 20% de desflorestamento (Tabela 1).

**Tabela 1.** Número de municípios com ocorrência assinalada no limiar de desflorestamento.

Mesorregião	Microrregião	Limiar 20%				Total
		A partir 2000	A partir 2005	A partir 2010	Não assinalado	
Baixo Amazonas	Almeirim				2	2
	Óbidos				5	5
	Santarém	1	2	1	3	7
Metropolitana de Belém	Belém	5	1			6
	Castanhal	5				5
Marajó	Arari				7	7
	Furos de Breves				5	5
	Portel				4	4
Nordeste Paraense	Bragantina	12	1			13
	Cametá	3	2		2	7
	Guamá	13				13
	Salgado	8	1		2	11
	Tomé-Açu	5				5
Sudeste Paraense	Conceição do Araguaia	4				4
	Marabá	5				5
	Paragominas	7				7
	Parauapebas	4			1	5
	Redenção	7				7
	São Félix do Xingu	3		1	1	5
Sudoeste Paraense	Tucuruí	6				6
	Altamira	1	4		3	8
	Itaituba		1		5	6
<b>Total</b>		<b>89</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>40</b>	<b>143</b>

Na mesorregião do Baixo Amazonas, as microrregiões (a.1) [BAM-ALM] e [BAM-OBI] apresentaram um padrão homogêneo, em que todos os municípios constituintes situaram-se abaixo do limiar inferior a 20% de desflorestamento, enquanto na microrregião (a.2) [BAM-STM] um padrão bastante heterogêneo foi assinalado, constando de municípios predominantemente abaixo do limiar de 20% de desflorestamento, bem como municípios acima do limiar de 20% nos estágios anterior, intermediário e tardio (Tabela 1).

Um padrão semelhante a (a.1) foi observado em (b), correspondente a toda a mesorregião do Marajó, em que todos os municípios de todas as microrregiões ([MAJ-ARA], [MAJ-BRV] e [MET-POR]) apresentaram desflorestamento abaixo do limiar de 20%.

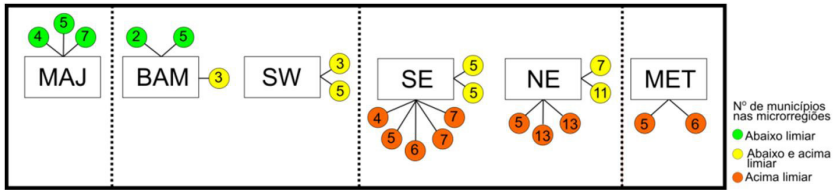
Já a mesorregião (c) Metropolitana de Belém situou-se em posição completamente oposta, em que todos os municípios de todas as microrregiões ([MET-BEL] e [MET-CAS]) apresentaram valores de desflorestamento acima do limiar de 20%, especialmente em estágio anterior (Tabela 1).

A mesorregião (d) Sudoeste Paraense apresentou padrão em que ambas as microrregiões apresentaram um número maior ([SW-ITA]) ou considerável ([SW-ALT]) de municípios situados em um limiar inferior a 20% de desflorestamento, mas também apresentaram municípios situados acima do limiar adotado (Tabela 1).

Já a mesorregião Sudeste Paraense apresentou padrão segmentado, em que (e.1) um predomínio de municípios situados acima do limiar de 20% é combinado à ocorrência de municípios ainda abaixo do limiar de 20% ([SE-PEB] e [SE-SFX]) e também (e.2) todos os municípios das microrregiões [SE-COA], [SE-MAB], [SE-TUC], [SE-PGM] e [SE-RED] situaram-se acima do limiar de 20% de desflorestamento (Tabela 1).

A segmentação observada na mesorregião Sudeste Paraense também foi assinalada na mesorregião Nordeste Paraense, onde em (f.1) o predomínio de municípios situados acima do limiar de 20% é combinado à ocorrência de municípios ainda abaixo do limiar de 20% ([NE-CAM] e [NE-SAL]) e foi associada a (f.2) a totalidade dos municípios situados acima do limiar de 20% ([NE-TOM], [NE-BRA] e [NE-GUA]) (Tabela 1).

Assim, teríamos uma graduação quanto aos níveis de desflorestamento, em que, grosso modo, teríamos situados nos extremos: ( $DF_{[-]}$ ) a mesorregião do Marajó – em que todos os municípios de todas as microrregiões ainda encontram-se abaixo do limiar adotado – e ( $DF_{[+]}$ ) a Metropolitana de Belém – em que todos os municípios de todas as microrregiões encontram-se acima do limiar adotado (Tabela 1 e Figura 1).



**Figura 1.** Diagrama sinóptico do número de municípios nas microrregiões/mesorregiões em relação ao estado atual de desflorestamento, em função do limiar adotado de 20% de desflorestamento.

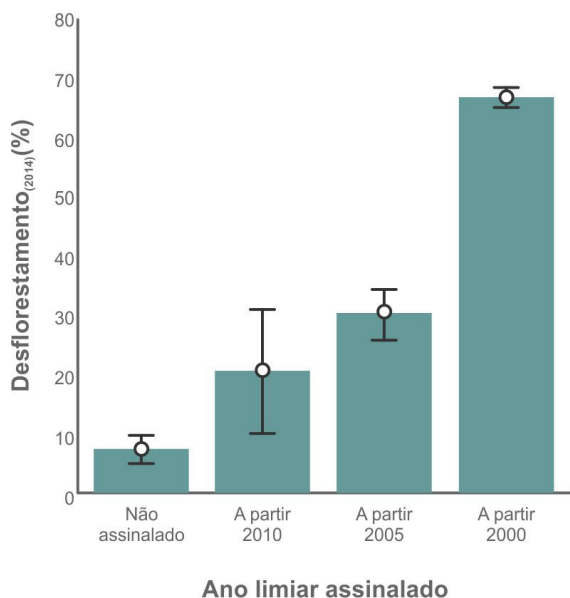
Posições intermediárias são representadas pelas mesorregiões ( $DF_{[+]}$ ) Baixo Amazonas e ( $DF_{[+]}$ ) Sudoeste Paraense, em que a primeira apresentou um maior grau de manutenção da cobertura florestal, com exceção de uma microrregião onde municípios que já ultrapassaram o limiar adotado foram assinalados, quando comparada à segunda, em que todas as microrregiões apresentaram esse comportamento (Tabela 1 e Figura 1).

Também em posição intermediária, mas com tendência clara a uma maior condição de desflorestamento, assinalou-se as mesorregiões ( $DF_{[-]}$ ) Sudeste e Nordeste Paraense, em que a grande maioria dos municípios na maioria das microrregiões encontram-se acima do limiar adotado (Tabela 1 e Figura 1).

Ressalta-se que a grande maioria dos municípios (89 municípios, 62%) já se apresentava acima do limiar de 20% ainda nos anos 2000, enquanto o número de municípios situados abaixo do limiar definido (40 municípios, 28%) também foi considerável. Situações intermediárias, com rompimento do limiar de desflorestamento nos anos 2005 (12 municípios, 8%) e após o ano 2010 (2 municípios, 1%) apresentaram valores baixos.

Diferenças quanto ao estado atual de desflorestamento foram registradas entre as fases de assinalação do limiar de desflorestamento adotado ( $p < 0.01$ ). Na fase mais antiga (“A partir de 2000”:  $66,8 \pm 1,6\%$ ) foram assinaladas as maiores taxas de desflorestamento. As menores taxas foram registradas nos municípios que ainda não assinalaram o limiar (“Não assinalado”:  $7,5 \pm 2,3\%$ ). Em posição intermediária, situaram-se as fases entre os extremos (“A partir de 2005”:  $30,3 \pm 4,3\%$  e “A partir de 2010”:  $20,7 \pm 10,5\%$ ), sendo ambas equivalentes, mas ressaltando-se que a fase mais recente ainda apresentou equivalência à fase “Não assinalado” (Figura 2). Infere-se sobre a maior instabilidade da fase mais recente, o que seria corroborado pela sua elevada variabilidade interna e pequeno número de observações. A partir do exposto, depreende-

-se que os padrões de acúmulo de desflorestamento foram superiores nos municípios que já haviam ultrapassado o limiar mínimo antes dos anos 2000, o que indica também um histórico de desflorestamento nesses municípios. As outras condições ou foram inferiores ou foram equivalentes ao limiar mínimo indicado.



**Figura 2.** Valores médios e erro padrão da taxa de desflorestamento nos municípios, em função da fase de assinalação do limiar de desflorestamento de 20%.

Avaliando-se a extensão dos municípios sob os diferentes momentos de assinalação ou não do limiar de desflorestamento, tem-se que a grande maioria (64% da área do estado) ainda não foi assinalado acima desse limiar, mas uma quantidade considerável (23% da área do estado) já o tinha ultrapassado antes ou a partir do ano 2000. Outros momentos, como a partir de 2005 (5%) e 2010 (8%), foram menos expressivos. Dessa resposta depreende-se um efeito do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm-I), política implementada em 2004 (Arima et al., 2014).



## Ritmo de desflorestamento

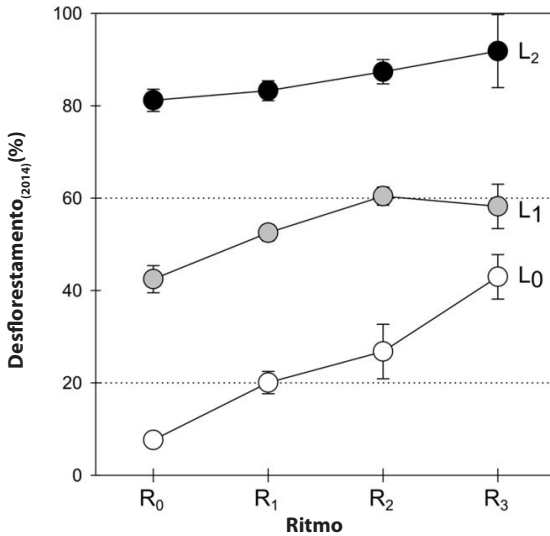
Foi possível adotar um critério situando em três categorias as taxas médias anuais de desflorestamento, no período de 2000–2014 (amplitude: 0,0% a 2,32%), a saber: (i) estável [ $R_0$ ] – valores inferiores a 0,5% de desflorestamento; (ii) elevado [ $R_1$ ] – valores iguais ou superiores a 0,5% e inferiores a 1,0%; (iii) muito elevado [ $R_2$ ] – valores iguais ou superiores a 1,0% e inferiores a 1,5% e (iv) valores extremos [ $R_3$ ] – valores superiores a 1,5%.

A maioria dos municípios apresentou taxas em um ritmo estável (57 municípios, 40%), mas esta não se configurou predominante, havendo também municípios com ritmo elevado de desflorestamento (49 municípios, 34%), com ritmo muito elevado de desflorestamento (30 municípios, 21%) e mesmo com ritmo extremo (7 municípios, 5%), o que com relação ao número de municípios indica uma partição de dois quintos de municípios com ritmo de desmatamento estável.

Buscando refinar a condição inicial de desflorestamento entre os municípios, a fim de uma interpretação mais acurada das trajetórias de desmatamento, optou-se por segmentar os valores iniciais observados. Assim, ter-se-ia (i) limiar de desflorestamento não assinalado [ $L_0$ ]; (ii) assinalado em sua primeira porção [ $L_1$ ] – situado entre os valores de 20% a 60% de desflorestamento; (iii) assinalado em sua segunda porção [ $L_2$ ] – situado entre os valores superiores a 60%.

Todos os ritmos de desflorestamento foram assinalados em todas as condições limiares sugeridas. Desse modo, um contraste entre essas condições mostrou-se praticável.

Isolando-se a estabilidade de desflorestamento [ $R_0$ ], tem-se uma expressão dos limiares iniciais de desflorestamento, sem qualquer efeito promotor associado ao longo da série. Assim, após 14 anos, observa-se uma profunda diferença ( $p < 0.001$ ) entre as condições iniciais, em que  $L_0$  ( $7,6 \pm 1,2\%$ ) apresenta taxas inferiores, enquanto  $L_2$  ( $81,2 \pm 2,9\%$ ) apresentou taxas bem acima do limite mínimo da classe. Comportamento semelhante foi observado em  $L_1$  ( $42,4 \pm 5,3\%$ ) que, mesmo em um ritmo estável, apresentou valores bem acima do limite mínimo da classe (Figura 3).



**Figura 3.** Valores médios e erro padrão da taxa acumulada de desflorestamento, em função dos limiares e ritmos de desflorestamento.

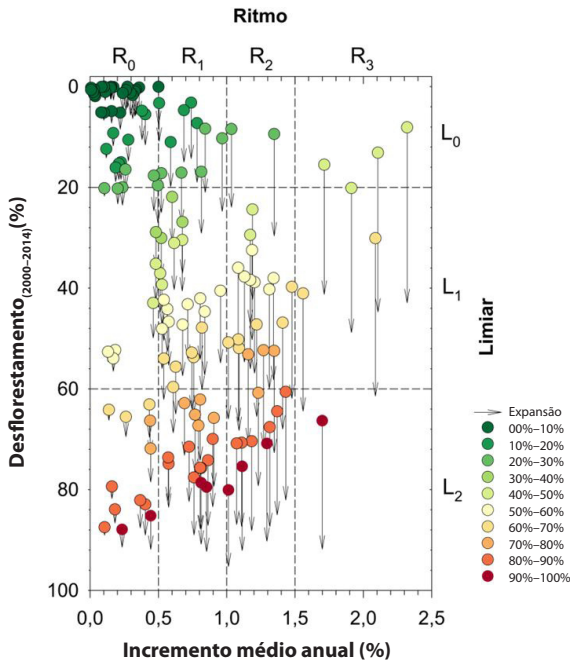
Na condição L<sub>0</sub>, todos os ritmos, à exceção dos intermediários (R<sub>1</sub> e R<sub>2</sub>), apresentaram diferenças entre si ( $p < 0.01$ ). Ressalta-se que, em todos os ritmos, à exceção do estável (R<sub>0</sub>), o limiar de desflorestamento (20%) foi alcançado (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>:  $20 \pm 2,1\%$ ;  $26,8 \pm 4\%$ , respectivamente) ou superado em grande magnitude, como no caso de R<sub>3</sub> ( $43 \pm 1,2\%$ ) (Figura 3).

Já na condição L<sub>1</sub>, todos os ritmos, à exceção dos mais intensos (R<sub>2</sub> e R<sub>3</sub>), apresentaram diferença significativa ( $p < 0.01$ ) entre si e situaram-se próximo do limite máximo dessa classe ( $60,4 \pm 2,2\%$ ;  $58,2 \pm 5,9\%$ , respectivamente). A condição L<sub>3</sub> apresentou equivalência ( $p < 0.15$ ) entre todos os ritmos de desflorestamento, mesmo com a maior oscilação observada no ritmo extremo (R<sub>3</sub>:  $91,8 \pm 5,2\%$ ). A variação média de desflorestamento acumulado nesse limiar situou-se entre 81% e 92%, ou seja, muito próxima do limite máximo da classe (Figura 3).

A partir do padrão de resposta dos ritmos de desflorestamento nas diferentes condições limiares, destaca-se a convergência e equivalência dos ritmos mais elevados de desflorestamento (R<sub>2</sub> e R<sub>3</sub>) nos limiares superiores a 20% de desflorestamento (L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub>) e a ocorrência de um teto nesses limiares, o que pode indicar certo grau de saturação no desflorestamento, devido em essência à própria rarefação do componente florestal nessas condições. Outrossim, a destacada taxa de acúmulo de desflorestamento nos ritmos

mais elevados ( $R_3$ ) no limiar originalmente mais baixo ( $L_0$ ) indica um comportamento de expansão mais acentuado ante uma maior 'oferta' do componente florestal.

Avaliando-se as taxas acumuladas, propõe-se uma tipificação da trajetória dos municípios, com relação ao comportamento ante o desflorestamento, buscando concatenar os limiares originais de desflorestamento e o ritmo de desflorestamento empregado ao longo da série temporal (Figura 4). Um dos critérios mais fortes para agrupamento de padrões afins foi a equivalência das médias destes, como expressa na Figura 3, bem como a taxa acumulada de desflorestamento no período.



**Figura 4.** Disposição das taxas de incremento médio anual e extensão do desflorestamento entre 2000 e 2014 nos municípios do estado do Pará.

Desse modo, as combinações entre limiares e ritmos foram agrupadas em cinco tipificações, tais sejam: conservado, limítrofe, em expansão, em saturação e rarefeito. A seguir são listados os constituintes dessas tipificações, suas características e representantes.

- Conservado – combinação do limiar  $L_0$  e do ritmo  $R_0$  – representa os municípios que ainda se mantêm abaixo do limiar postulado de

desflorestamento ou muito próximo desse limiar. Com amplitude de 0,0%–24,7%, centrado em  $7,6 \pm 1,2\%$ , foi representado por 37 municípios, a saber: Baixo Amazonas: BAM-Almeirim: Almeirim, Porto de Moz; BAM-Óbidos: Faro, Juruti, Óbidos, Oriximiná, Terra Santa; BAM-Santarém: Alenquer, Belterra, Curuá, Prainha, Santarém; Marajó: MRJ-Arari: Cachoeira do Arari, Chaves, Muaná, Ponta de Pedras, Santa Cruz do Arari, Soure; MRJ-Furos de Breves: Afuá, Anajás, Breves, Currallinho; MRJ-Portel: Bagre, Gurupá, Melgaço, Portel; Nordeste Paraense: NE-Bragantina: Quatipuru; NE-Cametá: Limoeiro do Ajuru; NE-Salgado: Colares; Sudeste Paraense: SE-Parauapebas: Parauapebas; SE-São Félix do Xingu: Ourilândia do Norte; Sudoeste Paraense: SW-Altamira: Altamira, Senador José Porfírio; SW-Itaituba: Aveiro, Itaituba, Jacareacanga, Trairão (Figura 4).

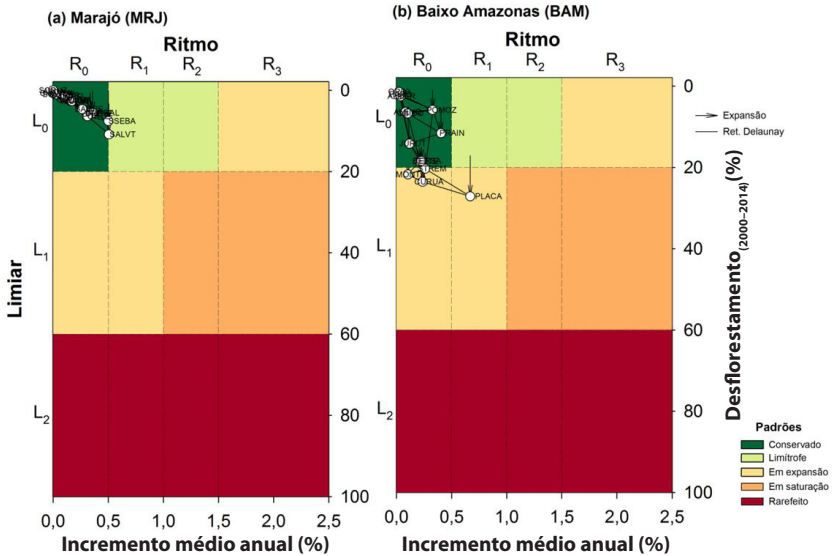
- Limítrofe – expressa a combinação do limiar  $L_0$  e dos ritmos  $R_1$  e  $R_2$  – representa os municípios que superaram o limiar postulado de desflorestamento, mas não em ordem de grandeza muito elevada. Apresentou amplitude de 7,6%–29,6%, centrado em  $21 \pm 1,9\%$ , foi representado por 14 municípios, a saber: Baixo Amazonas: BAM-Santarém: Placas; Marajó: MRJ-Arari: Salvaterra; MRJ-Furos de Breves: São Sebastião da Boa Vista; Metropolitana de Belém: MET-Belém: Barcarena; Nordeste Paraense: NE-Cametá: Igarapé-Miri, Oeiras do Pará; NE-Salgado: Salinópolis, São João de Pirabas; Sudeste Paraense: SE-São Félix do Xingu: São Félix do Xingu; Sudoeste Paraense: SW-Altamira: Anapu, Medicilândia, Uruará; SW-Itaituba: Novo Progresso, Rurópolis (Figura 4).
- Em expansão – combinação do limiar  $L_0$  no ritmo extremo de desflorestamento ( $R_3$ ) e do limiar  $L_1$  nos ritmos de menor intensidade de desflorestamento ( $R_0, R_1$ ) – representa dois perfis que chegam a um mesmo patamar de desflorestamento, sendo estes (a) municípios em condição anterior abaixo do limiar postulado de desflorestamento e que empreenderam essa prática de maneira extrema nos últimos 14 anos e (b) municípios que já se situavam acima do limiar postulado e que empreenderam a prática de desflorestamento em regime menos intenso, mas em ambos os casos o patamar de desflorestamento assinalado é considerável. Apresentou amplitude de 21,7%–68,7%, centrado em  $49,2 \pm 2,1\%$ , foi representado por 33 municípios, a saber: Baixo Amazonas: BAM-Santarém: Monte Alegre; Metropolitana de Belém: MET-Belém: Ananindeua, Belém, Marituba, Santa Bárbara do Pará; MET-Castanhal: Bujaru, Inhangapi, Santo

Antônio do Tauá; Nordeste Paraense: NE-Bragantina: Tracuateua; NE-Cametá: Abaetetuba, Baião, Cametá, Mocajuba; NE-Guamá: Nova Esperança do Piriá; NE-Salgado: Curuçá, Magalhães Barata, Maracanã, Marapanim, São Caetano de Odivelas, Vigia; NE-Tomé-Açu: Acará, Tomé-Açu; Sudeste Paraense: SE-Conceição do Araguaia: Conceição do Araguaia, Floresta do Araguaia; SE-Paragominas: Bom Jesus do Tocantins, Goianésia do Pará, Paragominas; SE-Parauapebas: Água Azul do Norte, Canaã dos Carajás; SE-Redenção: Pau D'Arco; SE-Tucuruí: Tucuruí; Sudoeste Paraense: SW-Altamira: Brasil Novo, Pacajá (Figura 4).

- Em saturação – combinação do limiar  $L_1$  nos ritmos de maior intensidade ( $R_2, R_3$ ) – representa municípios que já encontravam-se acima do limiar de desflorestamento postulado e continuaram a empreender o desflorestamento em regime expressivo. Apresentou amplitude de 42,2%–72,7%, centrado em  $60,1 \pm 1,9\%$ , foi representado por 21 municípios, a saber: Metropolitana de Belém: MET-Belém: Benevides; Nordeste Paraense: NE-Bragantina: Primavera, Santarém Novo; NE-Guamá: Cachoeira do Piriá, Ipixuna do Pará; NE-Salgado: São João da Ponta; NE-Tomé-Açu: Moju, Tailândia; Sudeste Paraense: SE-Conceição do Araguaia: Santa Maria das Barreiras, Santana do Araguaia; SE-Marabá: Marabá, São João do Araguaia; SE-Paragominas: Dom Eliseu, Rondon do Pará, Ulianópolis; SE-São Félix do Xingu: Bannach, Cumarú do Norte; SE-Tucuruí: Breu Branco, Itupiranga, Novo Repartimento; Sudoeste Paraense: SW-Altamira: Vitória do Xingu (Figura 4).
- Rarefeito – compreende todos os ritmos de desflorestamento ( $R_0, R_1, R_2, R_3$ ) no limiar de desflorestamento original mais acentuado ( $L_2$ ) – representa os municípios com um ritmo mais elevado ou não de desflorestamento e que chegaram a patamares muito elevados de desflorestamento, com um comportamento que indica a existência de um 'platô', nível máximo de desflorestamento, dada a rarefação do componente florestal. Apresentou amplitude de 66,2%–95,3%, centrado em  $83,9 \pm 1,2\%$ , foi representado por 38 municípios, a saber: Baixo Amazonas: BAM-Santarém: Monte Alegre; Metropolitana de Belém: MET-Belém: Ananindeua, Belém, Marituba, Santa Bárbara do Pará; MET-Castanhal: Bujaru, Inhangapi, Santo Antônio do Tauá; Nordeste Paraense: NE-Bragantina: Tracuateua; NE-Cametá: Abaetetuba, Baião, Cametá, Mocajuba; NE-Guamá: Nova Esperança do Piriá; NE-Salgado: Curuçá, Magalhães Barata, Maracanã, Marapanim, São Caetano de Odivelas, Vigia; NE-Tomé-Açu: Acará, Tomé-Açu;

Sudeste Paraense: SE-Conceição do Araguaia: Conceição do Araguaia, Floresta do Araguaia; SE-Paragominas: Bom Jesus do Tocantins, Goianésia do Pará, Paragominas; SE-Parauapebas: Água Azul do Norte, Canaã dos Carajás; SE-Redenção: Pau D'Arco; SE-Tucuruí: Tucuruí; Sudoeste Paraense: SW-Altamira: Brasil Novo, Pacajá (Figura 4).

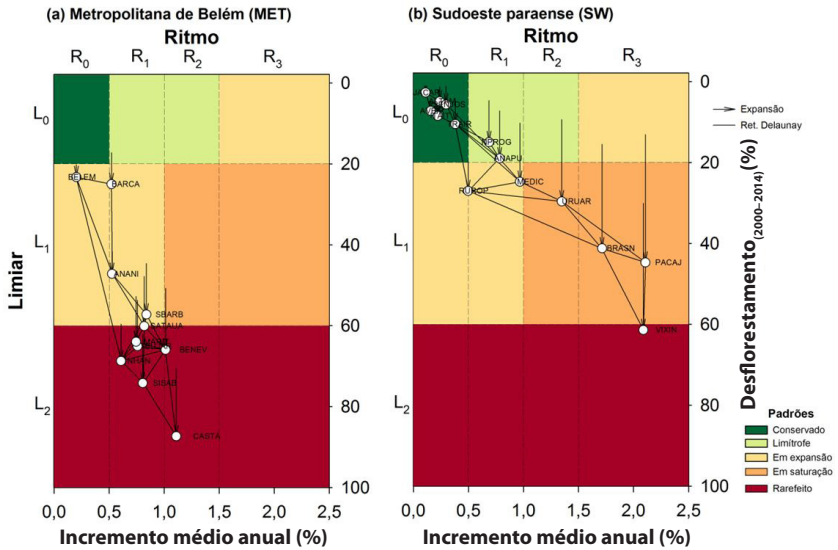
A mesorregião do Marajó (Figura 5A) situou-se em sua quase integralidade (97% área total) na tipificação 'conservado', mas também assinalou uma pequena porção (3% área total) na tipificação 'limítrofe'. Enquanto na mesorregião Baixo Amazonas (Figura 5B), mesmo situando-se predominantemente na tipificação 'conservado' (92% área total), também foi assinalada a ocorrência de municípios na tipificação 'em expansão' (5% área total) e 'limítrofe' (2% área total).



**Figura 5.** Disposição da extensão das taxas e ritmo de desflorestamento dos municípios nas mesorregiões Marajó (a) e Baixo Amazonas (b) do estado do Pará, em função das tipificações propostas, agregadas sob reticulação do tipo Delaunay.

A mesorregião Metropolitana de Belém (Figura 6A) oscilou entre todas as tipificações, à exceção de 'conservado', com um predomínio da tipificação 'em expansão' (53% área total), seguida da tipificação 'rarefeita' (25% área total) e 'limítrofe' (19% área total). A tipificação 'em saturação' (3% área total) foi pouco expressiva. A quebra de encadeamento das tipificações

nessa mesorregião provavelmente indica a presença de processos anteriores, agora estanques, e de novos processos de desflorestamento em encadeamento. É a mesorregião com maior densidade populacional do estado, constituindo-se da área em torno da capital. É a região de colonização mais antiga do estado e da própria região amazônica.

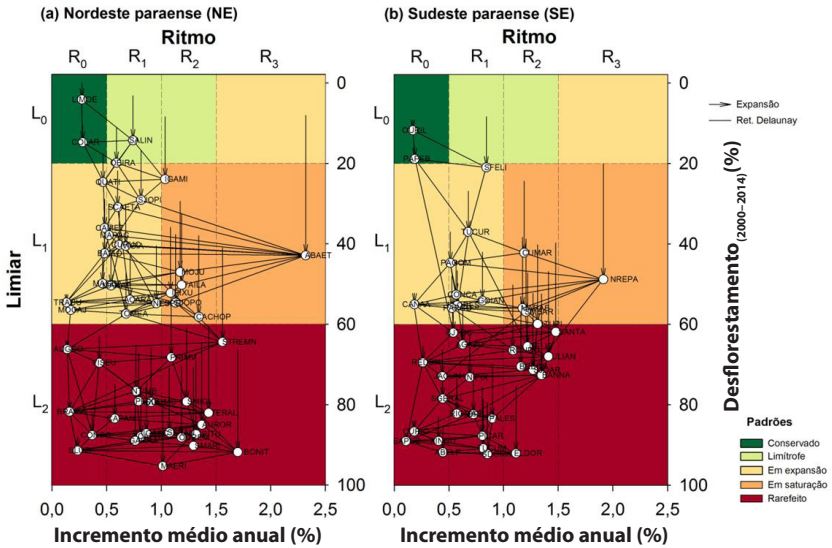


**Figura 6.** Disposição da extensão das taxas e ritmo de desflorestamento dos municípios nas mesorregiões Metropolitana de Belém (a) e Sudoeste Paraense (b) do estado do Pará, em função das tipificações propostas, agregadas sob reticulação do tipo Delaunay.

A mesorregião Sudoeste Paraense (Figura 6B) apresentou municípios em todas as tipificações, à exceção de 'rarefeito'. Uma pequena fração de sua área mostrou-se contida nas tipificações 'em expansão' (4% área total) e 'em saturação' (1% área total). O predomínio foi observado na tipificação 'conservado' (77% área total) e 'limítrofe' (18% área total). Assim, tem-se nessa mesorregião um comportamento inicial de expansão do desflorestamento.

Já nas mesorregiões Nordeste Paraense (Figura 7A) e Sudeste Paraense (Figura 7B), foram registradas todas as tipificações, assinalando-se, desse modo, a maior heterogeneidade dentre as mesorregiões. Em ambos os casos, a menor expressão em área ocorreu na tipificação 'conservado' (NE: 3%; SE: 7% área total). Entretanto, algumas diferenças puderam ser

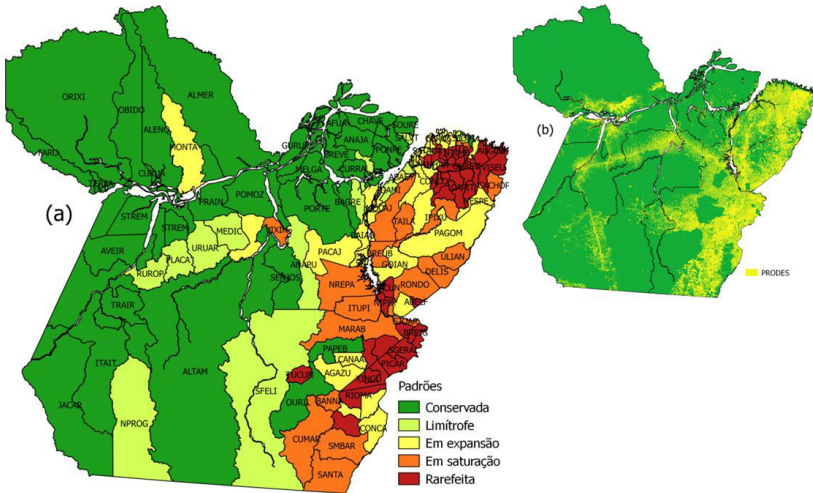
observadas, de modo que no Nordeste Paraense as maiores proporções de área situaram-se em tipificações 'rarefeita' e 'em expansão' (31% e 32% área total, respectivamente), seguidas de 'limítrofe' e 'em saturação' (8% e 26% área total, respectivamente); enquanto no Sudeste Paraense o predomínio foi oposto, tendo em 'limítrofe' e 'em saturação' (28% e 35% área total, respectivamente) sua maior expressão, seguido das tipificações 'rarefeita' e 'em expansão' (12% e 18%, respectivamente).



**Figura 7.** Disposição da extensão das taxas e ritmo de desflorestamento dos municípios nas mesorregiões Nordeste Paraense (a) e Sudeste Paraense (b) do estado do Pará, em função das tipificações propostas, agregadas sob reticulação do tipo Delaunay.

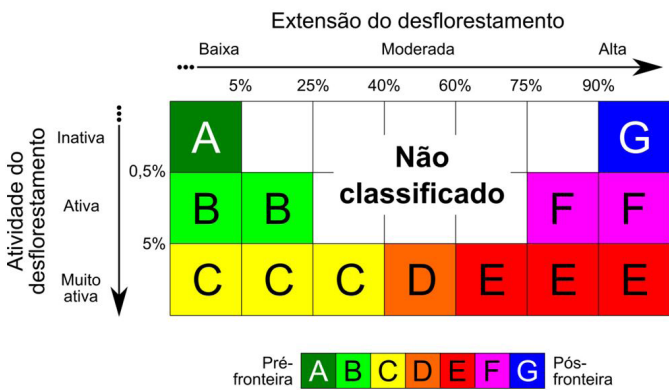
A qualificação do desflorestamento, buscando, por meio da aplicação dessa tipologia, uma expressão territorial deste, mostrou-se adequada (Figura 8A), mesmo com a redução ou perda da precisão, quando comparada à máscara Prodes (Figura 8B). Ao invés de valores estaduais ou municipais de áreas desflorestadas ou da representação cartográfica dessas áreas desflorestadas, a apresentação de uma trajetória do desflorestamento, como a tipologia propôs, parece mais adequada à avaliação de políticas públicas e planejamento para a região amazônica, buscando adequar cada vez mais essas atuações do poder público a um nível administrativo mais próximo do municipal, como preconizado por Becker (2005, 2010).





**Figura 8.** Cartogramas da aplicação das tipologias de desflorestamento aplicadas aos municípios (a) e desflorestamento acumulado no ano de 2014 (b), segundo Prodes (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2016a), no estado do Pará.

Outros exemplos de aplicação de combinações lineares, buscando uma tipologia do desflorestamento e considerando a extensão do desflorestamento e sua atividade foram utilizadas em Rodrigues et al. (2009) e Tritsch e Arvor (2016), sendo o segundo trabalho inspirado no primeiro (Figura 9). Ambos os casos buscaram estabelecer relações derivativas entre o desflorestamento e indicadores socioeconômicos, o que não foi o objetivo deste trabalho, que esteve focado na definição de uma tipificação do desflorestamento no nível municipal.



**Figura 9.** Definição das classes de fronteira propostas por Rodrigues et al. (2009), adotadas e adaptadas por Tritsch e Arvor (2016).

Ressalta-se que a abordagem dos autores supracitados apresentou uma faixa intermediária sem classificação (Figura 9), o que foi parcialmente solucionado pela agregação das combinações lineares em diferentes patamares, como no caso da tipificação “em expansão”. Reafirmamos a expressão “parcialmente solucionado”, posto que, pela própria natureza da aplicação das combinações lineares, estas geram uma série de *misclassifications*, mesmo adotando intervalos de confiança mais estreitos (Witten; Frank, 2005).

## Tipologias supramunicipais de desflorestamento

Mantendo a noção de agregação na escala, mas também buscando refiná-la, optou-se por uma ordenação das microrregiões em função da proporção em área das tipificações nelas assinaladas. Já que, como visto anteriormente, algumas mesorregiões, notadamente Nordeste e Sudeste Paraense, apresentam elevada heterogeneidade quanto à dominância de alguma das tipificações.

Nas microrregiões ratificou-se a ocorrência de regiões ainda (a) conservadas, sendo algumas dessas (a.1) conservadas em sua quase integralidade – Baixo Amazonas: Óbidos e Almerim; Marajó: Portel; (a.2) conservadas em quase integralidade, mas com ocorrência de tipificação limítrofe em pequena expressão – Marajó: Furos de Breves e Arari; (a.3.1) predominantemente conservadas, mas com ocorrência de tipificação limítrofe – Sudoeste: Itaituba; (a.3.2) predominantemente conservadas, mas com ocorrência de tipificação limítrofe e expansão – Baixo Amazonas: Santarém, Sudoeste – Altamira (Tabela 2 e Figura 10).

**Tabela 2.** Valores relativos de área total nas diferentes microrregiões em função das tipificações dos municípios.

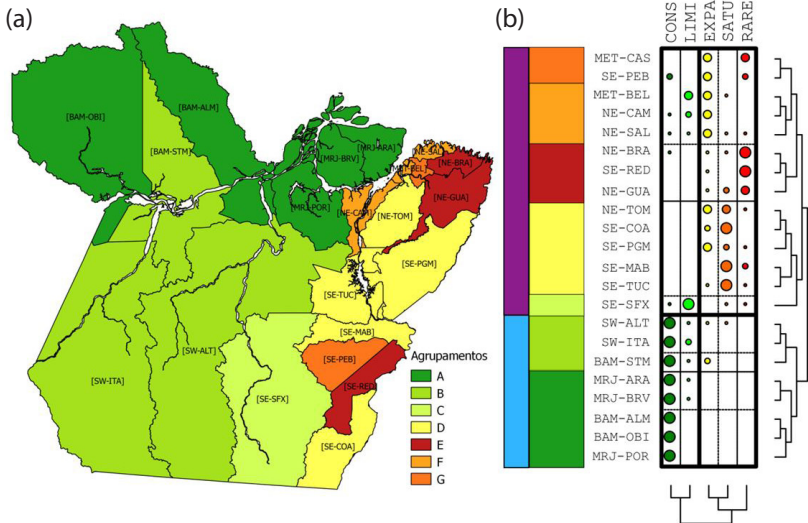
Microrregião	Tipificações				
	Conservado	Limítrofe	Em expansão	Em saturação	Rarefeito
BAM-Almeirim	100%				
BAM-Óbidos	100%				
BAM-Santarém	71%	8%	21%		
MET-Belém		42%	52%	6%	
MET-Castanhal			54%		46%
MRJ-Arari	96%	4%			
MRJ-Breves	95%	5%			
MRJ-Portel	100%				
NE-Bragantina	4%		11%	6%	80%
NE-Cametá	9%	35%	56%		

Continua...

**Tabela 2.** Continuação.

Microrregião	Tipificações				
	Conservado	Limítrofe	Em expansão	Em saturação	Rarefeito
NE-Guamá			10%	27%	63%
NE-Salgado	10%	16%	67%	3%	4%
NE-Tomé-Açu			40%	57%	3%
SE-Conceição do Araguaia			30%	70%	
SE-Marabá				82%	18%
SE-Parauapebas	31%		46%		24%
SE-Paragominas			60%	38%	1%
SE-Redenção			8%		92%
SE-São Félix	12%	69%		17%	2%
SE-TUC			6%	83%	11%
SW-Altamira	77%	14%	8%	1%	
SW-Itaituba	76%	24%			
<b>Total</b>	<b>61%</b>	<b>14%</b>	<b>10%</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>

BAM – Baixo Amazonas, MET – Metropolitana de Belém, MRJ – Marajó, NE – Nordeste Paraense, SE – Sudeste Paraense, SW – Sudoeste Paraense.



**Figura 10.** Cartograma dos agrupamentos, baseados nas tipologias de desflorestamento, das microrregiões do estado do Pará (a), conforme registrado na Tabela 6 e ordenação das microrregiões em função das proporções de área de suas tipificações e dendrogramas correspondentes (b).

Tivemos ocorrência de zonas (b) menos conservadas ou de conservação ausente, como no caso das microrregiões com (b.1) predomínio de tipificação 'em saturação' ou 'rarefeito' – Sudeste: Tucuruí e Marabá; com (b.2) predomínio da tipificação 'em expansão' ou 'em saturação' – Sudeste: Paragominas e Conceição do Araguaia; Nordeste Paraense: Tomé-Açu. Bem como casos extremos, tal como (b.3) predomínio da tipificação 'rarefeita', seguida de tipificações 'em saturação' ou 'em expansão': Nordeste Paraense: Guamá e Bragantina; Sudeste Paraense: Redenção (Tabela 2 e Figura 10).

Em uma condição bastante heterogênea, mas (c) centrando em um domínio da tipificação "em expansão", tem-se (c.1) zonas sem municípios conservados, mas, também, sem municípios rarefeitos com predomínio da combinação de tipificações 'em expansão' e 'limítrofe' – Metropolitana de Belém: Belém e (c.2) zonas também dominadas pela tipificação 'em expansão' e 'limítrofe', mas também com ocorrência da tipificação 'conservado' – Nordeste Paraense: Salgado e Cameté e (c.3.a) domínio de 'em expansão' combinada a 'rarefeito' – Metropolitana de Belém: Castanhal e (c.3.b) domínio de 'em expansão' combinada a 'rarefeito', mas com presença significativa de áreas na tipificação 'conservado' – Sudeste: Parauapebas (Tabela 2 e Figura 10).

## Conclusão

O desflorestamento no estado do Pará apresenta-se fortemente segmentado, tendo domínio de zonas conservadas até domínios de rarefeitos. Entretanto, cerca de 60% de sua área encontra-se em municípios tipificados como "conservados".

A heterogeneidade em níveis microrregionais qualifica a aplicação de políticas diferenciadas a cada um desses cenários.

Mesmo com perda de precisão, quando comparada à máscara Prodes, a tipologia sugerida encerra em si uma trajetória do desflorestamento no âmbito municipal, fornecendo elementos importantes para a visão territorial do estado do Pará.

## Referências

AGUIAR, A. P. D.; VIEIRA, I. C. G.; ASSIS, T. O.; DALLA-NORA, E. L.; TOLEDO, P. M.; SANTOS-JUNIOR, R. A. O.; BATISTELLA, M.; COLEHO, A. S.; SAVAGET, E. K.; ARAGÃO, L. E. O. C.; NOBRE, C. A.; OMETTO, J. P. H. Land use change emission scenarios: Anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 22, n. 5, p. 1821-1840, 2016.

ALMEIDA, C. A.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D.-M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. 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, 2016.

ALMEIDA, C. A.; VALERIANO, D. M.; ESCADA, M. I. S.; RENNÓ, C. D. Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 2, p. 289-302, 2010.

ARIMA, E. Y.; BARRETO, P.; ARAÚJO, E.; SOARES-FILHO, B. Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. **Land Use Policy**, v. 41, p. 465-473, 2014.

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71-86, 2005.

BECKER, B. K. Novas territorialidades na Amazônia: desafios às políticas públicas. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi: Ciências Humanas**, v. 5, n. 1, p. 17-23, 2010.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D. de M. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos: INPE, 2006.

CHARDONNEL, S. Time-geography: individuals in time and space. In: SANDERS, L. (org.). **Models in Spatial Analysis**. 2nd ed. London: ISTE, 2007. p. 97-126.

DENT, B.; TORGUSON, J.; HODLER, T. **Cartography: Thematic Map Design**. 6. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2008.

DIAS, L. F. O.; DIAS, D. V.; MAGNUSSON, W. E. Influence of environmental governance on deforestation in municipalities of the Brazilian Amazon. **PLoS ONE**, v. 10, n. 7, p. 1-12, 2015.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: the effect of population and land tenure. **Ambio**, v. 22, n. 8, p. 537-545, 1993.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

GARDNER, T. The Amazon in Transition: The challenge of transforming the world's largest tropical forest biome into a sustainable social-ecological system. In: O'RIORDAN, T.; LENTON, T. (org.). **Addressing tipping points for a precarious future**. London: British Academy Publication, 2013. p. 127-148.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. **What drives Tropical Deforestation?** A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. Louvain-la-Neuve: LUCC International Project Office, 2001. (LUCC Report Series 4).

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **PRODES**: Desflorestamento nos municípios. 2016a. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. Acesso em: 26 abr. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Taxas anuais do desmatamento** - 1988 até 2016 (PRODES). 2017. Disponível em: [http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes\\_1988\\_2016n.htm](http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2016n.htm). Acesso em: 26 abr. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **TerraClass**. 2016b. Disponível em: [http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/dados\\_terraclass.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php). Acesso em: 26 abr. 2019.

KIRBY, K. R.; LAURANCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K.; SCHROTH, G.; FEARNSIDE, P. M.; BERGEN, S.; VENTICINQUE, E. M.; COSTA, C. da. The future of deforestation in the Brazilian Amazon. **Futures**, v. 38, n. 4, p. 432-453, 2006.

LAMBIN, E. F.; ROUNSEVELL, M. D. A.; GEIST, H. J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 82, n. 1-3, p. 321-331, 2000.

LAMBIN, E. F.; TURNER, B. L.; GEIST, H. J.; AGBOLA, S. B.; ANGELSEN, A.; BRUCE, J. W.; COOMES, O. T.; DIRZO, R.; FISCHER, G.; FOLKE, C.; GEORGE, P. S.; HOMEWOOD, K.; IMBERNON, J.; LEEMANS, R.; LI, X.; MORAN, E. F.; MORTIMORE, M.; RAMAKRISHNAN, P. S.; RICHARDS, J. F.; SKANES, H.; STEFFEN, W.; STONE, G. D.; SVEDIN, U.; VELDKAMP, T. A.; VOGEL, C.; XU, J. The Causes of Land-Use and Land-Cover Change: Moving Beyond the Myths. **Global Environmental Change**, v. 11, n. 4, p. 261-269, 2001.

LAURANCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K. M. Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Biogeography**, v. 29, n. 5/6, p. 737-748, 2002.

LETOURNEAU, F.-M. Is Brazil now in control of deforestation in the Amazon? **Cybergeo: European Journal of Geography**, v. 769, 2016.

LONDON, M.; KELLY, B. **The Last Forest**: The Amazon in the Age of Globalization. New York: Random House, 2007.

LORENA, R. B.; LAMBIN, E. F. The spatial dynamics of deforestation and agent use in the Amazon. **Applied Geography**, v. 29, n. 2, p. 171-181, 2009.

MARGULIS, S. **Causes of deforestation of the Brazilian Amazon**. [S.l.]: World Bank, 2004.

MARTINELLI, M. **Mapas da Geografia e Cartografia Temática**. São Paulo: Editora Contexto, 2003.

PACHECO, P.; POCCARD-CHAPUIS, R. The Complex Evolution of Cattle Ranching Development Amid Market Integration and Policy Shifts in the Brazilian Amazon. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 102, n. 6, p. 1366-1390, 2012.

PRATES, R. C. **O desmatamento desigual na Amazônia brasileira**: sua evolução, suas causas e conseqüências sobre o bem-estar. [Piracicaba]: Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, 2008.

RODRIGUES, A. S.; EWERS, R. M.; PARRY, L.; SOUZA JUNIOR, C.; VERÍSSIMO, A.; BALMFORD, A. Boom-and-bust development patterns across the Amazon deforestation frontier. **Science**, v. 324, n. 5933, p. 1435-1437, 2009.

SOARES-FILHO, B. S.; GARCIA, R. A.; RODRIGUES, H. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: BATISTELLA, M.; ALVES, D.; MORAN, E. (org.). **Amazônia: Natureza e sociedade em transformação**. São Paulo: USP, 2008. v. 1, cap. 6.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; McDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520-523, 2006.

SOLER, L. S.; VERBURG, P. H.; ALVES, D. S. Evolution of Land Use in the Brazilian Amazon: From Frontier Expansion to Market Chain Dynamics. **Land**, v. 3, n. 3, p. 981-1014, 2014.

TORRAS, M. The total economic value of Amazonian deforestation, 1978-1993. **Ecological Economics**, v. 33, n. 2, p. 283-297, 2000.

TRITSCH, I.; ARVOR, D. Transition in environmental governance in the Brazilian Amazon: emergence of a new pattern of socio-economic development and deforestation. **Land Use Policy**, v. 59, p. 446-455, 2016.

WITTEN, I. H.; FRANK, E. **Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques**. 2nd. ed. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers: Elsevier, 2005.

WOOD, C. H.; PORRO, R. (ed.). **Deforestation and Land Use in the Amazon**. Gainesville: University Press of Florida, 2002.